

Jacob Mehus, Olav Lahus, Stefan Jacobsen og  
Øystein Myhre

# Bruk av resirkulert tilslag i bygg og anlegg – status 2000

RESIBA – prosjektrapport 01/2000



BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Jacob Mehus, Olav Lahus, Stefan Jacobsen og  
Øystein Myhre

# Bruk av resirkulert tilslag i bygg og anlegg – status 2000

RESIBA – prosjektrapport 01/2000

Prosjektrapport 287 – 2000

Prosjektrapport 287  
Jacob Mehus, Olav Lahus, Stefan Jacobsen og Øy-  
stein Myhre  
Bruk av resirkulert tilslag i bygg og anlegg – status  
2000  
RESIBA – prosjektrapport 01/2000

Emneord: bygningsmaterialer, resirkulert tilslag,  
miljø, gjenvinning, bruksområder – ubunden og  
bunden, materialegenskaper, retningslinjer og  
regelverk

ISSN 0801-6461  
ISBN 82-536-0705-9

1. opplag: 200 eks.  
2. opplag, 2001: 100 eks.  
Trykt av S.E. Thoresen as  
Innmat:100 g Kymultra  
Omslag: 200 g Cyclus

© Norges byggforskningsinstitutt 2000

Adr.: Forskningsveien 3 B  
Postboks 123 Blindern  
0314 OSLO  
Tlf.: 22 96 55 55  
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 42

## **FORORD**

Prosjekt RESIBA (resirkulert tilslag for bygg og anlegg) utføres med økonomisk støtte fra GRIP-senter/program ØkoBygg, i samarbeide mellom:

- Veidekke ASA (formann styringskomite: Ole Skytterholm, Veidekke Gjenvinning)
- BA Gjenvinning (prosjektansvarlig: Bjørn Vegar Hansen)
- Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling
- Statens vegvesen Oslo
- Kontrollrådet for betongprodukter
- Akershus fylkeskommune
- Oslo kommune
- Block Watne
- Norsk Leca
- Norges byggforskningsinstitutt (prosjektleder: Stefan Jacobsen)

Viktige bidrag og hjelp ved skrivingen av denne statusrapporten ved starten av prosjekt RESIBA er kommet fra Gordana Petkovic (Statens vegvesen, Vegdirektoratet), Christian Engelsen og Tom Farstad (Byggforsk), Christine Hauck, Lars Skaare, Bente Lillestøl og Hege Hansesveen (Veidekke ASA), Linda Hvilen (Oslo kommune), Jan Karlsen (Kontrollrådet for Betongprodukter) og Jan From (HiO-IU).

Oslo, juni 2000

Stefan Jacobsen  
Prosjektleder  
RESIBA

## SAMMENDRAG

Bruk av resirkulert tilslag innen bygg og anlegg er aktuelt både innen ubunden (eks. veifyllinger og grøfter) og bunden bruk (eks. konstruksjonsbetong). I Norge eksisterer allerede noen erfaringer med bruk av resirkulert tilslag i bl.a. ulike deler av vegfundament og i grøfter, samt konstruksjons- og sprøytebetong. For å få en større aksept for bruk av resirkulert tilslag i BA er det viktig at disse erfaringene følges opp, suppleres og gjøres kjent for alle ledd av bransjen.

I ubunden form brukes resirkulert tilslag foreløpig i parkeringsplasser og veier med lav trafikk. Utvidelse av bruksområdene i forhold til gang- /sykkelveier og veier med mer trafikk bør særlig baseres på erfaringer og oppfølging av eksisterende og nye fullskalaprosjekter som pågår i regi av bl.a. RESIBA. For grøfter viser erfaringer fra laboratorieforsøk tilfredsstillende mekaniske egenskaper mht. støtte rundt fleksible rør. Oppfølgende undersøkelser for grøfter er igangsatt i felt og laboratorium mht. setninger og effekt av kombinert last og vanngjennomgang. Utover disse ubundne bruksområder hvor tilslaget forutsettes frostekspontert tørt og uten tinesalt, er det også realistisk å bruke resirkulert tilslag i fundamentering, tilbakefylling mot grunnmurer, til jordforbedring og strøsand.

I betong er både konstruksjons- og sprøytebetong aktuelt. Fullskalaforsøk og bruk i byggeprosjekter, viser at betongen ikke skilte seg vesentlig fra vanlig betong mht. produksjon og utstøping. Utover de grenseverdier som er gitt i Norsk Betongforenings publikasjon nr. 26 om resirkulert tilslag for bruk i miljøklasse NA/LA, foretar RESIBA undersøkelser for å finne begrensninger både mht. høyere innblandingsprosent og betongkvalitet. Heri inngår både utvidede laboratorieforsøk og langtidsoppfølging av eksisterende fullskalaerfaringer. Andre aktuelle bruksområder er prefabrikkerte bygningsblokker og sementproduksjon.

Problemstillinger knyttet til eventuell dårlig egnethet av eksisterende prøvemetoder for dokumentasjon av resirkulert tilslag, bør søkes løst ved bruk av dimensjonering ved prøving og instrumentert overvåkning av fullskalaforsøk. Dette er en viktig del av pågående arbeide i RESIBA, og vil inngå i underlaget for veiledningen ved prosjektets slutt i 2002.

Dokumentasjon av miljøegenskaper og kvalitetskontroll ved produksjon av resirkulert tilslag er svært viktig. I RESIBA arbeides det både med funksjonsprøving med utlekkingsforsøk i NBIs laboratorier, og også undersøkelser av muligheter for utlekking i felt. Oppbygging av KS-systemer undersøkes basert på velkjente prinsipper tilpasset kommende Europeiske produktstandarder (CEN) og eksisterende erfaringer i bl.a. Nederland.

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>FORORD</b> .....	<b>3</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>4</b>
<b>INNHALDSFORTEGNELSE</b> .....	<b>5</b>
<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>7</b>
<b>2. HVA ER RESIRKULERT TILSLAG</b> .....	<b>8</b>
2.1 RESIRKULERT TILSLAG I NORGE.....	8
2.1.1 Opprinnelse for materialer.....	8
2.1.2 Sorteringer og betegnelser.....	9
2.2 RESIRKULERT TILSLAG I ANDRE LAND.....	10
2.2.1 Opprinnelse for materialer.....	10
2.2.2 Sorteringer og betegnelser.....	10
<b>3. BRUKSOMRÅDER</b> .....	<b>12</b>
3.1 UBUNDEN BRUK.....	12
3.1.1 Vegfundament.....	12
3.1.2 VA-grøfter.....	18
3.1.3 Kabelgrøfter.....	23
3.1.4 Fellesgrøfter for VA-ledninger og kabler.....	23
3.1.5 Fundamentering - avretting.....	23
3.1.6 Tilbakefylling mot grunnmur.....	24
3.1.7 Jordforbedring.....	26
3.1.8 Strøsand.....	26
3.1.9 Fyllinger.....	26
3.2 BUNDEN BRUK.....	27
3.2.1 Tilslag i konstruksjonsbetong.....	27
3.2.2 Tilslag i sprøytebetong.....	31
3.2.3 Sementbaserte bygningsblokker.....	33
3.2.4 Produksjon av sement.....	33
<b>4. MATERIALEGENSKAPER</b> .....	<b>34</b>
4.1 GENERELT.....	34
4.2 FYSISKE OG MEKANISKE EGENSKAPER.....	34
4.2.1 Kornform.....	34
4.2.2 Kornfordeling.....	34
4.2.3 Densitet og vannabsorpsjon.....	35
4.2.4 Mekaniske egenskaper.....	36
4.3 FUNKSJONSEGENSKAPER.....	37
4.3.1 Komprimerbarhet.....	37
4.3.2 E-modul og lastfordelingskoeffisient.....	37
4.3.3 Stabilitet/skjærstyrke.....	39
4.4 KJEMISKE EGENSKAPER.....	39
4.4.1 Bunden bruk.....	39
4.4.2 Ubunden bruk.....	39
4.5 FORURENSNINGSMESSIGE EGENSKAPER.....	40
4.5.1 Miljøskadelige stoffer i bygg- og anleggsavfall – selektiv riving.....	40
4.5.2 Miljøskadelige stoffer i resirkulert tilslag.....	40
4.5.3 Testmetoder og grenseverdier.....	41
4.6 BESTANDIGHET.....	42
4.6.1 Frostbestandighet.....	42
4.6.2 Sulfat.....	43
4.6.3 Klorider.....	44

4.6.4	<i>Alkalireaksjoner</i> .....	44
4.6.5	<i>Karbonatisering</i> .....	44
4.6.6	<i>Utluting</i> .....	45
4.6.7	<i>Humus og oppslembart materiale</i> .....	45
4.6.8	<i>Mekanisk nedbrytning, setninger og utvasking</i> .....	45
<b>5.</b>	<b>RETNINGSLINJER OG REGELVERK</b> .....	<b>46</b>
5.1	OFFENTLIGE KRAV OG HMS .....	46
5.1.1	<i>Offentlige krav og retningslinjer</i> .....	46
5.1.2	<i>Helse, miljø og sikkerhet</i> .....	47
5.2	NASJONALE OG INTERNASJONALE RETNINGSLINJER FOR BRUK AV RESIRKULERT TILSLAG.....	48
5.2.1	<i>Nasjonale retningslinjer</i> .....	48
5.2.2	<i>Internasjonale retningslinjer</i> .....	49
5.3	STANDARDISERING AV RESIRKULERT TILSLAG.....	50
5.4	KVALITETSSIKRINGSSYSTEMER .....	51
<b>6.</b>	<b>FORSKNINGSAKTIVITETER</b> .....	<b>54</b>
6.1	NORGE .....	54
6.1.1	<i>Resirkulert tilslag for bygg og anlegg (RESIBA)</i> .....	54
6.1.2	<i>Gjenvinning av tunge byggematerialer</i> .....	54
6.1.3	<i>Resirkulering av Offshore Betongkonstruksjoner</i> .....	54
6.1.4	<i>Bygg og anleggsavfall i Oslo og Akershusregionen</i> .....	54
6.1.5	<i>Hvor rent er rent nok ?</i> .....	55
6.2	UTLANDET .....	55
6.2.1	<i>ALT- MAT</i> .....	55
6.2.2	<i>POLMIT</i> .....	55
6.2.3	<i>COURAGE</i> .....	56
6.2.4	<i>MISTRA Bygg (Sustainable Building)</i> .....	56
6.2.5	<i>Targeted Research Action - Environmentally Friendly Construction Technologies (TRA-EFCT)</i> 56	
6.2.6	<i>Construction Recycling Technologies for High Quality Cement and Concrete</i> .....	56
6.2.7	<i>Use of Recycled Materials as Aggregates in the Construction Industry</i> .....	56
6.2.8	<i>Ubundne bærelag af knust beton</i> .....	57
<b>7.</b>	<b>KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER</b> .....	<b>58</b>
<b>8.</b>	<b>REFERANSER</b> .....	<b>60</b>

## 1. INNLEDNING

Denne rapporten er en praktisk rettet oversikt over områder for bruk av resirkulert tilslag innen bygg og anlegg i Norge ved starten av RESIBA-prosjektet. Resirkulert tilslag produsert ved sortering, oppknusing og fraksjonering av tungt avfall fra bygg- og anleggsvirksomhet (betong, tegl, stein, asfalt etc.) er et relativt nytt materiale innen bygg og anlegg i Norge. Mange byggherrer har derfor vært skeptiske til om de tekniske egenskapene er tilfredsstillende for ulike bruksområder. Det finnes imidlertid allerede en god del erfaringer her i landet, i tillegg til en mengde tilgjengelig litteratur og erfaringer internasjonalt, både fra pilotprosjekter, forskning, utviklingsarbeid og standardisering.

Det gis først en oversikt over bruksområder vi mener det vil være et stort potensiale å bruke resirkulert tilslag i. Videre er ulike tekniske egenskaper, regelverk og retningslinjer behandlet. For å tjene som rettesnor for de demonstrasjonsprosjekter og tekniske undersøkelser prosjektet arbeider med, har rapporten som mål å gi konkrete anbefalinger for videre arbeide i regi av RESIBA. I de fleste tilfeller vil dette si vurderinger av kvalitative erfaringer, men også konkrete tallverdier så langt dette har vært mulig. Også viktige mangler på kunnskap og erfaring, eller usikkerheter er tatt med. Ved slutten av prosjekt RESIBA i 2002, er målet å utgi en veileder som gir endelige anbefalinger for bruk av resirkulert tilslag basert på erfaringene fra prosjektet.



## 2. HVA ER RESIRKULERT TILSLAG

I denne rapporten har vi konsekvent brukt ”resirkulert tilslag” i overensstemmelse med CENs betegnelse (eng.: recycled aggregate). Definisjon av resirkulert tilslag mht. sammensetning av ulike materialer (betong, tegl, stein, asfalt mm.), innhold av urenheter etc. er gitt i standardene behandlet i pkt. 5. Disse er imidlertid ikke alltid i overensstemmelse med de handelsbetegnelser som brukes av produsenter og brukt i det etterfølgende, for eksempel blandede masser, lette masser etc.

### 2.1 Resirkulert tilslag i Norge

#### 2.1.1 Opprinnelse for materialer

Produksjon av resirkulert tilslag i Norge baseres på avfall fra BA-bransjen. Dette avfallet utgjør mer enn 1,5 mill. tonn årlig hvorav ca. 1,1 mill. tonn er betong og tegl<sup>1</sup>. I tillegg kommer store mengder av andre masser fra utgraving o.l. i størrelsesorden 10 – 15 millioner tonn<sup>2</sup>. Etter riving består selve gjenvinningsprosessen i sortering i rene avfallsfraksjoner, visuell kontroll av forurensninger (asbest mm), fjerning av uønsket materiale (metall, trevirke, gips mm.), knusing og sikting/oppdeling i tilslagsfraksjoner for salg/bruk.

I Oslo/Østlandsområdet er de største volumer tilgjengelige hos BA Gjenvinning på Grønmo (Figur 1 og Figur 2). BA Gjenvinning og Veidekke har også etablert egne mottak med kampanjeproduksjon på Strømmen, i Drammen, Larvik, Kristiansand, Trondheim mm.



Figur 1. Tungt byggeavfall før knusing hos BA-Gjenvinning i Oslo



*Figur 2. Produksjon av resirkulert tilslag hos BA-Gjenvinning i Oslo*

I tillegg har Franzefoss etablert mottak på Bondkall i Oslo og i Sandvika i Bærum. I 1999 mottok BA Gjenvinning på Grønmo ca. 115.000 tonn og leverte ut igjen den samme mengden som resirkulert tilslag. Franzefoss mottok i 1999 ca. 32.000 tonn til sammen på Bondkall og i Sandvika, hvorav hoveddelen var asfalt. Salg av resirkulert tilslag her var vesentlig lavere enn fra Grønmo.

På Fornebu har Telenor etablert eget anlegg for gjenvinning av alle tunge byggematerialer og utgravingsmasser for gjenbruk på Fornebu. En detaljert oversikt over godkjente fyllplasser og avfallsanlegg er gitt i rapport fra SFT, og oppdaterte opplysninger fås ved henvendelse til SFT<sup>3</sup>.

Opprinnelse og sammensetning av materialene varierer noe. BA Gjenvinning leverer i hovedsak "blandet masse" som i grove trekk er et gjennomsnitt av tungt bygge- og riveavfall fra Osloregionen. Gjennomsnittlig sammensetning i Oslo målt ved prøveuttak fra januar til november 1998 viste 46 % betong, 37 % stein, 8 % tegl/lettklinker, 8 % asfalt, 0,5 % organisk materiale (plast, papir, tre mm.) og 0,5 % annet (glass, metall)<sup>4</sup>. Innblanding av noe asfalt (ca. 10 %) ble gjort en kortere periode. Dette viste seg imidlertid, i følge BA Gjenvinning, å bli negativt oppfattet. Markedet ser så langt ut til å foretrekke enten ren asfalt eller ingen asfalt.

### *2.1.2 Sorteringer og betegnelser*

Tabell 1 gir oversikt over produkter og betegnelser fra hhv. BA Gjenvinning, Grønmo og Franzefoss, Bondkall. Priser fås ved henvendelse til de ulike produsenter.

Tabell 1. Sorteringer og betegnelser for resirkulert tilslag i Oslo-området pr. 01.01.99

Produsent	Betegnelse fra produsent	Sortering (mm)
BA Gjenvinning	Subbus	0-4, 0-10, 0-20, 0-30, 0-60
	Singel	4-10
	Pukk	10-20, 20 – 38
	Maskinkult	20-120, 38-120
	Knust asfalt	0-30, 0-50
Franzefoss	Knust asfalt	0-25, 0-60, usortert
	Ren betong	0-25, 0-60, usortert
	Blandede masser (betong/mur/tegl)	0-25, 0-60, usortert
	Lette masser	0-100
	Betong/asfalt	0-60

## 2.2 Resirkulert tilslag i andre land

### 2.2.1 Opprinnelse for materialer

Det er store variasjoner i sammensetningen, registrering og håndtering av bygge- og anleggsavfall i de forskjellige land. Det er også betydelige usikkerheter i det datamaterialet som det refereres til. Eksempelvis viser danske tall et stort gap mellom registrerte og potensielle (beregnete) byggeavfallsmengder i 1990, på henholdsvis 1,5-1,7 millioner tonn/år og 4,5 millioner tonn/år<sup>5</sup>. (Betong og tegl utgjør ca. 83% av dette). Fram til 1993 er det en økning i registrerte byggeavfallsmengder i Danmark til 2,3 millioner tonn.

Tall fra EU viser at det produseres i størrelsesordenen 0,5-1 tonn byggeavfall pr. innbygger pr. år i de ulike landene. Land som Danmark, Storbritannia, Tyskland og Nederland rapporterer alle tall i den øvre delen av dette området, mens det i Sverige rapporteres tall helt ned i 0,14 tonn byggeavfall pr. innbygger pr. år<sup>5</sup>.

Gjennomgående er resirkulert tilslag rimeligere enn naturlig tilslag. Tall fra utvalgte EU-land i 1995 viser at enhetspriser for naturlig tilslag ligger 10-40% høyere enn enhetsprisene for resirkulert tilslag<sup>5</sup>.

### 2.2.2 Sorteringer og betegnelser

I Danmark er RGS 90 det største gjenvinningsanlegg for tungt byggeavfall. RGS 90 håndterer 600 000 – 800 000 tonn årlig og produserer fem ulike produkter (tre i standard produksjon) i sorteringen 0-32 mm. En oversikt over de produktene RGS 90 tilbyr er gitt i Tabell 2. En blanding av betong og asfalt (genbrugsstabil), med opp til 50% asfalt, er et produkt det er relativt stor etterspørsel etter. Hovedandelen av det resirkulerte tilslaget som produseres i Danmark benyttes i forbindelse med veibygging og er lite brukt som tilslag i ny betong<sup>5</sup>.

Tabell 2. Resirkulert tilslag hos RGS 90 i København i 1999<sup>6</sup>

Tilslagsprodukt	Beskrivelse	Sortering (mm)
Genbrugsballast	Standard produkt. Blanding av betong og tegl	0-32
Genbrugsstabil	Standard produkt. Blanding av asfalt og betong DS. 401 kv. II	0-32
Knust betong	Standard produkt. Ren betong DS. 401 kv. II	0-32
Knust tegl	Bestillingsprodukt, ren tegl	0-32
Knust asfalt	Bestillingsprodukt, ren asfalt DS. 401 kv.II	0-32

I Nederland er Veluwse Afval Recycling B.V (VAR) ett av flere resirkuleringsanlegg, og håndterer ca. 800 000 tonn avfall årlig hvorav ca. 250 000 tonn er tungt byggeavfall. Anslagsvis 80% av det resirkulerte tilslaget blir brukt i tilknytning til vegformål, mens resten brukes i betongproduksjon<sup>7</sup>. VAR leverer resirkulert tilslag i en rekke sorteringer og fraksjoner. Noen av de viktigste er vist i Tabell 3.

Tabell 3. Oversikt over de viktigste resirkulerte tilslagsproduktene hos VAR i 1999

Tilslagsprodukt	Beskrivelse	Sortering (mm)
Mengkorrelmix <sup>®</sup>	Standard produkt til ubunden bruk. Blanding av betong og tegl 50/50. Lett vasket.	0-40 og 0-16
Berekerzand	Standard produkt til ubunden bruk. Blanding av betong og tegl 50/50. Godt vasket.	0-4
Stabilisert Mengkorrelmix <sup>®</sup>	Standard produkt til ubunden bruk. Blanding av betong og tegl 50/50. Stabilisert med sement.	0-40
Stabilisert sand	Standard produkt til ubunden bruk. Blanding av betong og tegl 50/50. Stabilisert med sement.	0-4
Mengkorrelmix <sup>®</sup>	Standard produkt til bunden bruk. Blanding av betong og tegl 50/50. Godt vasket.	4-16 og 4-32
Asfaltkorrelmix	Standard produkt til ubunden bruk. Knust asfalt med eller uten tjære. Lett vasket.	0-22 og 0-40

Resirkulert tilslag av ren betong leveres bare på bestilling i fraksjonen 0-40 mm.

Hos Theo Pouw, et annet stort resirkuleringsanlegg i Nederland knuses ca 750.000 tonn stasjonært og 250.000 tonn mobilt. Theo Pouw produserer også årlig ca. 50.000 m<sup>3</sup> betong med innblandet grovt tilslag iht. nederlandske retningslinjer<sup>8</sup>.

### 3. BRUKSOMRÅDER

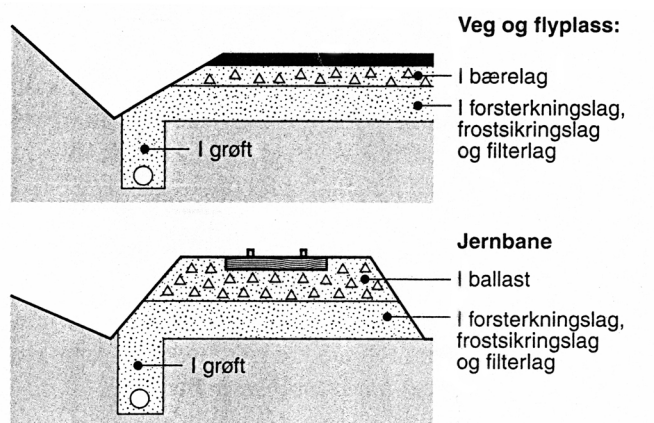
#### 3.1 Ubunden bruk

Med ubunden bruk menes ulike former for fylling (avretting, tilbakefylling, grøfter, veier, fundamentering, drenering mm.). Tilslagets funksjon, krav til tekniske egenskaper og dokumentasjon varierer mye. Det er grunn til å tro at en stor del av det tilslaget som i dag leveres til f.eks. avretting og fundamentering i bygg og anlegg brukes uten at det leveres nevneverdig dokumentasjon.

Undersøkelser av resirkulert tilslag for ubunden bruk har så langt gitt positive resultater, og betydelige mengder blir i dag bruk til dette formålet blant annet i Danmark og Nederland.

##### 3.1.1 Vegfundament

I europeiske foregangsland som Danmark og Nederland, har bruk av resirkulert tilslag i forbindelse med vegbygging blitt det desidert største anvendelsesområdet. Det resirkulert tilslag benyttes i første rekke i forsterkningslaget i vegkroppen (Figur 3), i tillegg til at det blir brukt til for eksempel midlertidig dekke på grusveier. I Norge er det ikke laget generelle retningslinjer for bruk av resirkulert tilslag i vegfundament<sup>9</sup>. Imidlertid er det flere prosjekt som for tiden utreder dette bruksområdet, og det vil ganske snart komme konklusjoner og anbefalinger.



Figur 3 Forenklete skisser som viser hvor ubundne materialer kan benyttes i veg og jernbane<sup>10</sup>.

Det totale markedet for gjenvinningsmaterialer i Norge er anslått til mellom 1 og 2 mill. tonn pr. år. Dette tilsvarer mellom 2 % og 4 % av markedet for pukk/grus/sand. Bruk av resirkulert tilslag i vegfundament forventes å bli et betydelig bruksområde også i Norge. Faktorer som taler for det motsatte er at det mange steder i Norge er:

- god tilgang til naturlig tilslag
- ofte tilstrekkelig gode stedlige masser

### 3.1.1.1 Erfaringer fra Norge

Det er for tiden flere forsknings- og demonstrasjonsprosjekter i Norge som i større eller mindre grad tar for seg bruk av resirkulert betong vegfundament. Nedenfor blir de viktigste av disse prosjektene og erfaringene derfra omtalt kort.

Franzefoss har i prosjektet "Gjenvinning av tunge byggematerialer" blant annet sett på bruk av resirkulert tilslag til vegfundament. Prosjektet ble avsluttet i 1999 men det er så langt ikke kommet sluttrapporter med resultater fra disse undersøkelsene.

Veidekke ASA har benyttet resirkulert tilslag (blandet masse, 20-120 mm, fra BA Gjenvinning) i et 400 mm tykt forsterkningslag for en bussoppstillingsplass på Klemetsrud i Oslo. Dette er utført i 1996-1997. Det er ikke gjort noen form for systematisk kontroll eller oppfølging av dette prosjektet. Asfaltdekket har i forbindelse med installasjon av nye oljeutskillere vært fjernet på deler av parkeringsplassen etter ca. 3-års drift. Det var ved visuell kontroll ikke mulig å se spesielle skader på tilslaget (nedknusning eller utvasking). Høy belastning fra trafikklast har heller ikke gitt synlige setningsskader på parkeringsplassen<sup>11</sup>.

I forbindelse med bygging av Skullerudkrysset i Oslo har Statens vegvesen Oslo benyttet resirkulert tilslag fra BA Gjenvinning i avretting av byggegrunn under lett fylling, fundament og omfylling i rørgrøfter og i forsterkningslaget i gang- og sykkelvegene. Dette ble utført i 1996/97, uavhengig av RESIBA og det var ingen spesiell oppfølging under anleggsperioden. Erfaringene så langt er gode<sup>12</sup>. I forbindelse med RESIBA-prosjektet (DP2) blir så Skullerudkrysset fulgt opp videre ved at det gjøres målinger for å vurdere eventuell utlekking fra det resirkulerte tilslaget.

Veidekke ASA har i 1999 benyttet resirkulert tilslag (blandet masse, 20-120 mm, fra BA Gjenvinning) på en ca. 150 meters strekning av den nye vegforbindelsen mellom Blindern og det nye Rikshospitalet, ved kryssing av Gaustadbekkdalen. På denne strekningen er det både trikketrase, kjøreveg og gang/sykkelveg og det resirkulerte tilslaget er benyttet i fundamentet over EPS-fyllingen (se Figur 4). Før trafikken ble satt på ble det så i regi av RESIBA-prosjektet etablert totalt 26 målepunkter for kontroll av eventuelle setninger. Disse målepunktene skal følges opp fram til 2002.



*Figur 4. Trikk- og vegtrase over Gaustadbekkdalen i Oslo der resirkulert tilslag er brukt i overbygningen (veg, trikk og gang- /sykkelveg).*

I Statsbygg prosjektet med gjenbruksmaterialer på Fornebu, som hovedsakelig gjelder asfaltgranulat, er det også etablert vegprøvefelt med mekanisk stabiliserte bærelag eller forsterkningslag av blandede masser. Det benyttes da ca. 50 % knust betong og ca. 50 % asfaltgranulat. Vegdirektoratet har bidratt med en del målinger i felt. Videre tilstandskontroll og evaluering utføres i 2000. Rapporter fra dette prosjektet utarbeides av SINTEF.

I forbindelse med utbyggingen av infrastruktur for nytt Regionsykehus i Trondheim (RiT) har Franzefoss utført forsøk med forsterkningslag og bærelag av resirkulert betong (blandingsmasse knust betong/tegl) på en parkeringsplass. Det er benyttet flere varianter mht. oppbyggingen og knust asfalt ble brukt som dekke. Det er gjort materialundersøkelser og oppfølging av konstruksjonen (tilstandsundersøkelser) i regi av SINTEF, som også skal rapportere dette på oppdrag fra Franzefoss.

Innen RESIBA-prosjektet er det også i regi av Statens vegvesen etablert to prøvefelt og referansefelt i gang- sykkelveg på Skøyen i Oslo. Beskrivelse og krav til resirkulert tilslag og utførelse av G/S-vegen ble laget av Statens vegvesen basert på RILEM/CEN og Statens vegvesens håndbok 018. Erfaringer og resultater fra prosjektet vil bli presentert i egen rapport fra Statens vegvesen.

#### 3.1.1.2 Erfaringer fra utlandet

Internasjonalt er det utført en rekke feltforsøk og demonstrasjonsprosjekter med bruk av resirkulert tilslag i forsterkningslag og i noen grad også i bærelag. I Nederland og Danmark brukes betydelige mengder resirkulert tilslag i vegbygging. Det er i denne rapporten ikke mulig å gi en komplett oversikt over erfaringene fra alle disse prosjektene og det henvises blant annet til ALT-MAT, et pågående EU-prosjekt, se

kapittel 6.2.1. Det er nedenfor gitt noen eksempler på internasjonale erfaringer fra bruk av resirkulert tilslag i vegfundament.

I Danmark benyttes mye resirkulert tilslag i vegbygging og det er blant annet betydelig omsetning av Genbruksstabil. Dette er en blanding av resirkulert betong og opptil 50% asfalt. Genbruksstabilen har bedre styrkeegenskaper enn stabil grus framstilt av naturlige materialer, men det er fortsatt en del usikkerhet knyttet til slitestyrke og levetid<sup>5</sup>.

I Sverige brukes foreløpig lite resirkulert tilslag i ordinær vegbygging. Det er imidlertid gjennomført flere demonstrasjonsprosjekter. Blant annet så er det i regi av Boverket i Sverige gjennomført et prosjekt hvor det foreløpig ser ut til å være gode resultater<sup>13, 14, 15</sup>. En alminnelig oppfatning er at de resirkulerte massene har gode stabilitetsmessige egenskaper og at E-modulen er forholdsvis høy ved lave spenningsnivåer, men avtagende ved høye spenningsnivåer. I forbindelse med målingen av E-modulen ved platebelastning i disse prosjektene er en karakteristisk egenskap for det resirkulerte tilslaget at man ofte får en markert styrkeøkning de første ukene etter at materialet er utlagt og komprimert.

En viktig drivkraft for bruken av resirkulert tilslag i vegbygging har vært økonomi. For eksempel i King County i Washington, USA, benyttes resirkulert tilslag blant annet som midlertidig veidekke, og i 1998 har myndighetene spart over \$20.000 av et budsjett på \$165.000<sup>16</sup>. King County benytter delvis de krav som Washington State Department of Transportation har i sine standardspesifikasjoner for bruk av resirkulert tilslag<sup>22</sup>.

### 3.1.1.3 Norske retningslinjer

Krav til tradisjonelle steinmaterialer for ubundne lag i vegoverbygning framgår av kapittel 5 i Statens vegvesens håndbok 018 Vegbygging<sup>17</sup>. For å kunne bedømme brukbarheten av resirkulert tilslag til ubundne lag i vegkonstruksjoner kan det i første omgang være riktig å ta utgangspunkt i dagens krav for ubundne (mekanisk stabiliserte) lag av vanlige steinmaterialer. Imidlertid må både prøvemethodene som benyttes og kravene som stilles for naturlig tilslag gjennomgås med tanke på egnethet for resirkulert tilslag. Det finnes flere eksempler på at prøvemethoder for naturlige materialer ikke uten videre er egnet for resirkulerte materialer. Dette er nærmere behandlet i kapittel 4. Det vil også være viktig å ta hensyn til at det kan være visse ulemper forbundet med bruk av resirkulert tilslag i forhold til vanlige pukk- og grusmaterialer. Dette kan være for eksempel være mer støving, svakere mekanisk styrke, dårligere homogenitet og mere urenheter.

Nedenstående tabell viser hva kravene i håndbok 018 i prinsippet omfatter. Foreløpig mangler tilsvarende krav for resirkulerte materialer.



Tabell 4. Oversikt over krav som stilles til steinmaterialer til ubundne (mekanisk stabiliserte) forsterkningslag og bærelag<sup>17</sup>.

Egenskap	Aktuelle beskrivelser og/eller krav	
	Forsterkningslag (mek.stab.)	Bærelag (mek.stab.)
Prosentandel knust materiale	Nei, ikke krav	Ja, krav er stilt
Kornfordeling	Ja (verbal beskrivelse ++)	Ja (grensekurver)
Maks. steinstørrelse	Ja	Ja
Graderingstall Cu	Ja	Ja
Mengde finstoff < 0,075 mm	Ja	Ja
Telefarlighetsklasse	Ja	Ja
Steinklasse (flisighet/sprøhet)	Ja	Ja
Flisighet av matr. > 11,2 mm	Ja	Ja
Abrasjon	Nei	Ja
Slitasjemotstand (Sa-verdi)	Nei	Nei
Slitasjemotstand (mølleverdi)	Nei	Nei
Maks. innhold svake bergarter	Ja	Ja
Maks. innhold av humus	Ja	Ja
“Funksjonskrav”, generelle	Ja (krav gjelder hele overbygningen)	Ja (krav gjelder hele overbygningen)
“Funksjonskrav”, spesifikke		Ja (godt drenerende bærelag)
Los Angeles	Nei, ikke krav	Nei (ikke konkrete krav)
CBR	Nei, ikke krav	Ja (krav i visse tilfeller)
Trecks (E-modul m.v.)	Nei, ikke krav	Nei (ikke konkrete krav)
Komprimeringsgrad av utlagt lag	Ja	Ja

I tillegg er det også krav til dimensjonering og utførelsen. I forbindelse med dimensjoneringsreglene er det i Statens vegvesens håndbok 018 definert ulike “standardmaterialer”. Materialene deles bl.a. inn på grunnlag av lastfordelende egenskaper, uttrykt gjennom lastfordelingskoeffisienten. Denne koeffisienten er foreløpig ikke fastsatt for resirkulerte materialer i vegfundament.

Kvaliteten av den ferdige vegen kan til en viss grad uttrykkes gjennom E-modul og andre målinger av stivhet/styrke, bæreevne osv. Kvaliteten kan også vurderes ut fra tilstandsutviklingen dvs. sporutvikling, jevnhetsutvikling og utvikling av dekkeskader og andre endringer i dekkekvaliteten som funksjon av tiden (flere års perspektiv). Dette er blitt et mer sentralt begrep de senere år. Det foretas regulær registrering og oppfølging av tilstandsutviklingen, med stor nøyaktighet og betydelige mengder data som dokumentasjon. Denne type “kvalitetsmål” må også benyttes for veg der det er benyttet resirkulert tilslag i konstruksjonen.

#### 3.1.1.4 Eksempler på utenlandske retningslinjer for bruk i vegfundament

Utstrakt bruk av resirkulert tilslag i vegbygging har ført til at det i en del land er utarbeidet retningslinjer for ulike bruksområder.

I Sverige har Väg och Trafikinstitutet (VTI) på oppdrag fra Grus- och Makadamföreningen (GMF) utarbeidet VTI notat nr. 67<sup>18</sup>. Dette omhandler teknikk,

kvalitet, kontroll samt muligheter for tilvirkning og anvendelse av gjenvunnet betong som alternativ til konvensjonelle råmaterialer som ballast. VTI notatet forslår krav til resirkulert betong som skal anvendes i gater og veger, og dessuten gis eksempler på kravspesifikasjoner for ballast av knust betong i henhold til GMF's bransjestandard for ballast ved levering. De foreslåtte kravspesifikasjonene er tilpasset svenske krav til ballastmateriale for veger. I følge notatet skal kravspesifikasjonene ikke tolkes som tekniske anvisninger som alltid skal følges, men de er tilpasset slik at om de følges kan det framstilles et ballastmateriale av knust betong som i sin tur oppfyller kravene i Väg 94 for materiale til bære- og forsterkningslag<sup>18</sup>.

Det svenske Vägverket har utarbeidet en publikasjon som bl.a. omfatter anvendelsesområder og eksempler på krav og restriksjoner for bygg- og rivningsavfall i veibygging<sup>19</sup>. Vägverkets retningslinjer for ubundne (dvs. mekanisk stabiliserte) lag til overbygningen er gitt i "Väg 94". Knust/sortert betong- eller bygningsavfall ikke er eksplisitt omtalt. Väg 94 er for tiden under revisjon.

I Finland er resirkulert betong benyttet i vegfundament siden 1994. Resirkulert betong har vist gunstige geotekniske egenskaper i feltstudier på forsøksveger og i laboratorieundersøkelser, og er derved vurdert som egnet for bruk i vegkonstruksjoner. Finnish National Roads Administration (Finnra) har utarbeidet retningslinjer for bruk av resirkulert betong i vegbygging, disse har også kommet i engelsk utgave<sup>20</sup>. Retningslinjer fra det finske kommuneforbundet (Communal Association) er også klare. Standardisering av kvalitetskontroll og kvalitetskriterier pågår, forventes å være ferdig i løpet av 2000.

Retningslinjene fra Finnra inneholder bl.a. en presentasjon av dimensjoneringsregler og -parametre (bæreevne og frostbestandighet). Ulike dimensjoneringstabeller er også presentert. Eksempelvis er E-modulen for resirkulert betong (type I-III) til bruk ved dimensjonering fra 280 (type III) til 700 (Type I) MPa, avhengig av øvrige egenskaper. Regler for utførelse er presentert etter tilsvarende oppsett som retningslinjer fra det finske Vägverket.

I USA har Federal Highway Administration (FHWA) lagt ut resultater fra forskningsarbeide i form av informasjon og retningslinjer for bruk av totalt 19 gjenbruksmaterialer i vegbygging på sine Internettssider. Blant annet omhandles resirkulert betong i følgende to dokumenter<sup>21</sup>:

- Reclaimed concrete material - User guideline / Embankment or fill
- Reclaimed concrete material - User guideline / Granular base

I følge retningslinjene fra FHWA for resirkulert betong i granulære bærelag heter det innledningsvis:

*"Reclaimed concrete material (RCM) can be used as coarse and/or fine aggregate in granular base. The properties of processed RCM generally exceed the minimum requirements for conventional granular aggregates. Being a 100 percent crushed material, processed RCM aggregates "lock up" well in granular base applications, providing good load transfer when placed on weaker subgrade....."*

Dokumentet gir videre en rekke anvisninger for materialprosessering, oversikt over noen typiske materialeegenskaper (byggetekniske egenskaper), forhold som må tas hensyn til ved dimensjonering, samt anvisninger og spesielle forhold ved bruk/utførelse. For tiden brukes resirkulert betong i vegbygging i 20 delstater (som er listet opp)<sup>21</sup>. I delstatene Illinois og Pennsylvania finnes det direkte spesifikasjon av for bruk av resirkulert betong i granulære bærelag. Flere delstater driver forskning på dette området<sup>21</sup>.

Washington State Department of Transportation (WSDOT) har inkludert spesifikasjoner for resirkulert materiale til ballast (evt. skulderballast), bære- og topplag, gjenfyllings- og omfyllingsformål i sine standardspesifikasjoner<sup>22</sup>. Det spesifiseres at forhåndsprøve av det resirkulerte tilslaget og eventuelt naturlig stedlig material som skal blandes med det resirkulerte materialet skal testes mht. LA (Los Angeles) og "Degradation Factor". Videre nevnes krav til at det resirkulerte materialet ikke skal være skadelig eller giftig, og det er blant annet gitt krav til prøvingsfrekvens<sup>22</sup>.

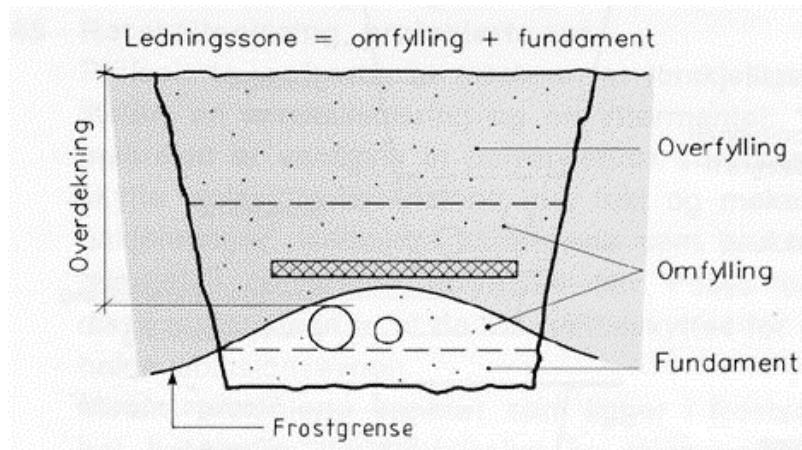
I Storbritannia har Engineering Services Laboratory of Kent County Council i samarbeid med Symonds Travers Morgan (STM), på oppdrag fra Department of the Environment, Transport and the Regions, utarbeidet en rapport om bruk av resirkulert tilslag i vegbygging<sup>23</sup>. Rapporten gjengir sammendrag av spesifikasjoner for en rekke massetyper, bundne og ubundne, til vegbygging. For hver massestype er det angitt hvilke råmaterialer som kan brukes, og spesifikke krav for råmaterialene (her: tilslag) er referert. For massetyper hvor resirkulerte materialer tillates brukt er dette angitt, men i ulik grad er det angitt hvilke resirkulerte materialer som kan brukes. Hvilke materialeegenskaper det stilles spesifikke krav til er avhengig av massestype og bruksområde. Rapporten er i sin helhet lagt ut på Internett<sup>23</sup>.

I Danmark finnes det på tross av utstrakt bruk av resirkulert tilslag i vegbygging, ikke retningslinjer for bruk, og resirkulert tilslag brukes derfor i følge Vejdirektoratet i Danmark på en "ikke særlig hensiktsmessig og optimal måte". I regi av danske vegmyndigheter pågår det nå et prosjekt, som er nærmere omtalt i kapittel 6.

Statens Vejlaboratorium i Danmark har utgitt en rapport med generell omtale av krav til tegl i vegbygging. Funksjonskrav går ut på at knust tegl ved bruk av egnet material skal kunne innbygges til et lag som har nødvendig bæreevne, frostsikkerhet, frostbestandighet og slitestyrke<sup>24</sup>.

### 3.1.2 VA-grøfter

Tall fra Danmark viser at det årlig forbrukes ca. 660.000 m<sup>3</sup> (ca. 1 mill. tonn) tilslag i ledningssonen (Figur 5) for vann- og avløpsledninger<sup>25</sup>. Dette illustrerer at bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen er et potensielt stort anvendelsesområde også i Norge.

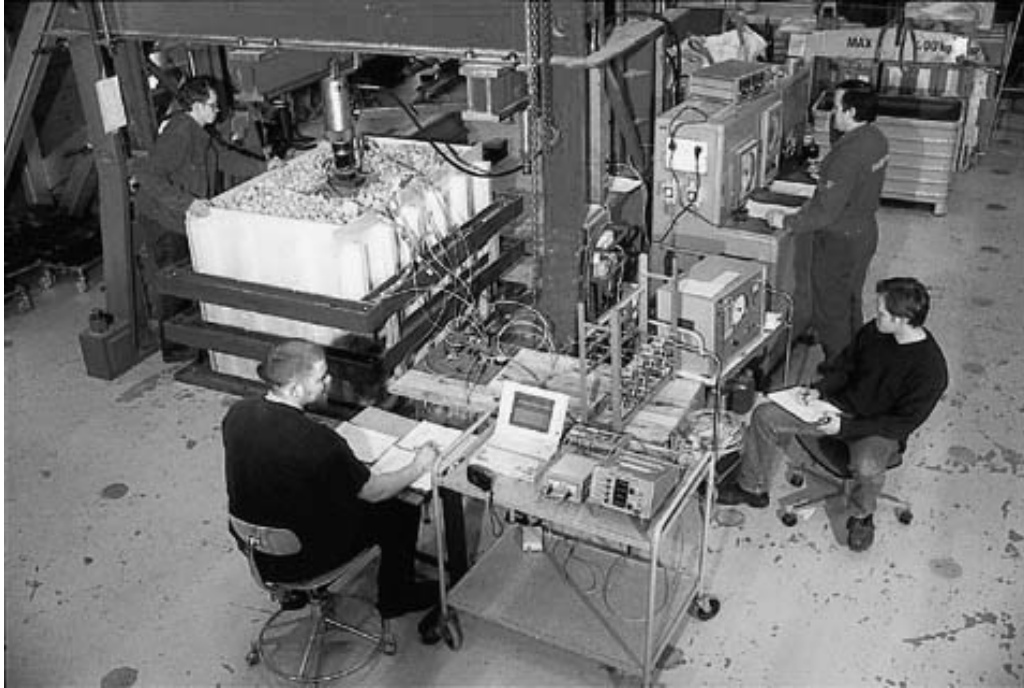


Figur 5. Inndeling av grøftesonen<sup>26</sup>

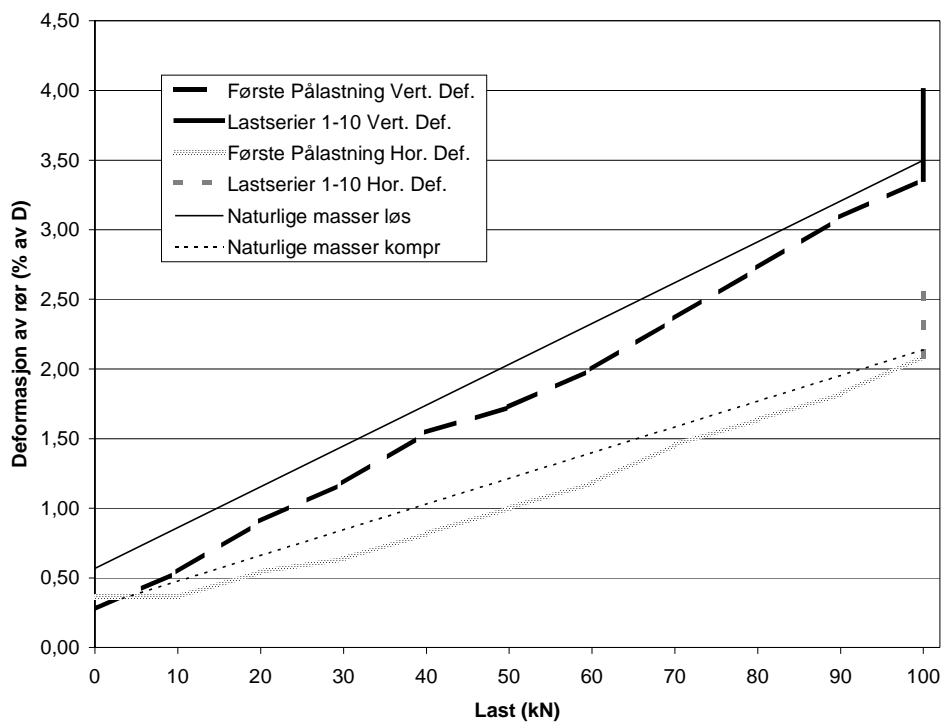
### 3.1.2.1 Erfaringer fra Norge

Med bakgrunn i forsøk utført på 70-tallet ved NBI, ble det i 1999 gjennomført et fullskala laboratorieforsøk med bruk av resirkulert finpukk (8-12 mm) av ren betong som omfylling rundt et PVC-rør (se Figur 6)<sup>27, 28</sup>. Forsøket fra 70-tallet ble gjentatt med resirkulert tilslag som eneste nye variabel. Overdekningen over røret var 0,8 m.

Resultater viser at deformasjonen av PVC røret er sammenlignbare med de deformasjonene som ble målt i tidligere forsøk. Deformasjonene er også sammenlignbare med angitte grenseverdier for finpukk, og langt under krav til initiell rørdeformasjon på 8 % fra NS 3420, selv etter 10 lastrepetisjoner<sup>29, 33</sup>. Figur 7 viser horisontal- og vertikaldeformasjon i røret sammen med typiske verdier for fleksible rør med omfylling med naturlige masser (8-12 mm finpukk) med og uten komprimering<sup>29</sup>. Lastrepetisjonene (vist i Figur 7 som vertikale linjer) viser at rørdeformasjonen raskt nærmer seg en asymptotisk verdi, med 70 - 80% av den ikke-reversible rørdeformasjonen allerede etter en pålastning. Komprimering ble utført med lett fottråkking og resultatene viser at pukken setter seg noe ved første pålastning. Det ville derfor vært en fordel med bedre komprimering.



Figur 6. Fullskalaforsøk ved NBI med resirkulert tilslag i rørgrøft



Figur 7. Resultater fra NBIs laboratorium med måling av horisontal- og vertikal deformasjon i % av  $D_{indre}$  (110 mm) for fleksibelt plastrør med resirkulert tilslag (8-12 mm) som fundament og omfylling.

Jordtrykkmålingene viste at lastfordeling var tilnærmet 2:1, som er identisk med det som tidligere er rapportert av NBI for naturlige masser<sup>27</sup>. Det ble ikke observert spesielle skader på PVC-røret etter at tilslaget var fjernet på tross av repeterte belastninger helt opp til 250 kN.

I Skullerudkrysset i Oslo benyttet Statens vegvesen Oslo (SvO) i 1997 - 1998 resirkulert tilslag, blandede masser 10-20 mm, fra BA-Gjenvinning på Grønmo bl.a. som fundament og omfylling for anslagsvis 600 m overvannsgrøfter<sup>30, 31</sup>. Det ble ved bestilling ikke stilt spesielle krav til massene, og det største problemet var at de første lassene som ble levert hadde for mye fliser og trerester. Fundament og omfylling i grøftene ble komprimert med vibroplate og ga ingen problemer med nedknusning. De generelle erfaringer fra prosjektet er i følge SvO positive<sup>30, 31</sup>.

Veidekke ASA har ved bygging av bussparkeringsplasser for Oslo Sporveier på Klemetsrud i 1996 -1997 benyttet resirkulert tilslag 8-12 mm som fundament og omfylling for 110 mm drensledninger. Totalt er det lagt ca. 500 m med drensledninger. Overflatevannet fra parkeringsplassen dreneres gjennom dekket i striper med drensasfalt og videre gjennom underliggende drensledninger. Det resirkulerte tilslaget blir derfor utsatt for betydelige mengder vann. Samtidig ligger drensledningene med bare 400 mm overdekning og blir utsatt for stor mekanisk belastning. På Klemetsrud er det benyttet ca. 6 000 m<sup>3</sup> resirkulert tilslag i forsterkningslag og drensledninger<sup>11</sup>.

I forbindelse med installasjon av nye oljeutskillere etter ca. 3-års drift ble det heller ikke observert synlige skader på hverken tilslaget (nedknusning eller utvasking) eller drensledningene. Høy belastning og stor vanngjennomgang i de drenerende massene har heller ikke gitt synlige setningsskader på parkeringsplassen<sup>11</sup>.

I tillegg til forsøk ved NBI har man også i regi av et annet forskningsprosjekt utført forsøk med resirkulert tilslag som omfylling rundt rør. Dette arbeidet har vært gjort i tilknytning til byggarbeidene på Regionsykehuset i Trondheim (RiT 2000)<sup>32</sup>. Det ble utarbeidet dokumentasjon som ga godkjenning til bruk av resirkulert ren knust betong som omfylling og fundament til ledningsanlegg på RiT. Det har imidlertid ikke vært mulig å få tilgang til resultatene fra prosjektet på RiT ved utarbeidelse av denne rapporten.

### 3.1.2.2 Erfaringer fra utlandet

Det er gjennomført feltforsøk i Danmark med bruk av knust tegl og knust betong i fraksjonen 0-4 mm som fundament og omfylling for plast- og betongrør. Prøvefeltet hadde en trafikkbelastning på ca. 100 lastebiler/døgn.

I det første prosjektet ble de ledningstekniske forhold vurdert og feltforsøket fulgt opp over 2 år<sup>25</sup>. TV-inspeksjonen etter 2 år viste ingen synlige skader på røret. Rørledningene hadde satt seg 3-5 cm der det var brukt resirkulert tilslag mens referanseledningene hadde setninger på 2-4 cm. Deformasjonen i PVC-rørene ble målt til maksimalt 8% etter 2 år. Dette er godt under 13% som er største relative deformasjon i PVC rør etter 2 år, iht. NS 3420 H73<sup>33</sup>. Forsøkene med kapillaritetsbestemmelse ga en stighøyde som er ca. dobbelt så stor som for naturlig grus i samme fraksjon. Dette kan innebære at massene vil være mer telefarlig enn naturlig materiale. Knust tegl og betong ble ikke vurdert å gi skarpe kanter på samme måte som for eksempel flint, og er dermed ikke et problem for bruk rundt plastrør. Erfaring viser også at de nedknuste tilslagsmaterialene kan håndteres på samme måte og med samme utstyr som naturlig tilslag<sup>25</sup>.

I det andre prosjektet ble knust betong og tegl, 0-4 mm, som omfylling rundt rør i vegareal vurdert ut i fra vegtekniske forhold<sup>34</sup>. Det ble også her gjort en rekke laboratorieforsøk og feltmålinger. Den knuste teglen var for velgradert og dermed tung å komprimere, mens tegl/betong i samme fraksjon var noe lettere å komprimere men fortsatt for velgradert. Dette kan føre til problemer med underkomprimering og påfølgende setninger.

Knust betong blandet med 10 % resirkulert glass (cullets) er beskrevet som materiale for omfylling rundt stive- og fleksible rør i et prosjekteksempel i King County i USA<sup>16</sup>. I beskrivelsen fra King County henvises det til retningslinjer gitt av Washington State Department of Transportation (WSDOT)<sup>22</sup>.

### 3.1.2.3 Norske retningslinjer

Det er gitt krav og anbefalinger til masser som brukes til omfylling og fundamentering i rørgrøfter flere steder<sup>17, 26, 29, 33, 35, 36</sup>. Materialer som brukes i ledningssonen skal sikre varig stabilitet og bæreevne, og de skal ikke forringe kvaliteten på rør, rørmateriale eller grunnvann<sup>35</sup>.

Det stilles generelt krav til største nominelle kornstørrelse, komprimering og lagtykkelser avhengig av blant annet rørtype, rørdiameter, funksjon, type masser og komprimeringsklasse. I tillegg er det vesentlig om rørledningen skal plasseres i eller utenfor vei.

NS 3420-H omfatter alle rørtypene (betong, stål, støpejern og plast), og inneholder krav til massene og beskrivelse av utførelse<sup>33</sup>. Kraven til massene er delt opp i krav til fundament (H23), sidefylling og beskyttelseslag, dvs. omfylling (H24) og gjenfylling over ledningssonen, dvs. overfylling (H25). Det er i NS 3420 krav om at leirinnholdet skal være mindre enn 2%. Videre anbefales ikke 0-fraksjon brukt i ledningssonen der det er fare for utvasking. Det er i tillegg gitt en rekke spesielle krav for ulike rørtypene og grøfter.

NS 3420-H henviser en rekke steder til punkt 5.3 og 5.4 i NS-EN 1610: 1998 Utførelse og prøving av avløpsledninger for krav til massene som brukt i ledningssonen og gjenfylling over ledningssonen<sup>35</sup>. Det åpnes på denne måten for bruk av resirkulerte materialer i ledningssonen. I NS-EN 1610 punkt 5.3 er det listet opp materialer som er egnet, og som også kan inneholde resirkulerte materialer.

Kapittel 441 i Statens vegvesens håndbok 018, Vegbygging, angir krav til materialer og utførelse av ledningsgrøfter med bl.a. maksimal kornstørrelse, andel finstoff for dreneringsledninger og komprimering<sup>17</sup>. Statens vegvesens håndbok 018 gir ikke spesifikke anvisninger for bruk av resirkulert tilslag i ledningsgrøfter.

VA-grøfter er et interessant markedsområde for bruk av resirkulert tilslag. Det finnes få konkrete forhold i gjeldende retningslinjer som ekskluderer bruk av resirkulert tilslag i grøfter. I det videre utviklingsarbeidet må det også legges vekt på å dokumentere erfaringer fra eksisterende anlegg som allerede har vært i drift en tid, for eksempel demonstrasjonsprosjektene som nå er i ferd med å bli startet opp. Disse erfaringene må etter hvert tas inn i retningslinjer, anbefalinger og begrensninger for utførelse av VA-grøfter.

### 3.1.3 *Kabelgrøfter*

Omfylling i kabelgrøfter er et mulig bruksområde for resirkulert tilslag. Imidlertid er det ikke funnet dokumentasjon fra forsøk i Norge eller utlandet. I dag blir det normalt et overskudd av finfraksjonen 0-10 mm ved oppknusing av betong og tegl, samtidig som omfylling i kabelgrøfter iht. NS 3420-H skal utføres med masser med maksimal nominell kornstørrelse på 8 mm<sup>33</sup>.

I henhold til NS 3420-H skal tykkelsen på fundamentet være minimum 50 mm mens beskyttelseslaget skal ha tykkelse på minst 100 mm<sup>33</sup>. Massene som benyttes i kabelgrøfter skal komprimeres, men det er ikke gitt spesifikke krav til komprimeringen. Kraven til massene er som for rørledninger, delt opp i krav til fundament (H23) og sidefylling og beskyttelseslag, dvs. omfylling (H24).

Konsulentfirmaet Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet (REN) har utgitt anbefalinger for kabelgrøfter<sup>37</sup>. Anbefalingene i RENs publikasjon er mer spesifikke enn NS 3420-H. Det anbefales å bruke fraksjonen 2-4 mm i ledningssonen og minimum 100 mm i både fundament og beskyttelseslag. REN har også gitt konkrete anbefalinger for komprimering.

Tilslagskorn med for skarpe kanter har blitt nevnt som et mulig problem. Kabler blir ofte ikke lagt frostfritt, og selv om de sjelden blir utsatt for direkte trafikkbelastning, kan det bli en belastning på kabler på grunn av bevegelse i massene ved frost. I Danmark ble resirkulert tilslag (0-4 mm) med betong og tegl vurdert å ikke inneholde skarpe kanter som kunne forårsake skader på rør<sup>25</sup>. Imidlertid bør eventuelle materialer som gir for skarpe tilslagskorn identifiseres og sorteres ut ved produksjon av resirkulert tilslag for kabelgrøfter. Klinker-flis er et eksempel på et slikt materiale.

Bruk av resirkulert tilslag i kabelgrøfter er et tilsynelatende interessant alternativ til naturlig tilslag. Det bør gjennom relativt enkle forsøk være mulig å undersøke om knust tegl, betong og lettbetong er egnet for bruk i kabelgrøfter.

### 3.1.4 *Fellesgrøfter for VA-ledninger og kabler*

Av økonomiske og arealmessige grunner gjøres det ofte en samordning av de tekniske anleggene i fellesgrøfter. Riktig valg av materialer og utførelsen av grøftfundamentet og omfyllingen er viktig for å hindre skader på kabler og ledninger, ensgradert singel eller finpukk anbefales brukt<sup>29, 38</sup>. Det er imidlertid ikke gitt spesielle krav i Norsk Standard til materialer som benyttes i fellesgrøfter. Der finpukk benyttes som omfyllingsmasse rundt kabler, bør kornstørrelsen oppad begrenses til ca. 12 mm<sup>29, 38</sup>. Fellesgrøfter bør på samme måte som VA-grøfter og kabelgrøfter, kunne være et aktuelt bruksområde for resirkulert tilslag.

### 3.1.5 *Fundamentering - avretting*

Fundamentering og masseutskiftning med bruk av resirkulert tilslag er et annet aktuelt bruksområde for resirkulert tilslag. De viktigste egenskapene tilslaget må ivareta er mekanisk bæreevne og fuktsikring i form av kapillærbryting og drenering. Det kan blant annet være aktuelt med resirkulert tilslag i bruk ved:

- fundamentering av bygninger
- fundamentering av uoppvarmede byggverk



### 3.1.5.1 Fundamentering av bygninger

Fuktsikring av gulv under terrengnivå er vesentlig ved fundamentering av bygninger, både med tanke på kapillærbryting og drenering. NBI byggdetaljblader anbefaler<sup>39</sup>:

- Drenerende lag av finpukk 4-16 mm, min. 100 mm tykt, for betonggulv med underliggende varmeisolasjon.
- Kapillærbrytende og drenerende lag av finpukk eller grovere, min. 400 mm tykt, under uisolerte gulv.

Tilslaget som skal brukes som kapillærbrytende lag må ha lavt finstoffinnhold. Uvasket tilslag vil som regel ha en del støv og smuss på steinkornenes overflater som kan gi et kraftig bidrag til kapillærsugingen.

Bæreevne er også viktig, og for småhus med én og to etasjer kan en regne med at byggegrunnen av fastlagret sand og grus kan oppta 250-300 kN/m<sup>2</sup><sup>40</sup>. Alminnelig gode steinmasser (som granitt, gneis o.l.), som er komprimert iflg NS 3420, kan belastes med inntil 500 kN/m<sup>2</sup> ved fyllingshøyde mindre enn 3 m<sup>41</sup>. Det finnes ikke tilsvarende tall for resirkulert tilslag. Så langt i Oslo kjenner vi til at resirkulert tilslag er benyttet som oppfylling under pælefundamenterte bygg. I oppfølging av fullskalaforsøk må lastbærende evne og drenering/kapillærsug sjekkes slik at evt. begrensninger for fundamenteringstrykk finnes.

### 3.1.5.2 Fundamentering av uoppvarmede byggverk

Resirkulert tilslag, 10-20 mm blandede masser fra BA Gjenvinning, ble benyttet av Statens vegvesen Oslo (SvO) som avretting for EPS fyllinger i forbindelse med bygging av Skullerudkrysset. Avrettingslaget ble lagt ut i varierende tykkelse (50 – 400 mm) under 300 – 400 m<sup>2</sup> EPS. Erfaringene fra bruk av resirkulert tilslag til dette formålet er i følge SvO gode<sup>31</sup>. Ifølge retningslinjer fra Vegdirektoratet bør EPS-blokker ligge på et underlag som er drenert. Det stilles også toleransekrav i forhold til teoretisk høyde og jevnhet<sup>42</sup>.

For uoppvarmede bygninger og konstruksjoner er telesikring og eventuelt bæreevne avgjørende for fundamenteringen. Det anbefales å anta at jordmasser er telefarlige hvis ikke annet er påvist ved prøving<sup>43</sup>. Telesikre masser, klasse T1, er naturlige eller knuste masser (sand, grus, pukk) der maksimalt 3 % av massene har mindre korndiameter enn 0,02 mm<sup>17</sup>. Telesikring kan gjøres ved å foreta masseutskifting med ikke telefarlige masser til frostfri dybde eller ved masseutskifting kombinert med markisolering, for å redusere gravedybden<sup>44</sup>.

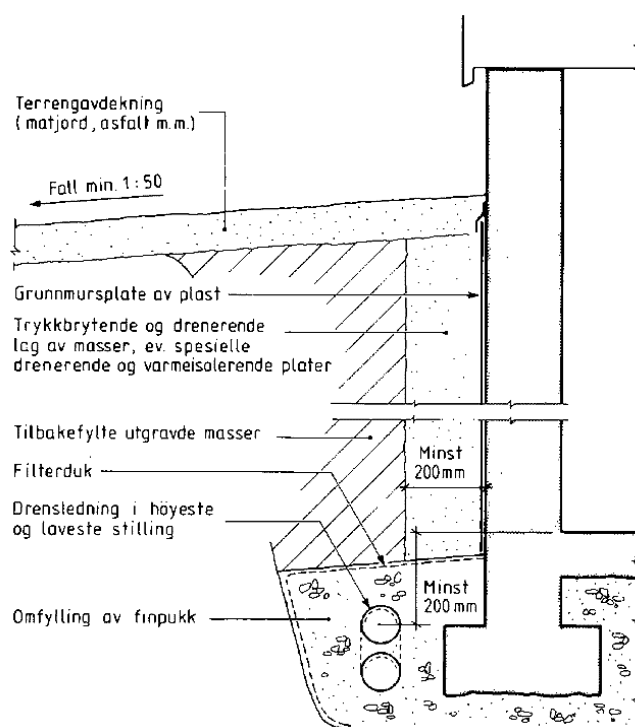
Bruk av resirkulert tilslag som materiale for fundamentering av uoppvarmede bygninger og konstruksjoner bør derfor være aktuelt dersom materialet tilfredsstiller krav til telesikre masser og bæreevne der dette er aktuelt.

### 3.1.6 Tilbakefylling mot grunnmur

Vanlige yttervegger mot terreng har som regel verken tetthet eller styrke til å motstå vanntrykk. Utenfor veggen må det derfor være et trykkbrytende og drenerende lag. Dette laget skal hindre vanntrykk, og sørge for å lede vannet uhindret ned til drensledningen.

I Storbritannia er nedknust betong tillatt som sekundært tilslag ved tilbakefylling mot grunnmur (se Figur 8) under forutsetning av at tilslaget oppfyller de gitte krav til fysiske egenskaper<sup>23</sup>. Korngradering, kalk- og finstoffinnhold er blant de egenskaper som må tilfredsstille gitte krav. Materialer som inneholder mer enn 1,9 mg vannløslig sulfat pr. liter tillates ikke benyttet nærmere betong enn 50 cm. For øvrig bør resirkulert tilslag som benyttes til tilbakefyllinger bestå av et granulært materiale med relativt store partikler (> 10 mm), god mekanisk styrke og komprimeringsevne i tillegg til å være drenerende over tid<sup>45</sup>. Materialet bør også være kjemisk inert og ikke ha signifikante dimensjonsendringer som følge av fukt- og frostbelastninger. Ren, nedknust betong tilfredsstiller disse kravene under forutsetning av begrenset sulfatinnhold og treverk.

NBI byggdetaljblader anbefaler tilbakefylling med drenerende masser som har kornstørrelse med  $D_{90} \geq 0,2 \text{ mm}$ <sup>39</sup>. Grovere masser som finpukk gir bedre drenefunksjon. Hvis maskiner brukes til å fylle igjen mot kjellervegger, bør ikke massene som legges direkte mot veggen, være grovere enn pukk med maksimum steinstørrelse 75 mm. Da blir det ikke skader på veggens fuktvern, hvis dette består av en pusset/slemmet overflate eller grunnmursplater av plast. Per i dag er det liten erfaring innenfor dette bruksområdet. Et pilotprosjekt er igangsatt i regi av Akershus fylkeskommune i samarbeide med NBI og Franzefoss Bruk AS<sup>46</sup>.



Figur 8. Resirkulert betong kan benyttes som sekundært tilslag ved tilbakefylling mot grunnmur i Storbritannia<sup>39</sup>.

### 3.1.7 *Jordforbedring*

Bruk av resirkulert tilslag i jord som jordforbedring er et annet aktuelt anvendelsesområde for resirkulert tilslag. Det er spesielt interessant fordi det er finfraksjonen 0 – 10 mm som er aktuell og det er den fraksjonen som er vanskeligst å omsette. Det resirkulerte tilslaget vil muligens kunne redusere surheten i jorda, og på den måten være et attraktivt alternativ til naturlige masser.

En av de større produsentene i Norge, Østlandsjord, produserte og leverte ca. 45.000 m<sup>3</sup> vekstjord i 1999. Produksjonen av jord foregår ved blanding av torvmuld, naturgrus (0-10 mm) og leire:

- Torvmulden hentes fra eget uttak (myrjord) og vurderes som rene masser.
- Naturgrusen kjøpes av annen leverandør og renheten av massene garanteres av leverandøren.
- Leira er overskuddsmasser fra ulike anlegg og kontrollen er basert på visuell egenkontroll og lukt.

Representative prøver tas med jevne mellomrom og analyseres ved uavhengig laboratorium<sup>47</sup>.

Blandingsforhold vil variere avhengig av bruksområde for jorda. Massene legges opp i ranker og ligger til tørk i 1 - 2 mnd. Deretter soldes jorden slik at ferdig jord får fraksjonen 0 - 22 mm. Massene som kjøpes inn i forbindelse med produksjon av vekstjord, og som dermed eventuelt kan erstattes med resirkulert tilslag, er naturgrusen i 0 – 10 mm fraksjon. Egnetheten av resirkulerte masser i forbindelse med jordforbedring vil sannsynligvis i første rekke være avhengig av renheten. I tillegg er viktige egenskaper tilslagets kornfordeling, pH og innhold av organisk materiale. Det mest aktuelle bruksområdet for jordmasser med resirkulert tilslag vil være i forbindelse med beplantning i veianlegg o.l.

### 3.1.8 *Strøsand*

Markedet for strøsand i Norge anslås til 500.000 m<sup>3</sup> for riksveier og totalt trolig i størrelsesorden 1 mill m<sup>3</sup> når kommunale og fylkeskommunale veier tas med. Prisen ligger i størrelsesorden 50 – 100 kr/m<sup>3</sup>. Anbefalt kornstørrelse er 0 – 6 mm og det stilles ingen spesielle krav til kornenes hardhet e.l. Vegdirektoratet driver kontinuerlig utprøving av ulike typer, kornkurver mm., og et par trender går mot lavere øvre kornstørrelse og ulike løsninger med oppvarming<sup>48</sup>. Det er også eksempler på at det i konkrete tilfeller spesifiseres og/eller tilbys 0-7 mm, samt varianter med vasket sand der det meste av filler/finstoff er fjernet. Så langt er det ingenting som tyder på at finfraksjonen av resirkulert tilslag siktet ned til for eksempel 0 – 6 mm, ikke kan brukes til strøsand. Dette burde derfor utprøves og eventuelt dokumenteres nærmere både mht. tekniske egenskaper og annet som det evt stilles krav til (støv, andre evt. forurensninger).

### 3.1.9 *Fyllinger*

Statens vegvesen angir i sin håndbokserie retningslinjer for oppbygging av vegfyllinger<sup>42</sup>. Fyllingene kan bygges opp av leire, sand, grus, sprengstein eller lette masser. Generelt skal fyllmassene brukt i vegfyllinger ikke inneholde materialer som ved senere nedbrytning kan gi opphav til setninger eller stabilitetsproblemer.

Humusholdige masser, dvs. masser med mer enn 3% glødetap, skal ikke benyttes. For fyllinger av sand, grus eller stein anbefales at maksimalt 8% er mindre enn 0,075 mm<sup>42</sup>. I fyllinger av sand og grus anbefales det at vanninnholdet ikke er over ca. 15% av tørrvekt. Ensgraderte masser bør ikke benyttes uten sikringstiltak mot erosjon i overflaten<sup>42</sup>. Statens vegvesens håndbok 018 pkt. 266 angir krav til utlegging med komprimering og lagtykkelser<sup>17</sup>.

Lettbetongavfall nevnes både i Statens vegvesens håndbok 176 og 188 som et materiale som tidligere var mye brukt i lette fyllinger, men som i dag er lite aktuelt på grunn av liten tilgjengelighet<sup>42, 49</sup>. Det er ikke funnet konkrete referanser til prosjekter der resirkulert lett tilslag er benyttet til veifyllinger eller andre fyllinger, men der det er aktuelt å bruke tilførte masser i fyllinger, bør resirkulert tilslag kunne være et fullgodt alternativ til naturlige masser i samme fraksjon.

## 3.2 Bunden bruk

Med bunden bruk menes tilslag i en matriks som i all hovedsak er sement- eller asfaltbasert. I det etterfølgende behandles materialegenskaper for sementbaserte, bundne bruksområder med antatt stort brukspotensiale.

Erfaringer fra Norge med bruk av resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong av kvalitet C35 LA/NA og sprøytebetong er gode<sup>50,51,52</sup>.

### 3.2.1 Tilslag i konstruksjonsbetong

I Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 26 (NB26) anbefales resirkulert tilslag foreløpig kun bruk i konstruksjonsbetong tilsvarende miljøklasse LA/NA (Figur 9)<sup>53</sup>. Sentrale egenskaper som kan påvirkes av å erstatte naturlig tilslag med resirkulert tilslag er:

- vannbehov og støplighet
- masseforhold
- densitet og luftinnhold
- proporsjonering
- produksjon
- mekaniske egenskaper
- svinn/kryp

Bestandighet er behandlet i pkt. 4.7 sammen med bestandighet for ubundet tilslag.



*Figur 9. Prøvestøp med NA-betong med resirkulert tilslag forut for utstøping av fundamenter til P-hus, Fornebu.*

#### 3.2.1.1 Vannbehov og støplighet

Bruk av resirkulert tilslag i betong medfører økt vannbehov som følge av tilslagets evne til å absorbere vann. Undersøkelser har vist en økning i vannbehovet på ca. 5 % for å opprettholde slumpen ved bruk av grovt resirkulert tilslag (100 %) sammenlignet med kontrollbetong med naturlig grovt tilslag<sup>54</sup>. Erstattes også det fine tilslaget må en økning i vannbehovet på ca. 15 % forventes. Erfaringer fra Norge viste imidlertid hverken økt vannbehov eller økt konsistenstap av å bruke ca. 20 % resirkulert tilslag i fraksjonen 10 – 20 mm i LA/NA betong<sup>55</sup>. Ved høyere innblanding må erfaringsmessig slumptap påregnes. Forfukning av resirkulert tilslag reduserer slumptapet til en viss grad. Forfukning av tilslag har vært benyttet ved produksjon av lettbetong med sugende ekspandert tilslag basert på leire (brukonstruksjoner i Norge). En økning av sementmengde tilsvarende økningen i vannbehov sammenlignet med konvensjonell betong må i enkelte tilfeller påregnes for å opprettholde trykkfastheten. For å unngå påfølgende mulige negative innvirkninger på tekniske egenskaper, økonomi etc. av å gå utover anbefalingene i NB26 må dette dokumenteres, som angitt i NB26.

#### 3.2.1.2 Masseforhold

Omfattende undersøkelser har vist en klar sammenheng mellom fritt vann/semntforhold (masseforhold) og trykkfasthet ved bruk av resirkulert betongtilslag i betong, helt tilsvarende som for betong med naturlig tilslag<sup>56</sup>. Konklusjonen må bli at sammenhengen mellom fritt vann/semntinnhold og trykkfasthet også gjelder for betong med resirkulert betong som tilslag, dog med mindre justeringer av trykkfasthetsnivå.

### 3.2.1.3 Densitet og luftinnhold

Resirkulert tilslag har vanligvis lavere densitet enn naturlig tilslag. Typisk vil en betong med 100 % resirkulert betongtilslag ha en fersk densitet på  $2200 \text{ kg/m}^3$ , tilsvarende ca. 90 % av betong med naturlig tilslag<sup>57</sup>. For beregning av densitet kan man regne at resirkulert tilslags densitet tilsvarer densiteten for vanlig betong; ca.  $2400 \text{ kg/m}^3$ .

Enkelte undersøkelser har vist et noe høyere og mer varierende luftinnhold i betong med resirkulert tilslag<sup>55</sup>, men luftporesystemet i herdet betong ser ikke ut til å avvike nevneverdig fra betong med naturlig tilslag. I laboratorieundersøkelser hos NBI ble det observert at resirkulert tilslag 0 – 8 mm hadde større luftinnførende virkning enn resirkulert tilslag 8 – 16 mm<sup>4</sup>.

### 3.2.1.4 Proporsjonering

Prinsipielt bestemmes blandingsforhold i betong med resirkulert tilslag på lik linje med naturlig tilslag. Imidlertid bør det tas høyde for et større standardavvik på trykkfasthet og E-modul sett i forhold til en betongsammensetning med naturlig tilslag, som følge av større variasjoner i det resirkulerte tilslaget mekaniske egenskaper<sup>58</sup>.

Prøvestøp av betong med resirkulert tilslag kan være nødvendig for å sikre tilstrekkelig lavt v/c-tall for å nå tilsvarende karakteristisk trykkfasthet som for betong med naturlig tilslag. Mengde absorbert vann samt spesifikk densitet må tas hensyn til i proporsjoneringen på samme måte som ved proporsjonering av annet porøst tilslag, og som følge av økt vannbehov må en viss økning i sementmengde påregnes.

### 3.2.1.5 Produksjon av betong med resirkulert tilslag

Erfaringer har vist at produksjon og utstøping av betong med resirkulert betong i hovedtrekk ikke avviker nevneverdig fra betong med konvensjonelt porøst tilslag med tanke på blanding, transport, komprimering og utstøping<sup>59</sup>. Dette forutsetter at man tar hensyn til det resirkulerte tilslaget evne til å absorbere vann i fersk fase. Forfukning har i enkelte tilfeller vært benyttet med hell. Erfaringer tilsier en viss reduksjon av bleeding ved bruk av resirkulert tilslag<sup>60</sup>.

### 3.2.1.6 Permeabilitet og vannabsorpsjon

De fleste former for nedbrytning av betong styres av betongens permeabilitet- og vannabsorpsjonssegenskaper. Undersøkelser av betong med resirkulert tilslag av betong og tegl har vist en høyere vannpermeabilitet sammenlignet med konvensjonell betong. Eksempelvis hadde betong med 100 % grovt resirkulert tilslag og et v/c-forhold mellom 0,5 og 0,7 mellom 2 og 5 ganger høyere vannpermeabilitet sammenlignet med kontrollbetong, og med større variasjoner i prøveresultatene<sup>61,62</sup>.

På en annen side tyder undersøkelser på at betong med resirkulert tilslag ikke har større vannabsorpsjon enn betong med naturlig tilslag<sup>63</sup>. Dette forutsetter at det resirkulerte tilslaget stammer fra betong med trykkfasthet som overgår betongen hvor resirkulert tilslag benyttes.

### 3.2.1.7 Mekaniske egenskaper

Erfaringer fra Japan tyder på at opptil 30 % naturlig grovt tilslag kan erstattes med resirkulert betongtilslag uten signifikante endringer i mekaniske egenskaper som trykkfasthet, E-modul og kryp<sup>64,65,66,67,68,69</sup>. Ved bruk av resirkulert betong som tilslag i ny betong med lavere fasthetsklasse enn det resirkulerte tilslaget, har trykkfasthet og E-modul vært på nivå med tilsvarende kontrollbetong<sup>70</sup>.

Undersøkelser har konkludert med at trykkfastheten til betong med resirkulert betongtilslag er avhengig av styrken til den opprinnelige betongen som i sin tur hovedsakelig er bestemt av v/c-tallet<sup>71</sup>. Disse erfaringene ble gjort med effektivt v/c-forhold i betongen med resirkulert tilslag varierende fra 0,40 til 1,20 for både resirkulert tilslag og betong med resirkulert tilslag. Dersom det effektivt v/c-tallet i den opprinnelige betongen er det samme eller lavere enn betongen med resirkulert tilslag vil trykkfastheten til betongen med resirkulert tilslag bli like høy eller bedre enn den opprinnelige betongen.

Andre undersøkelser har vist en reduksjon på mellom 10 og 40 % i trykkfasthet ved å erstatte varierende andeler naturlig grovt tilslag med resirkulert tilslag av betong<sup>65,72,73,74</sup>. 28-døgns trykkfasthet har variert fra 32 til 49 MPa for identiske betongresepter ved å benytte resirkulert tilslag av betong fra ulike nedknuste konstruksjoner<sup>75</sup>.

Betong med grovt resirkulert tilslag av betong kombinert med 50 % resirkulert fint tilslag av betong og 50 % naturlig tilslag av betong har 10 – 20 % reduksjon i trykkfastheten i forhold til betong med 100 % naturlig fint tilslag<sup>76</sup> (Tabell 5).

Tabell 5. Trykkfasthet av opprinnelig betong og betong med resirkulert tilslag fra nedknust opprinnelig betong<sup>76</sup>.

Effektivt v/c-tall	Trykkfasthet etter 28 døgn (MPa)			
	Naturlig grovt og fint tilslag (opprinnelig betong)	Resirkulert grovt tilslag og 100 % naturlig fint tilslag	Resirkulert grovt tilslag og 50 % resirkulert fint tilslag og 50 % naturlig fint tilslag	Resirkulert grovt tilslag og 100 % resirkulert fint tilslag
0,45	37,5	37,0	34,0	30,0
0,55	28,9	28,5	25,0	21,5
0,68	22,0	21,0	17,5	13,0

Erfaringer har vist at større variasjonskoeffisienter må forventes på trykkfasthet ved bruk av resirkulert tilslag i betong<sup>76,71</sup>.

Gjenværende sementmørtel med lav E-modul på resirkulert tilslag fra nedknust betong påvirker E-modulen i ny betong med resirkulert tilslag i negativ retning sammenlignet med kontrollbetong med naturlig tilslag (15-40 % reduksjon)<sup>77,78</sup>. I tillegg avviker sammenhengen mellom trykkfasthet og E-modul for betong med resirkulert tilslag fra betong med naturlig tilslag foreslått i internasjonale komiteer som International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), Federation Internationale du Beton (FIP)<sup>79</sup>. Det er også funnet en nesten lineær sammenheng mellom partikkeldensitet av resirkulert tilslag av betong og E-

modul av betong med resirkulert tilslag<sup>80</sup>. Bruk av resirkulert grovt tilslag ser ikke ut til å påvirke strekkfastheten i ny betong i signifikant grad, men ved bruk av både fint og grovt resirkulert betongtilslag har en reduksjon på ca. 20 % vært observert<sup>56,76,79</sup> sammenlignet med kontrollbetong.

#### 3.2.1.8 Svinn

Betong med 100 % resirkulert grovt tilslag av nedknust betong ser ut til å få en økning i både svinn og kryp på 50 % eller mer sammenlignet med kontrollbetong<sup>55,79,78,81,82,125</sup>. Ved bruk av grovt resirkulert tilslag ble svinnet fordoblet, og ved bruk av fint resirkulert tilslag økte svinnet ytterligere med mellom 10 og 50 %. Erfaringene internasjonalt er imidlertid ikke entydige, og andre undersøkelser har vist at opptil 25 % innblanding av resirkulert tilslag ikke gir signifikant økning i svinn<sup>83</sup>.

Erfaringene hittil viser at ved bruk av resirkulert tilslag i betong må økt svinn forventes, og tas hensyn til ved dimensjonering av for eksempel svinnarmering.

#### 3.2.1.9 Egnethet i konstruksjonsbetong

Erfaringene så langt viser at resirkulert tilslag er godt egnet til konstruksjonsbetong ved moderat innblanding på opptil 20 %. Økt svinn og større variasjon i det resirkulerte tilslaget må imidlertid forventes. Det største dokumentasjonsbehovet videre ser ut til å være på langtidsoppfølging og bestandighet, samt videre arbeide med økt innblandingsprosent.

#### 3.2.2 Tilslag i sprøytebetong

Resirkulert betong i sprøytebetong ble i regi av RESIBA benyttet for første gang i verden i forbindelse med tildekking av en EPS-fylling på Gaustadtrikken i Oslo<sup>52, 84</sup>. Totalt ble det sprøytet ca. 720 m<sup>2</sup> sprøytebetong på EPS-fyllingen i Gaustadbekkdalen med et volum på ca. 100 m<sup>3</sup> i august 1999. Av dette volumet ble det sprøytet referansebetong uten resirkulert tilslag og sprøytebetong med henholdsvis 7%, 14% og 20 % resirkulerte materialer som erstatning for ordinært tilslag. Det resirkulerte tilslaget som ble benyttet hadde størrelse 0-4 mm, og var levert av BA-Gjenvinning på Grønmo. Fra blandestasjonen ble det rapportert problemer med pakking av resirkulerte materialer i silo på grunn av det resirkulerte materialets høye finstoffinnhold kombinert med et relativt høyt fuktinnhold. Undersøkelser tyder på at finstoff fra nedknust betong har visse hydrauliske og stabiliserende egenskaper (2-3 MPa)<sup>85</sup>. Hvorvidt dette kan føre til stabilisering av resirkulert tilslag fra betong i siloer er ikke kjent. Betongleverandøren rapportert også om innhold av urenheter i det resirkulerte tilslaget i form av plast og trevirke.

Et av problemene man hadde forventet på forhånd var usikkerheten i forbindelse med den resirkulerte sprøytebetongens pumpbarhet. Til sprøytearbeidene ble det benyttet en rigg med skruerpumpe, en pumpetype som blir ansett for å være mer kresen på blandingen enn en stempelpumpe. Det viste seg imidlertid at dette ikke bød på problemer i praksis.

Sprøytebetongen med økende grad av resirkulert betong virket meget plastiske og hadde alle god heft til EPS-fyllingen. Sprøyteoperatøren rapporterte i tillegg at han var godt fornøyd med pumpe-/sprøyteegenskaper og heften av betongen. Figur 10



viser utsprøyting av sprøytebetong med resirkulert tilslag på EPS-fylling for Gaustadtrikken. Under sprøytingen ble det tatt prøver av den ferske betongen og sprøytet ut prøver for undersøkelser i henhold til Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7<sup>86</sup>. I tillegg ble densitet, trykkfasthet, bøyestrek, bruddseighet og energiabsorpsjon dokumentert (Tabell 6).



Figur 10. Utsprøyting av sprøytebetong med resirkulert tilslag på EPS-fylling for Gaustadtrikken.

Tabell 6. Densitet, trykkfasthet, bøyestrek og seighetsindeks for sprøytebetong med og uten resirkulert tilslag<sup>52</sup>.

Prøve	v/c-tall	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Trykkfasthet 28 døgn (MPa)	Bøye- strekfasthet (MPa)	Seighets- indeks I <sub>30</sub>
Referanse	0,47	2266	62	5,8	12,5
14 % resirk.	0,47	-	-	4,9	12,9
20 % resirk.	0,47	2155	51	4,9	12,8

Resultatene tyder på en viss reduksjon i bøyestrekfasthet for sprøytebetong med resirkulert tilslag, men reduksjonen er ikke økende med økende andel resirkulert materiale. Ved beregning av seighetsindeks iht. ASTM C 1018 er det ingen signifikante forskjeller for de testede seriene, referansen, 14% og 20% resirkulert materialandel. Trykkfasthet foretatt på støpte terninger registrerer ca. 18 % reduksjon som korrelerer med observert reduksjon i bøyestrekfasthet (ca. 15 %).

Både erfaringer fra blanding, utsprøyting og prøving av mekaniske egenskaper indikerer et potensielt bruksområde. Resultatene er interessante med tanke på at det er mange ”nåløyer” i selve produksjonsprosessen. Videre dokumentasjon bør konsentreres om langtidsoppfølgingen kombinert med laboratorietesting av permeabilitet og bestandighet.

### 3.2.3 Sementbaserte bygningsblokker

Prefabrikkerte sementbaserte blokker burde være et godt egnet marked for bruk av resirkulert tilslag, og flere fullskalaforsøk er rapportert, bl.a. i Frankrike og England. I et prosjekt ble det gjort forsøk både i laboratorium og i full skala på betongvarefabrikk med produksjon av tørrstøpte sementbaserte bygningsblokker<sup>87</sup>. 30 vekt-% resirkulert tilslag i fraksjonen 6 – 12 mm ble funnet å gi blokker med nokså like egenskaper som referanseblokker med rent naturtilslag. 10-min. vannoppsug, fasthet og veggstyrke ble redusert med ca. 5 %, mens E-modul i vegg ble redusert med ca. 10 %. Svinnmålinger på laboratorie- og fullskalaprøver opp til 28 døgn viste ingen effekt av 30 % resirkulert tilslag. Det ble observert en viss farveforskjell ved at blokker med resirkulert tilslag var grå mens naturtilslag blokker var brune.

I forbindelse med et engelsk prosjekt ble det påpekt at prefabrikkerte ikke-værutsatte betongprodukter trolig er den letteste vei å gå for resirkulert tilslag innen betong<sup>88</sup>. Blokker for bjelkegolv (spesiell engelsk løsning med 55 % av innenlandsmarkedet for betonggolv) ble produsert i fullskala med 50 - 75 % resirkulert tilslag, og med god konstruktiv sikkerhetsmargin. Termisk konduktivitet ved 3 % fuktinnhold ble målt til 0,71 – 0,94 W/mK, som er i samme størrelsesorden som, eller noe lavere enn, for vanlig betong. Tabell 7 nedenfor oppsummerer resultatene av de to undersøkelsene som begge oppfylte nasjonale krav til produktene.

Tabell 7. Egenskaper for bygningsblokker av betong med resirkulert tilslag<sup>87,88</sup>

Ref.	V/c	Sement (kg/m <sup>3</sup> )	Resirkulert tilslag	f <sub>c</sub> (MPa)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	λ (W/mK)	Svinn (o/oo)
<sup>87</sup>	Ca. 1,0	120 – 140 (Portland)	30 % 6-12 mm	5,5 – 7,5 (21 d)	2050 – 2150	-	0,3 – 0,4
<sup>88</sup>	-	115 – 135 (Portland + 25 % flyveaske)	50 – 75 % 0-10 mm	7,6 – 9,3 (? d)	1650 – 1860	0,71 – 0,94	-

Også i Norge er det gjort noen forsøk med bruk av vrakproduksjon fra lettklinkerblokker inn i ny blokkproduksjon, og med tilfredsstillende kvalitet<sup>89</sup>. Resultatene viser altså at blokkproduksjon er et relevant område for bruk av resirkulert tilslag også i Norge.

### 3.2.4 Produksjon av sement

I et fullskalaforsøk i Spania ble resirkulert betong brukt i råmelet til produksjon av sement<sup>90</sup>. Den tekniske kvaliteten og utlekkingsverdier for den nye sementen skilte seg ikke ut fra standard produksjon. I finfraksjonen av resirkulert tilslag oppkonsentreres sementpasta. Utfra de prøver NBI har tatt på Grønmo og undersøkt i laboratorium består anslagsvis 70 % av 0-8 mm fraksjonen av sementpasta. Finfraksjonen burde derfor være interessant for dette formål. I den grad dette også er økonomisk interessant utfra tilgang/pris burde det utprøves da en skulle forvente både lavere utslipp av CO<sub>2</sub>, og lavere energiforbruk i sementproduksjon sammenlignet med råmel fra kalkstein.

## 4. MATERIALEGENSKAPER

### 4.1 Generelt

I utgangspunktet skal alternative “steinmaterialer” til veikonstruksjoner og andre konstruksjoner (betongkonstruksjoner m.v.) tilfredsstillende de samme tekniske krav som kravene til vanlige steinmaterialer.

Sentrale begrep er bærekapasitet, stabilitet og bestandighet. Normalt vil alternative materialer karakteriseres med de samme standardene og metodene som naturlige materialer. En finner derfor ofte at resirkulerte masser benyttes dersom de har vist minst like gode tekniske egenskaper som de materialene de erstatter<sup>91, 92, 93</sup>.

I praksis er det en del forskjeller mellom knust resirkulert betong og vanlige steinmaterialer som medfører at noen av prøvemethodene for vanlige steinmaterialer enten ikke kan benyttes for knust betong, eller at man må modifisere metodene.

### 4.2 Fysiske og mekaniske egenskaper

Fysiske og mekaniske egenskaper er egenskaper som identifiserer og beskriver materialet.

#### 4.2.1 Kornform

Tradisjonelle uttrykk for kornform er flisighet og stenglighet. Undersøkelse av flisighet foretas vanligvis i forbindelse med undersøkelse av sprøhet (fallprøve). Begrepet stenglighet er mindre brukt.

Kornform er viktig for tilslagets:

- mekaniske styrke
- komprimeringsegenskaper
- egenstabilitet

Kornformen hos resirkulerte betong- og teglmaterialer er ikke fullt ut undersøkt. I tillegg til kornenes makrostruktur (den egentlige kornform) vil deres mikrostruktur, overflatetekstur, være viktig. Kornene i resirkulert materiale vil i utgangspunktet være mer ru og gi større indre friksjon i materialet. Dette kan være en ulempe ved komprimering, men kan gi et lag med forholdsvis høy egenstabilitet.

#### 4.2.2 Kornfordeling

Materialets kornfordeling undersøkes vanligvis ved tørr- eller våtsikting. Undersøkelser har foreløpig vist at detaljer ved prosedyrene kan ha betydning som ikke er uvesentlig for resultatet, f.eks. kan det ha betydning hvor lenge (antall minutter) prøvene er siktet<sup>94</sup>. Resultatene indikerer en vesentlig nedbrytning av nedknust betong ved maskinell sikting. En signifikant økning i finstoffandelen ble også observert.

Kornfordeling er viktig for tilslagets:

- bearbeidbarhet
- separasjonsevne (eller: evne til å ikke separere)
- komprimerbarhet

- stabilitet
- telefarlighet og vannømfintlighet
- permeabilitet

Kornfordelingen kan i stor grad styres ved valg av knuseprosess, men vil også påvirkes av materialets øvrige egenskaper og sammensetning (bestandtdeler). Knust betong/tegl vil kunne produseres med lignende eller tilnærmet samme kornfordeling som naturlige steinmaterialer. Det er ikke nødvendigvis slik at dette gir materialene de samme bruksmessige egenskaper.

### 4.2.3 Densitet og vannabsorpsjon

#### 4.2.3.1 Generelt

Materialenes densitet (tetthet) er viktig å kjenne for å:

- kunne vurdere/beregne materialforbruk (tonnasje), transport etc.
- kunne foreta beregninger/korreksjoner ved visse typer felt- og laboratorietesting
- kunne vurdere f.eks. vannabsorpsjonsevne (spesielt viktig ved resirkulert tilslag)
- kunne vurdere andre egenskaper som f.eks. styrke.

Det skilles i hovedsak mellom:

- bulkdensitet, ofte kalt romvekt (typisk rundt  $1300 \text{ kg/m}^3$  for grovfraksjon men avhenger av sammensetning og hulromsinnhold mellom partiklene).
- tørr- eventuelt våtdensitet for et utlagt og komprimert lag
- partikkeldensitet eller korndensitet, dvs. densitet av det enkelte tilslagskorn.

For hver av disse “hovedtyper” av densitet fins det en rekke målemetoder. Her i statusrapporten skal en imidlertid gå mest inn på måling av partikkeldensitet og tilhørende talleksempler, da partikkeldensitet for resirkulert tilslag kan variere mer og ha større betydning enn for vanlige steinmaterialer.

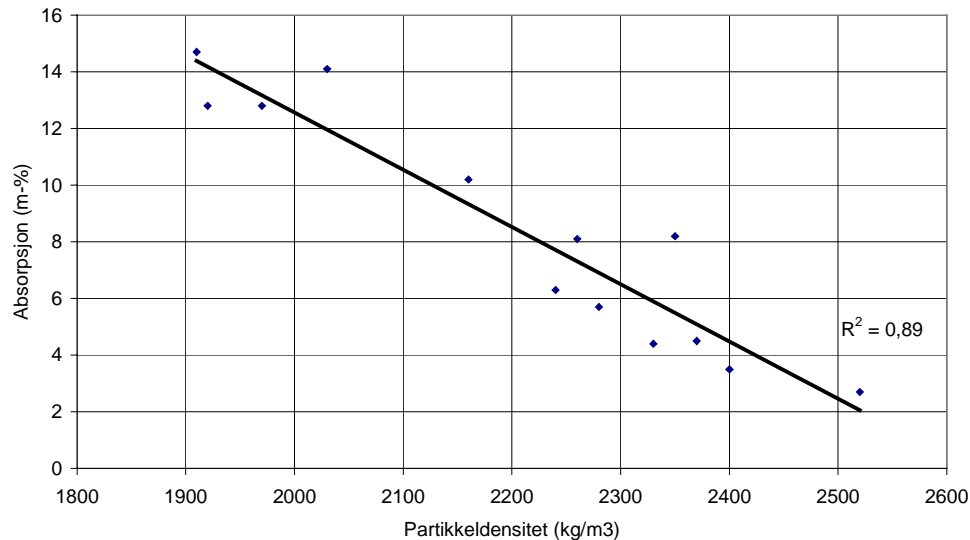
#### 4.2.3.2 Måling av partikkeldensitet

Her er det viktig å skille mellom ulike typer densitet, fordi knust resirkulert betong, tegl ofte har svært stor porøsitet og dermed stor vannabsorpsjonsevne, sammenlignet med vanlige steinmaterialer. Dette medfører også at densiteten vil være avhengig av densitetsbegrepet som er benyttet. Følgende vil være mest aktuelt:

- partikkeldensitet i vannmettet, overflatetørr tilstand
- faststoffdensitet av partikkel eller tilsynelatende densitet (luftporene er ikke inkludert i volumet partikkel)
- partikkeldensitet i helt tørr tilstand (luftporene er inkludert i volumet av partikkel). Typisk for ren betong rundt  $2000 \text{ kg/m}^3$  for finfraksjonen og nær  $2300 \text{ kg/m}^3$  for grovfraksjonen, se forøvrig Figur 11.

For definisjoner av de ulike densitetsbegrepene ( $\rho_{\text{partikkel, tørr}}$ ,  $\rho_{\text{partikkel, SSD}}$ ,  $\rho_{\text{bulk, tørr}}$ ), vises det til Statens vegvesens håndbok 014 pkt. 14.423 og 14.424<sup>95</sup>. Figur 11 nedenfor viser sammenhengen mellom partikkeldensitet målt med nettingkurv (dvs. tilsvarende som pyknometer) og vannoppsug for resirkulert tilslag uttatt over hele

1998 hos BA Gjenvinning på Grønmo<sup>4</sup>. Som forventet avtar densiteten med økende absorpsjon. Lineær ekstrapolasjon ned til 0,3 – 0,4 % gir partikkeldensitet på ca. 2650 kg/m<sup>3</sup> som er forventet for granittisk tilslag, og også tilnærmet faststoffdensitet for herdet betong.



Figur 11. Sammenheng mellom 24 timers absorpsjon og ovnstørr (105 °C) partikkeldensitet (ovnstørr masse/volum inkl. porer i partikkel) for resirkulert tilslag fra Grønmo i 1998, målt i NBIs laboratorium<sup>4</sup>.

Vannabsorpsjon i resirkulert tilslag kan være betydelig. Dette er det viktig å være klar over, både i forbindelse med betongproporsjonering der resirkulert tilslag benyttes, og f.eks. ved Proctorforsøk (hvor absorbert vann i partiklene ikke bidrar til “smøring” av massen). Ved måling av vannabsorpsjon forutsettes at man kjenner igjen vannmettet overflate tørr tilstand, noe som kan være vanskelig å gjøre for resirkulert tilslag.

#### 4.2.4 Mekaniske egenskaper

##### 4.2.4.1 Flisighet og sprøhet (fallprøven)

Materialenes mekaniske styrke undersøkes f.eks. med fallprøven (motstand mot nedknusning). Fallprøven kan benyttes til de fleste vanlige, gode steinmaterialer.

Til undersøkelse av knust resirkulert betong, tegl og blandingsmasser av disse (og med mulighet for innslag av lettbetong, gassbetong, asfalt og annet) er fallprøven mindre egnet, muligens helt uegnet. Det resirkulerte materialer har en tendens til å "pakke" seg. Metoden har likevel vært en del benyttet hittil til foreløpige undersøkelser, både hos Vegteknisk avdeling (Vegdirektoratet), Franzefoss/SINTEF og NBI (utført av NOTEBY)<sup>4</sup>. Analysene er utført på fraksjonen 8-11,2 mm, men prøveuttaket og utgangsmaterialet kan være forskjellig.

Lav flisighet (1,2-1,4) er oppnådd hos samtlige laboratorier. Det er relativt liten variasjon i flisighetstallene, men stor variasjon i sprøhetstallene (ca. 45-70 ved første gangs slåing og ca. 35-50 ved omslag).

#### 4.2.4.2 Los Angeles og andre prøvemetoder

Alternative måter for undersøkelse av nedknusingsmotstand er Los Angeles-testen og kulemølletesten. Begge metodene er brukt i noen grad for vanlige steinmaterialer. Metodene slik de er beskrevet i Statens vegvesens håndbok 014 er imidlertid beregnet på relativt små og trange fraksjoner, og kan derfor ikke uten videre benyttes på "grove" sorteringer<sup>95</sup>. Jernbaneverket benytter en egen variant av Los Angeles-metoden, der testingen utføres på fraksjon 32-40 mm eller en annen grov fraksjon i nærheten av denne<sup>10</sup>.

Los Angeles er noe brukt til foreløpig undersøkelse av resirkulert materiale. Franzefoss har i sine undersøkelser funnet Los Angeles verdier på litt under 40 for knust ren betong og noe over 40 for blandingsmasse<sup>96</sup>.

### 4.3 Funksjonsegenskaper

Funksjonsegenskaper er egenskapene materialet kan ventes å ha i praksis for den gitte bruksmåten.

#### 4.3.1 Komprimerbarhet

Det er utført noen foreløpige undersøkelser ved Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling. Hensikten var å skaffe noen orienterende data for resirkulerte materialer. Undersøkelsen ble utført på fraksjon 0-19 mm utsiktet fra et produkt med sortering 0-ca. 50 mm. Materialet var hovedsakelig knust betong, med noe innslag av tegl.

Proctorundersøkelsen viser at materialene har høyt optimalt vanninnhold (ca. 13 % både ved Standard Proctor og Modifisert Proctor). Dette må i stor grad skyldes at materialene er porøse og derfor har høy vannabsorpsjonsevne. Maksimal tørrdensitet er lav, ca. 1790 kg/m<sup>3</sup> ved Standard Proctor og ca. 1890 kg/m<sup>3</sup> ved Modifisert Proctor. Komprimerbarhet kan også undersøkes ved hjelp av gyratorisk komprimering.

#### 4.3.2 E-modul og lastfordelingskoeffisient

I forbindelse med dimensjonering er materialenes lastfordelingskoeffisient et sentralt begrep. Lastfordelingskoeffisienten har bl.a. sammenheng med materialets E-modul. I forbindelse med dimensjonering av veg med betongdekke er det i håndbok 018 angitt veiledende verdier for E-modul for noen materialer, gjengitt i nedenstående tabell<sup>17</sup>.

Tabell 8. Lastfordelingskoeffisient og veiledende E-modul for noen materialtyper i forsterkningslag/bærelag<sup>17</sup>.

Materialtype	E-modul (MPa)	Lastfordelingskoeffisient, a
Asfaltert grus (Ag)	3000	3,0
Sementstabilisert grus (Cg)	2000	2,5 (gjelder ved betongdekke)
Asfaltert puk (Ap)	1000	2,0
Penetrert puk (Pp)	375	1,5
Knust grus, knust fjell (Gk, Fk)	200	1,25
Kult, sprengt stein, Dmaks ≤ 0,5h	110	1,0
Forsterkningslagsgrus	110	1,0
Sand, sprengt stein, Dmaks > 0,5 h	50	0,75

h= lagtykkelse

Vanlige metoder for å måle E-modul er f.eks. platebelastning og treksforsøk. Andre metoder kan være falloddbelastninger, California Bearing Ratio (CBR) med omregning fra CBR-verdi til E-modul, Dynamic Cone Penetrometer (DCP) med omregning av DCP-verdi til CBR-verdi og E-modul), Clegg-hammer og minifallodd.

Materialenes E-modul kan være spenningsavhengig. Dette kan være mer utpreget for knust betong. Det er derfor nødvendig å ha opplysninger om spenningsnivået prøvingen er utført ved, dersom man skal sammenligne E-moduler. I Sverige er det gjort omfattende målinger av E-modul for knust resirkulert betong, og referansemålinger på vanlig steinmateriale. Målt i laboratorium ved dynamisk treksforsøk fant man E-modul verdier på ca 330 til ca 420 MPa, på knust betong, sortering 0-100 og 0-32 mm<sup>15</sup>. Rapporten konkluderer - ut fra laboratoriemålingene - at knust betong kan måle seg med både naturgrus og ballast av knust fjell fra et stivhetssynspunkt, under forutsetning av at påkjenningene, dvs. sum av hovedspenninger, er mindre enn 1000 kPa. (Av rapporten framgår det at Väg och Trafikinstitutet (VTI) bedømmer "normal trafikkbelastning" til å gi totale hovedspenninger på 600-800 kPa)<sup>15</sup>.

I Boverkets rapport finner vi også feltmålinger av E-modul på forsterkningslag av knust betong i to forskjellige vegprosjekt, utført med fallodd og beregnet av VTI. Målingene er utført direkte på forsterkningslaget. E-modulene for de to prøvestrekningene, väg 109 og väg 597, er ikke direkte sammenlignbare pga. at de ytre omstendigheter som lagtykkelser og undergrunnsmoduler ikke er like. Målingene ga følgende E-modul resultater fra<sup>15</sup>:

- Väg 109 hadde 120 - 130 MPa både for knust betong og for ref. strekning
- Väg 597 hadde ca. 350 MPa for knust betong og ca. 250 MPa for ref. strekning.

Det er også utført måling av endring i E-modul på ferdig veg, som funksjon av tiden. På "väg 109" økte E-modulen for forsterkningslaget fra 200 MPa til hele 600 MPa på 3 mnd. På den tilhørende referansestrekningen (konvensjonelt forsterkningslag) økte E-modulen med bare 25 %. På "väg 597" var E-modulen for forsterkningslaget 370 MPa (dvs. en forholdsvis liten økning) etter 4-6 mnd. E-modulen for referansestrekning med konvensjonelt forsterkningslag var 170 MPa, dvs. en viss reduksjon.

Det er også gjort noen målinger med platebelastning, som ga 118-143 MPa for “væg 109” og 104-155 MPa for “væg 597”<sup>15</sup>.

I flere av de igangværende prosjekter i Norge blir det også målt E-modul ved hjelp av platebelastning men disse resultatene er foreløpig ikke rapportert.

#### 4.3.3 *Stabilitet/skjærstyrke*

I tilfelle et materiale brukt i mekanisk stabilisert bærelag oppfyller alle krav unntatt krav til korngraderingen, kan det være aktuelt å utføre bestemmelse av California Bearing Ratio (CBR). Metoden går ut på å sammenligne motstand til stempelinntrengning for en aktuell materialprøve med gitt komprimeringsgrad mot en prøve av et standardisert materiale som har tilsvarende komprimeringsgrad.

### 4.4 **Kjemiske egenskaper**

De kjemiske egenskapene til resirkulert tilslag (hovedsakelig betong og tegl) må ses i direkte sammenheng med mulige kjemiske forandringer som kan finne sted når resirkulert tilslag erstatter naturlig tilslag (pukk og grus) i bunden og ubunden bruk. Innholdet av forskjellige typiske miljøfarlige stoffer kan være høyere enn i naturlig pukk, og kan dermed representere et miljøproblem (se avsnitt 4.5). Kjemiske stoffer som kalsiumhydroksid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), klorid ( $\text{Cl}$ ) og sulfat (som  $\text{SO}_3$ ) forventes imidlertid ikke å være forbundet med noen miljøfare, men kan ha betydning for de tekniske egenskaper.

#### 4.4.1 *Bunden bruk*

Kalk, klorid og svovel er til stede i naturen i relativt høye konsentrasjoner. I forhold til pukk og grus inneholder resirkulert tilslag en større mengde av de nevnte stoffene. Dersom resirkulert tilslag skal erstatte naturlig tilslag i betong, må klorid og sulfatinholdet være så lavt at kravene til vanlig betong overholdes (se avsnitt 4.6).

#### 4.4.2 *Ubunden bruk*

I ubunden bruk kan i teorien avgivelse av sulfat angripe øvrige konstruksjoner, som for eksempel fylling med resirkulert tilslag rundt betongrør. Hvorvidt det lekker ut høye nok konsentrasjoner av sulfat til at det kan påvises signifikante endringer i konstruksjonen er imidlertid lite trolig. Dette kan evt. kartlegges ved feltundersøkelser.

Avgivelse av kalsiumhydroksid fra resirkulert tilslag kan også påvirke ytre omgivelser som følge av økning i pH. Dersom resirkulert tilslag kommer i kontakt med naturlig tilstedeværende masser som jord (leire), vil basemetningen til jorda øke som følge av kationbytte av  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{H}^+$  på jordpartikkelen. En økende basemetning gir en økende pH i jord, noe som kan være positivt dersom jorda er sur i utgangspunktet. Et annet eksempel er dersom jorda inneholder mye leirmineraler som for eksempel gibsitt ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). Løsligheten til gibsitt i jordvæsken kan antas å være i likevekt med vannløslige aluminiumhydroksider. Det betyr at løsligheten til dette mineralet er sterkt pH avhengig. Løsligheten til gibsitt avtar til et minimum ved økning av pH til 6. Ved en videre økning vil løsligheten bare øke. Med høy avgivelse av kalsiumhydroksid fra resirkulert tilslag vil pH i jordvæsken øke, og dette kan medføre høyere konsentrasjon av aluminium i avrenningen. Høye



aluminiumskonsentrasjoner i jordvæske kan få alvorlige miljøkonsekvenser (opptak i næringskjeden, fiskedød osv.).

I en rapport nylig utgitt av CEN<sup>97</sup> er det konkludert med at europeiske standard betongresepter ikke har negativ effekt for miljøet, uten at det er klargjort om det gjelder for knust betong også. I RESIBA er det igangsatt undersøkelser av i hvilket omfang ulike stoffer kan transporteres ut av ubundet resirkulert tilslag.

## **4.5 Forurensningsmessige egenskaper**

### *4.5.1 Miljøskadelige stoffer i bygg- og anleggsavfall – selektiv riving*

Bygg- og anleggsavfall omfatter alt avfall fra alle aktiviteter innen bygg- og anleggsbransjen (BA-bransjen). Dette er avfall fra nybygging, rehabilitering og riving. Historisk sett har ikke BA-avfall vært et miljøproblem da det var vanlig å bygge med rene naturmaterialer. I løpet av de siste hundre år har imidlertid dette endret seg. Kjemiske stoffer i bygningsmaterialer og installasjoner har økt i takt med økende industri og teknologi. Det er i dag funnet en rekke miljøskadelige stoffer i omløp i denne bransjen. Noen typiske stoffer er PCB, PAH, tungmetaller, asbest og haloner. I en rapport utarbeidet for Statens forurensningstilsyn (SFT) er det funnet 35 stoffer i bygningsmaterialer av i alt 90 potensielt miljøskadelige stoffer<sup>98</sup>.

Det er klare retningslinjer for hva slags avfall som skal spesialhåndteres. Dette avfallet er dermed ikke tilgjengelig for resirkulering, som for eksempel asbest. BA-avfallet er imidlertid sammensatt med hensyn på kjemiske stoffer, og det blir vanskelig å visuelt sortere ut enkelte bygningskomponenter som skal spesialhåndteres. Slike usikkerheter må ivaretas, for eksempel med utlekkingsforsøk på ferdig produsert resirkulert tilslag. I mange rivningsprosjekt er det ingen dokumentasjon på hvilke kjemiske stoffer de forskjellige bygningskomponentene inneholder. De miljøskadelige stoffene kan derfor i de fleste tilfeller ikke påvises uten omfattende kjemiske analyser. Dersom selektiv riving gjennomføres etter at bygningsmassene er kartlagt mht. miljøfarlige stoffer, reduseres faren for forurensning fra resirkulert tilslag. Anbefalinger for selektiv riving er gitt av NBI, Norsas og ØkoBygg<sup>99, 100, 101</sup>. Heri inngår bl.a. komplette lister over miljøfarlige stoffer, adresser og telefonnummer til ulike firma og institusjoner, og sjekklister for planlegging/prosjektering av riving.

### *4.5.2 Miljøskadelige stoffer i resirkulert tilslag*

Sand, grus, betong, asfalt og tegl er hovedbestanddelene i resirkulert tilslag som produseres i dag. Disse bestanddelene utgjør over 85 % av alt BA-avfall i Norge. I tillegg er det benyttet maling på en stor del av det resirkulerte tilslaget. Ut fra tidligere undersøkelser kan den potensielle miljøfaren med resirkulert tilslag knyttes opp til de kjemiske stoffene i Tabell 9<sup>98</sup>. Konsentrasjonen av disse stoffene varierer mye, og kan i enkelte tilfeller utelukkes dersom tilstrekkelig informasjon foreligger. Fra for eksempel 1980 ble det forbud mot bruk av PCB som tilsetningsstoff i fugemasse og betongtilsats<sup>102</sup>.

Tabell 9. Oversikt over miljøskadelige stoffer i resirkulert tilslag

Miljøskadelig stoff	Materialer
Asbest	Malte materialer, fliser
Azo-arener, isocyanater, kadmium, klorerte fenoler, kvikksølv, sink	Malte materialer
Bly	Malte materialer, glassert teglstein, fugemasse, skorstein
Dioxan 1,4	Malte materialer, betong
Fenol	Utvendig fasadetegl
Ftalater, klorerte parafiner	Malte materialer, fugemasse
Krom	Malte materialer, ildfast stein
Nonylfenoletoxylater	Betong
Polyaromatiske hydrokarboner	Asfalt,
Polyklorerte bifenyler	Fugemasse, malte gulv med kvartssand, betongelement
Polyakrylat	Fugemasse

#### 4.5.3 Testmetoder og grenseverdier

SFT har utarbeidet normverdier for en rekke miljøfarlige stoffer i norsk jord<sup>103</sup>. Disse normverdiene som er akseptabel toleransedose, tar utgangspunkt i mest følsom arealbruk. Det vil si at eksponeringen foregår via alle definerte eksponeringsveier; oralt inntak, hudkontakt, innånding, inntak av drikkevann fra grunnvannsbrønn, inntak av dyrkede forekomster på det aktuelle området og inntak av fisk eller skaldyr fra nærliggende resipient. Dersom resirkulert tilslag skal benyttes i slike følsomme områder, skal normverdiene for jord ikke overstiges. For å kontrollere dette må det foretas kjemisk analyse av resirkulert tilslag med hensyn på de potensielle miljøfarlige stoffene. Dette er analyser hvor totalkonsentrasjonen av de kjemiske stoffene bestemmes.

Dersom resirkulert tilslag skal benyttes i mindre følsom arealbruk, som for eksempel veifylling, finnes det ingen konkrete normverdier. Det kan imidlertid settes grenseverdier ut fra beregningsnøkler dersom kjemiske stoffer i resirkulert tilslag kan vise til en eller flere av de ovenfornevnte eksponeringsveier<sup>104</sup>. Et eksempel er dersom det kan lekke ut kjemiske stoffer til grunnvannsspeilet, som igjen er i kontakt med en drikkevannskilde. Miljøfaren vil derimot kartlegges bedre om en testmetode kan bestemme hvilken mengde som ekstraheres ut fra resirkulert tilslag til omgivelsene i stedet for å bestemme totalkonsentrasjonen. Undersøkelser i utlandet viser at det er ingen sammenheng mellom totalkonsentrasjon og utlekkingsgrad<sup>97</sup>. Det arbeides derfor med å CEN-standardisere testmetoder som vil bestemme utlekkingsgraden av forskjellige miljøfarlige stoffer i resirkulert tilslag og annet avfall<sup>105, 106</sup>.

I Østerrike er det fastsatt grenseverdier med hensyn på bruken av resirkulerte bygningsmaterialer i henhold til en østerriksk standard<sup>107</sup>. Disse grenseverdiene er maksimale mengder av kjemiske stoffer som kan avgis til omgivelsene. I Frankrike finnes det grenseverdier for forbrenningsaske (MSWI bottom ash), benyttet i veibygging, utført etter en standardisert fransk testmetode<sup>108</sup> som har prinsipielle likheter med den østerrikske metoden. Tabell 10 viser disse franske grenseverdiene. Tysk betongforening har angitt anbefalinger til grenseverdier for ulike

forurensninger ved bruk til betongformål<sup>109</sup>. Fordelen ved den tyske ordningen er at forurensninger og betongteknologisk ugunstige stoffer er angitt i samme skjema.

Tabell 10. Spesifikke utlekkingskrav til forbrenningsaske (MSWI bottom ash) som skal benyttes til veikonstruksjoner i Frankrike.

Miljøskadelig stoff	Grenseverdi, mg/kg
Kvikksølv	< 0,2
Bly	< 10
Kadmium	< 1
Arsen	< 2
Krom (seksverdig)	< 1,5
Sulfater	< 10 000
Totalt organisk karbon	< 1500

Utlekkingsforsøk i regi av RESIBA<sup>110</sup> er utført i NBIs laboratorier med CENs testmetode for akselerert utlekking på tilslag uttatt fra Grønmo i 1998. Foreløpige resultater indikerer lavere utlekking enn grenseverdier angitt av tysk betongforening. Videre arbeide i RESIBA vil bestå i utlekkingsforsøk på materialer fra Grønmo, og relatering til evt. utlekking i felt i ubunden bruk.

## 4.6 Bestandighet

Med bestandighet menes materialers motstand mot nedbrytning over tid. Dette inkluderer for eksempel frostnedbrytning, sulfatangrep og alkalireaksjoner i ny betong (bunden bruk), samt for eksempel frostnedbrytning, utlutning og mekanisk nedbrytning av resirkulert tilslag i veg og fylling (ubunden bruk). Her er det lagt hovedvekt på bestandighet av betong fordi begrepet bestandighet i hovedsak er benyttet for betong. I ubunden bruk er det fokusert på frost, utlutning/utvasking og mekanisk nedbrytning samt setninger.

### 4.6.1 Frostbestandighet

Frostbestandigheten til et materiale avhenger, som for andre nedbrytningsformer, både av miljø og materialegenskaper. De viktigste faktorer i et aggressivt miljø mht. frostnedbrytning er, i tillegg til vinterklima, høy vannmetningsgrad/vått miljø og tilgang på tinesalt eller sjøvann under frysing og tining. Laboratorietester iht. prEN 1367-1 utført ved NBI viser at frostbestandigheten til ubundet resirkulert tilslag varierer mye med sammensetning og testprosedyre<sup>111, 112</sup>. Dersom testen gjennomføres strengt etter prEN 1367-1 vil en ofte få testresultater som iht. spesifikasjonsstandarden prEN 13242 tilsvarer bruksområde frostfritt eller frysing delvis vannmettet for norske forhold<sup>113</sup>. Resirkulert tilslag må ikke eksponeres for tinesalt og frysing, med mindre materialet består av ren tegl, ren asfalt og/eller naturlig fjell. I de sistnevnte tilfeller er den negative effekt av salt ved frysning vesentlig redusert<sup>112</sup>.

For tilslag innblandet i ny betong er det ingen entydig korrelasjon mellom betongens frostbestandighet og tilslagets frostbestandighet i ubunden bruk<sup>114</sup>. Her er vannmetningsgraden og muligheten for et evt. porøst/frostfølsomt tilslag til å øke sin vannmetningsgrad den viktigste faktoren. For betong i LA/NA miljø gjelder generelt NS 3420 sine forhåndsregler mht. frost ( $v/c = 0,60$ , evt. luft for NA). Dersom

betongen blir utsatt for frysing i tilstrekkelig vannmettet tilstand kan frostskafer oppstå. Foreløpige erfaringer fra NBI indikerer at en vannmetningsgrad  $< 0,91$  i C 25 betong med 100 % resirkulert tilslag ikke gir frostnedbrytning<sup>4</sup>. Innblanding av 20 % resirkulert tilslag vil derfor etter alt å dømme ikke gi frostskafer i LA/NA. For betong i miljøklasse MA indikerer internasjonale erfaringer at 20 % resirkulert tilslag kan gi svært god frostbestandighet i akselerert avskallingsprøving forutsatt luftinnblanding i den nye betongen<sup>115 116 117</sup>. Luftinnblanding i den gamle betongen som resirkulert tilslag produseres fra er ikke nødvendig for å oppnå tilfredsstillende bestandighet i ny betong. Overføring til norske forhold vil kunne kreve ytterligere undersøkelser i det vi benytter andre prøvemetoder og materialspesifikasjoner for ulike miljø sammenlignet med de nevnte undersøkelser fra Tyskland og Canada.

Også andre undersøkelser av frostbestandighet av betong med ulike v/c-forhold og andel grovt resirkulert tilslag avdekket ikke signifikante forskjeller sammenlignet med betong med naturlig tilslag<sup>118</sup>. Salem og Burdette<sup>70</sup> fant imidlertid tydelig redusert frostbestandighet ved bruk av grovt resirkulert tilslag i normalbetong, men dette endret seg ved tilsetning av luft tilsvarende ca. 3 %. Betong med både fint og grovt resirkulert tilslag hadde imidlertid redusert frostbestandighet også med luftinnblanding. En annen ny laboratorieundersøkelse fra USA viste at frostbestandigheten av betong med resirkulert tilslag er uavhengig av maksimal kornstørrelse så lenge luftinnblandingen er tilfredsstillende i den nye betongen<sup>119</sup>.

Som oppsummering kan sies at luftinnføring ser ut til å beskytte ny betong med resirkulert tilslag i grovfraksjonen. Bruk av mye fint resirkulert tilslag ser ut til å være mer betongteknologisk ugunstig enn grovt tilslag i aggressivt miljø, og anbefales foreløpig ikke i MA-miljø. For ubunden bruk bør eksponering for sjøvann og tinesalt og/eller neddykket frosteksponeering unngås. For øvrig er anvisninger for frostbestandighet og levetid av betong og andre porøse byggematerialer gitt i Byggforskserien<sup>120</sup>.

#### 4.6.2 Sulfat

Totalt svovelinhold (målt som  $SO_3$ ) bør ikke overstige 0,8 % i henhold til retningslinjer fra Kontrollrådet for betongprodukter målt i henhold til NS-EN 196-2 (NS 3090), eller maksimalt 1 % iht RILEM<sup>121</sup>. I tvilstilfeller, som for eksempel i fuktutsatt betong med tilgang på sulfat (sulfatholdig grunn/myr, grunnmur eller plate på mark etc.) kan sulfatbestandig sement brukes. Dersom en anbefalt maksimalgrense på 1 % sulfat av betongs totalvekt benyttes iht. RILEM<sup>121</sup>, finner vi for en betong med 300 kg sement ca. 0,2 %  $SO_3$ . Vi kan altså tillate ytterligere 0,8 % sulfat fra tilslaget. For betong med 100 % resirkulert tilslag tillates da maks 0,8 vekt %  $SO_3$  i det resirkulerte tilslaget. Dersom kun 20 % innblanding av resirkulert tilslag brukes tilsvarer dette hele 4 %  $SO_3$  i det resirkulerte tilslaget. Dette er langt høyere verdier enn en venter å finne i normal betong. Sulfatnedbrytning pga. sulfat i resirkulert tilslag av ren betong ser altså ikke ut til å være et problem ved moderate innblandinger av resirkulert tilslag.

Derimot er det selvfølgelig viktig med krav til innhold av forurensninger som kan gi ekspansive reaksjoner. Særlig er det viktig at ikke blandet resirkulert tilslag inneholder gips som er et vanlig byggemateriale. Systematiske studier har vist sulfatnedbrytning av betong med resirkulert tilslag iblandet gips<sup>72</sup>. På basis av disse og supplerende undersøkelser bør grenseverdier for gipsinnhold inkluderes i

spesifikasjoner/standardverk for resirkulert tilslag. Undersøkelser har vist at betong med resirkulert tilslag eksponert for sulfatløsning og sjøvann har tilnærmet samme bestandighetsegenskaper som betong med naturlig tilslag<sup>122</sup>.

Erfaringer fra Norge har vist at sulfatinnholdet i resirkulerte tilslag var ubetydelig ved innblanding av 20 % resirkulert betong<sup>55</sup>. I dette tilfellet tilsvarte den resirkulerte betongen et bidrag i den totale tilslagsmengdens sulfatinnhold på 0,04 % i den aktuelle betongresepten (C35 NA). Konklusjonen ser derfor ut til å bli at ved å følge retningslinjene gitt i NB26 er man på den sikre siden mht. sulfater<sup>53</sup>.

#### 4.6.3 *Klorider*

I henhold til NS 3420 skal ikke kloridinnhold overstige 0,4 % av sementmengden for slakkarmert betong<sup>33</sup>. Dette vil si at resirkulert tilslag ikke må inneholde mer enn ca. 0,07 vekt-% klorid dersom 100 % resirkulert tilslag benyttes, og ca. 0,3 vekt-% dersom 20 % resirkulert tilslag benyttes. (antatt 300 kg sement og 1800 kg tilslag). Dette er forutsatt at ingen klorid finnes i de øvrige delmaterialer (vann, sement, tilsetningsstoffer, naturlig tilslag). Verdiene må derfor justeres noe avhengig av hvilke minimumsverdier det opereres med for de øvrige delmaterialer. Når det gjelder transport av klorider fra miljøet inn i betong med resirkulert tilslag har lite forskning vært gjennomført. Erfaringer fra Norge har vist at kloridinnholdet i resirkulert tilslag fra Grønmo var ubetydelig ved innblanding av 20 % resirkulert betong<sup>55</sup>.

#### 4.6.4 *Alkalireaksjoner*

Alkalireaksjoner kan være et problem i fuktutsatte konstruksjoner med alkalireaktivt tilslag. I NB26 kreves at resirkulert tilslag inntil videre behandles som alkalireaktivt<sup>53</sup>. Dette vil i praksis si at maks 20 % av totalt tilslag kan være reaktivt iht. Norsk Betongforenings publikasjon nr 21 Betong med alkalireaktivt tilslag, dvs. de øvrige 80 % skal ikke være reaktive<sup>123</sup>. I tvilstilfeller følges retningslinjene til Norsk Betongforening (bruk av lavalkalisement, flyveaskesement, silikastøv etc).

Økningen i alkaliinnhold regnes ut på samme måte som for sulfat. Sannsynligheten vil imidlertid være lav for skader som følge av alkalireaksjoner i betong med resirkulert tilslag da det porøse tilslaget vil virke beskyttende på samme måte som luftporer kan beskytte mot den ekspanderende virkning av alkaligel<sup>124</sup>. I tillegg er resirkulert tilslag i de fleste tilfeller karbonatisert, noe som vil immobilisere hydroksider, og derved redusere faren for alkalireaksjoner. I mangel av egnede prøvningsmetoder for å avgjøre resirkulert tilslags alkalireaktivitet synes det derfor fornuftig å benytte tillatt totalt alkaliinnhold i ny betong som begrensning, og følge anvisningene fra Norsk Betongforening.

#### 4.6.5 *Karbonatisering*

Erfaringer med karbonatisering av betong med resirkulert tilslag er varierende. Undersøkelser har vist at karbonatisering av betong med resirkulert tilslag ikke avviker i nevneverdig grad fra karbonatisering av betong med naturlig tilslag<sup>125</sup>, mens andre derimot har vist en økning i karbonatiseringsdybden på nærmere 100 % etter et år<sup>126,127</sup>.

#### 4.6.6 *Utluting*

Knust betong i ubunden form kan utlutes dersom den over tid blir utsatt for mye rennende vann med stor kalkløsende evne ("bløtt" eller "aggressivt" vann). Dette gjelder betong med relativt høy permeabilitet og gjennomstrømning. Utlutingen berører i hovedsak kalsiumforbindelser fra sement, som består av over 60 % CaO. Utlutingen kan i resirkulert tilslag tenkes å føre til økt porøsitet, en form for "selvsementering" dersom dette felles ut igjen i tilslaget, og muligens kalkutfelling på uønskede steder. Pga. at økt pH er mest sannsynlig, vil korrosivitet på jern/stål ikke være et problem. Utlutingen avtar ved redusert betongpermeabilitet, i karbonisert betong, og dersom vannet er hardt. Ubundet knust betong må regnes å bli fullkarbonisert slik at utlutingen reduseres vesentlig. Ved lav fukttransport er dermed dette trolig ikke et problem. Det er også konkludert med at vanlig konstruksjonsbetong ikke har negative effekter på miljøet<sup>97</sup>. Det finnes for øvrig mye informasjon om faktorer som påvirker utluting i betong<sup>128</sup>.

#### 4.6.7 *Humus og oppslembart materiale*

Humus er en fellesbetegnelse på organisk materiale i jord- og steinmaterialer som kan virke retarderende og fasthetsreduserende i betong. Ved mistanke om humus i resirkulert tilslag bør humusinnholdet undersøkes i henhold til gjeldende retningslinjer fra Kontrollrådet for betongprodukter<sup>129</sup>. Trolig er oppslembart materiale viktigere enn humus fordi det kan reflektere mengde finstoff på kornoverflatene og dermed mulig redusert heft mellom sementpasta og tilslag. Humus kan også være skadelig for materialer til ubunden bruk ved å øke materialets evne til å holde på vann, og dermed bli ustabil.

#### 4.6.8 *Mekanisk nedbrytning, setninger og utvasking*

Kombinert virkning av abrasjon, nedknusning, utvasking og/eller utluting kan tenkes å oppstå ved ubunden bruk av resirkulert tilslag i vei, grøft og fylling. Undersøkelser i laboratorium har vist at nedknusning av mørtelrester gir endret kornkurve avhengig av hvor lenge prøven utsettes for mekanisk belastning (risting)<sup>130</sup>. Under høy/gjentatt last og vannføring kan det tenkes at en komprimering oppstår. I RESIBA gjennomføres derfor undersøkelser både i felt og laboratorium for å undersøke muligheten for nedknusning og setning under kombinert last og vanngjennomgang i grøfter. Målet er å gi anbefalinger og evt. grenseverdier for komprimering og permeabilitetsverdier for kombinasjoner av last og vanngjennomgang.

## **5. RETNINGSLINJER OG REGELVERK**

### **5.1 Offentlige krav og HMS**

#### *5.1.1 Offentlige krav og retningslinjer*

Det er en rekke lover og retningslinjer knyttet til håndtering av bygg- og anleggsavfall. De viktigste er:

- Plan- og bygningsloven
- Teknisk forskrift etter Plan- og bygningsloven
- Forurensningsloven
- Spesialavfallsforskriften
- Kommunal forskrift om styring av produksjonsavfall (bygg- og anleggsavfall)
- Forskrift om bakkeplanering
- Arbeidsmiljøloven
- Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter
- Byggherreforskriften
- Kommunehelsetjenesteloven

##### 5.1.1.1 Plan- og bygningsloven

1. juli 1997 trådte det i kraft en rekke lovendringer i Plan- og bygningsloven<sup>131</sup>. Formålet med loven er å legge til rette for samordning av statlig, fylkeskommunal og kommunal virksomhet, og gi grunnlag for vedtak om vern og bruk av ressurser, utbygging, samt å sikre estetiske hensyn. Gjennom planlegging og ved særskilte krav til det enkelte byggetiltak, skal loven legge til rette for at arealbruk og bebyggelse blir til størst mulig gagn for den enkelte og samfunnet. Ved planlegging skal det også spesielt legges vekt på å legge til rette for barns gode oppvekst vilkår. Hvert bygge-/riveprosjekt må ha godkjente foretak i alle ledd i prosessen. Kontrollen gjøres av aktørene selv, mens kommunen skal føre tilsyn bl.a. gjennom ansvars plassering, kontroll- og godkjenningssystemer.

##### 5.1.1.2 Teknisk forskrift etter Plan- og bygningsloven

§ 8-5 setter krav til livsløpstankegang (vugge til vugge -prinsippet) ved bygging. Den sier bl.a. at forurensninger fra bygninger skal medføre liten belastning på det ytre miljø ved plassering, bruk og avskaffelse<sup>132</sup>.

##### 5.1.1.3 Forurensningsloven

Formålet med loven er å motvirke forurensning på det ytre miljø, både eksisterende forurensning og fremtidig forurensning. Loven skal hindre at forurensninger og avfall medfører helseskade, reduserer trivselen eller truer naturgrunnet. Målsetningen er å oppnå en forsvarlig miljøkvalitet. En rekke statlige og kommunale forskrifter er hjemlet i Forurensningsforskriften<sup>133</sup>.

##### 5.1.1.4 Spesialavfallsforskriften

Formålet er å sikre at spesialavfall tas hånd om på en slik måte at det ikke skaper forurensning eller skade på menneske eller dyr, og å bidra til et hensiktsmessig og forsvarlig system for håndtering av spesialavfall. Det finnes en rekke forskrifter som

omfatter ulike typer spesialavfall. De viktigste av disse som omfatter bygg- og anleggsavfall er asbestforskriften, PCB -forskriften og forskrift om KFK<sup>134</sup>.

#### 5.1.1.5 Kommunal forskrift om styring av produksjonsavfall (bygg- og anleggsavfall)

En rekke kommuner har fått delegert myndighet etter forurensningslovens §32 til styring av produksjonsavfall (bygg- og anleggsavfall). Formålet med forskriftene er å sikre en miljømessig og samfunnsøkonomisk håndtering av produksjonsavfall (bygg- og anleggsavfall) ved å stimulere til avfallsreduksjon, økt ombruk og gjenvinning. Forskriften fastslår at det er tiltakshavers ansvar at avfallet sorteres og behandles iht. kommunenes retningslinjer<sup>135</sup>.

#### 5.1.1.6 Forskrift om bakkeplanering

Formålet er å forebygge, begrense eller stanse forurensning/erosjon fra planeringsfelt. Med bakkeplanering forstås arbeidet med å gjøre brattlendt eller kupert dyrkbart og tidligere dyrkbart areal skikket for maskinell jordbruksdrift. Arealet må minst være 1,0 dekar<sup>136</sup>.

#### 5.1.1.7 Arbeidsmiljøloven

Loven stiller krav til arbeidsmiljøet, fysisk og organisatorisk, til melding og registrering av skader og sykdommer, og om verneombud, arbeidsutvalg og verne- og helsepersonell. Loven regulerer også fjerning av asbestementplater<sup>137</sup>.

#### 5.1.1.8 Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter

Formålet er gjennom systematisk gjennomføring av tiltak å fremme forbedringsarbeid innen arbeidsmiljø og sikkerhet, forebygging av helseskade eller miljøforstyrrelser fra produkter eller forbrukertjenester, og vern av det ytre miljø mot forurensning og bedre behandling av avfall<sup>138</sup>.

#### 5.1.1.9 Byggherreforskriften

Byggherreforskriften er en forskrift om helse, miljø og sikkerhet (HMS) ved oppføring av bygninger, rehabilitering og riving. Forskriften pålegger bl.a. tiltakshaver å planlegge og tilrettelegge lagring, deponering og fjerning av avfall<sup>139</sup>.

#### 5.1.1.10 Kommunehelsetjenesteloven

Formålet med loven er å fremme folkehelse, trivsel og gode sosiale og miljømessige forhold, herunder også miljørettet helsevern. Kommunen skal føre tilsyn med de faktorer som kan ha direkte innvirkning på helsen. Aktuelle områder innen miljørettet helsevern kan være støy, inneklima, forurensninger i jord og luft, avfall m.m.<sup>140</sup>.

### 5.1.2 Helse, miljø og sikkerhet

Tradisjonen i byggebransjen, og til dels også i kommunene, har vært at bygg- og anleggsavfall er blitt betraktet som rene masser som har blitt brukt til utfyllingsformål. Imidlertid har det vist seg at BA-avfall kan inneholde ulike miljøfarlige stoffer.



For å unngå at miljøfarlige stoffer blir blandet i resirkulerte materialer, bør bygninger før riving og rehabilitering miljøbesiktiges. Med bakgrunn i besiktigelsen lages det en miljøsaneringsrapport som beskriver hvilke miljøfarlige komponenter som er i bygningskroppen, og mengdene av disse. Retningslinjer for miljøsanering og selektiv riving er gitt i <sup>99,100</sup>. Under riving av bygningene skal komponentene tas ut, lagres og fjernes for seg selv. Dessverre er kunnskapen på byggeplassene mangelfull om spesialavfall, slik at det kan forekomme at disse komponentene blandes i det øvrige avfallet. Kartleggingen og saneringen av miljøfarlige stoffer minsker risikoen for disse komponenter i ombruk- og gjenvinningsmaterialer.

Dersom bygningsmaterialer fra byggeprosjektene skal ombrukes eller gjenvinnes må rivingen gjøres selektivt. Dette krever god planlegging på forhånd, som sikrer gode arbeidsforhold for arbeiderne i henhold til de lover og regler som gjelder. Pilotprosjekter viser også at HMS blir ekstra godt ivaretatt fordi god planlegging av avfallshåndteringen gir en ryddigere byggeplass, og dermed mindre risiko for skader.

## **5.2 Nasjonale og internasjonale retningslinjer for bruk av resirkulert tilslag**

Resirkulert tilslag er i ferd med å bli et akseptabelt alternativ til naturlig tilslag for en rekke bundne og ubundne anvendelser. Imidlertid er standardiserte krav og retningslinjer for bruk avgjørende for at resirkulert tilslag blir benyttet på lik linje med naturlig tilslag. Dette gjelder både ved at resirkulert tilslag inkluderes i eksisterende retningslinjer og anbefalinger som benyttes av byggebransjen, og i tillegg at det utgis spesielle retningslinjer for bruk av resirkulert tilslag der dette er nødvendig. Nedenfor er det gitt en oversikt over de sistnevnte, både nasjonalt og internasjonalt.

### *5.2.1 Nasjonale retningslinjer*

I Norge har arbeidet med retningslinjer for bruk av resirkulert tilslag kommet lengst for bunden bruk. Norsk Betongforening utga i 1999 publikasjon nr. 26 Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon (NB26) som klassifiserer resirkulert tilslag som skal inngå i ny betongproduksjon i Type I og II avhengig av renhet, densitet og vannabsorpsjonsegenskaper<sup>53</sup>. Avhengig av tilslagets klassifisering og betongkvalitet tillates innblanding av opptil 30 masse-% resirkulert tilslag.

NB26 tillater bruk av opptil 5 masse-% resirkulert tilslag fra restbetong i begge fraksjonene 0-4 mm og 4-32 mm i produksjon av ny betong uten begrensninger. Dersom kun resirkulert tilslag i fraksjon 4-32 mm benyttes, kan andelen av denne inngå med 5 % av den totale tilslagsmengden. Med disse begrensningene anses å få tilnærmet de samme egenskapene som betong med naturlig tilslag. For øvrig kan opptil 30 % nedknuste masser benyttes sammen med naturlig tilslag, avhengig av kvaliteten på de nedknuste masser, og anvendelsesområdet for den nye betongen. Publikasjonen omhandler kun resirkulert tilslag som forutsettes å komme fra konstruksjoner eller objekter som før riving og nedknusning er vurdert og kontrollert for miljøfarlige og betongteknologisk ugunstige stoffer. NB26 krever at det skal foreligge nødvendig dokumentasjon på at rivningsmaterialer som skal benyttes til produksjon av resirkulert tilslag til betongformål ikke inneholder uakseptable mengder av verken miljøfarlige eller betongteknologisk ugunstige stoffer. For konstruksjoner med krav til vanntetthet, frostbestandighet eller motstand mot

kloridinntrengning, må egnethet av det resirkulerte tilslaget dokumenteres spesielt. Resirkulert tilslag skal generelt anses å være alkalireaktivt dersom annet ikke blir spesielt dokumentert. NB26 åpner for innblanding av resirkulert tilslag utover 30 % av grovt tilslagsandel forutsatt at spesielle angitte beregningsregler benyttes og begrenset til betongkvalitet C 25 LA.

På tross av at ubunden bruk er, og trolig vil være, det desidert største bruksområdet for resirkulert tilslag også i Norge, finnes det foreløpig ingen retningslinjer for ubunden bruk av resirkulert tilslag. Resultatene fra de ulike FoU-prosjektene som for tiden pågår vil gi verdifulle innspill i prosessen med å utarbeide slike retningslinjer. Enkelte offentlige myndigheter som for eksempel Oslo kommune, har imidlertid i enkelte tilfeller begynt å åpne for bruk av resirkulert tilslag på generell basis der det kan legges fram dokumentasjon på at tilslaget har tilfredsstillende egenskaper<sup>141</sup>.

### 5.2.2 Internasjonale retningslinjer

Det nedenforstående er ikke ment å være en komplett oversikt over internasjonale retningslinjer, men enkelte utvalgte er inkludert for å gi eksempler på hvordan dette arbeidet har pågått og fortsatt pågår i utlandet.

- Dansk betongforening ga allerede i 1990 ut retningslinjer, publikasjon nr. 34, for bruk av resirkulert tilslag i betong i passiv miljøklasse<sup>142</sup>. Retningslinjene gitt av Norsk betongforening i NB26, har i stor grad tatt utgangspunkt i den danske publikasjonen.
- Danske vegmyndigheter har utgitt retningslinjer for bruk av ubundne bærelag i vei<sup>143</sup>.
- I Nederland er det i egen standard, NEN 5905, gitt krav til tilslag med densitet over 2000 kg/m<sup>3</sup> for betong som også inkluderer resirkulert tilslag<sup>144</sup>. Standarden angir krav til blant annet kornfordeling, kornform, finstoffinnhold, densitet og mekaniske egenskaper (krav til minimumsverdier for Los Angeles Abrasion Test, ASTM C 131). I tillegg er det gitt krav til maksimalt innhold av klorider, sulfater, reaktivt tilslag samt en del andre stoffer som er vurdert som skadelige for betong. Standarden inneholder også krav om kvalitetskontroll.
- I USA har veimyndighetene ved Federal Highway Administration (FHWA) utgitt retningslinjer for bruk av avfalls- og restprodukter i vei- og fortauskonstruksjoner. Disse angir typiske fysiske, kjemiske og mekaniske data for resirkulert betong. Retningslinjene fra FHWA finnes på Internett <http://www.tfsrc.gov/hnr20/recycle/waste/>
- Washington State Department of Transportation (WSDOT) i USA har inkludert resirkulert tilslag i sine retningslinjer<sup>22</sup>. WSDOT angir krav til tilslagets kornfordeling, sandekvivalent, samt at tilslaget ikke skal inneholde trefliser og organiske materialer.
- Retningslinjer fra Tyskland sier generelt at resirkulert tilslag må tilfredsstillende de samme kravene som naturlig tilslag i henhold til DIN 4226<sup>109</sup>. I vedlegg til de tyske retningslinjene settes grenseverdier for innhold av ulike kjemiske

bestanddeler, som for eksempel tungmetaller som bly (100 µg/l) og kadmium (5 µg/l), samt innhold av klorider (150 mg/l) og sulfater (600 mg/l).

- RILEMs anbefaling fra 1994, som er basert på arbeidet i RILEM TC 121 DRG (Guidance for Demolition and Reuse of Concrete and Masonry), delte resirkulert tilslag for betong inn i tre klasser (Type I, II og III). Type I er hovedsakelig tegl (tørr partikkeldensitet minimum 1500 kg/m<sup>3</sup>), Type II er hovedsakelig betong (tørr partikkeldensitet minimum 2000 kg/m<sup>3</sup>) og Type III består av 20 % Type II og resten naturlig tilslag (tørr partikkeldensitet minimum 2400 kg/m<sup>3</sup>).

### 5.3 Standardisering av resirkulert tilslag

Standardisering av tilslag foregår i Europa i CEN TC 154 Aggregates, hvor Norge deltar i ulike underkomiteer og arbeidsgrupper. De mest relevante produktstandarder for tilslag er (fritt oversatt fra engelsk):

- prEN12620 Tilslag for konstruksjonsbetong<sup>145</sup>
- prEN13043 Tilslag for bitumen og veidekke<sup>146</sup>
- prEN13242 Tilslag for ubundet bruk og veibygging<sup>113</sup>

Det arbeides for tiden med å integrere tilleggsklausuler for resirkulert tilslag<sup>147</sup> i produktstandardene. Status for framdrift av de ulike tilslagsstandardene fås ved henvendelse til Norges byggstandardiseringsråd (NBR)<sup>148</sup>.

Forut for klausulene til produktstandardene utarbeidet CEN TC 154 en egen teknisk rapport<sup>149</sup> som ga oversikt over aktuelle resirkulerte materialer med tilhørende bruksområder og prøvemetoder. Generelt mener CEN at de samme prøvningsstandarder gjelder for resirkulert tilslag som for annet tilslag.

Inndelingen i ulike klasser av resirkulert tilslag i CEN TC 154 er basert på RILEMs tidligere spesifisering for resirkulert tilslag i ny betong<sup>121</sup>. CEN har i tillegg utvidet med klassifisering for ubundet bruk og letttilslag. Tabell 11 nedenfor gir en forenklet oversikt over sammensetning av tilslag i de ulike klassene, slik disse er klassifisert i tilleggsklausulene til produktstandardene. Resirkulert tilslag er definert i 6 ulike klasser.

*Tabell 11. Klassifisering av resirkulert tilslag for ulike bruksområder iht. CEN - forenklet oversikt.*

Type	Sammensetning	Bruksområde
0	Primært lettbetong, lettklinker	Bundet/ubundet
1	Primært tegl	Betong, ubundet
2	Primært betong	Betong, ubundet
3	Type 1 + 2 + natur	Betong, ubundet
4	Primært asfalt	Ubundet, bitumen
5	Type 3 + asfalt ("Blandet masse")	Ubundet

I Norsk Betongforenings publikasjon nr. 26 (NB26) klassifiseres resirkulert tilslag til betongformål omtrent tilsvarende som Type 2 og Type 3 i henhold til CEN-standardene<sup>53</sup>. Det er imidlertid strammet noe inn på innhold av isolasjonsmaterialer og planterester (hhv. 0,5 og 0,1 vol-%) i forhold til CEN. Videre angir Norsk

betongforening alternativ vannmettet, overflatetørr densitet (hhv. 1800 og 2100 kg/m<sup>3</sup>). Dette sistnevnte vil si at Norsk Betongforenings klassifisering ikke nødvendigvis blir den samme, og er dermed et avvik og ikke en innstramning i forhold til CEN.

Innhold av forurensninger og urenheter som metall, glass, papp, papir, plast trevirke, isolasjonsrester og gips er et viktig kvalitetskriterium for resirkulert tilslag som kan være avgjørende for prisfastsettelsen.

#### **5.4 Kvalitetssikringssystemer**

Kvalitetssikringssystemer for produksjon av resirkulert tilslag vil typisk omfatte miljøbesiktigelse og miljøsanering av riveobjekter forut for produksjon, og/eller dokumentasjon etter produksjon av tilslag.

Norsk Betongforenings publikasjon nr. 26 (NB26) krever inspeksjon av konstruksjoner før demolering ved bruk av resirkulert tilslag i betong. Produksjon, dokumentasjon og lagring av resirkulert tilslag skal utføres etter samme regelverk som for produksjon av naturlig tilslag med enkelte mindre modifikasjoner. Betongprodusenten har krav til sporbarhet av resirkulert tilslag i hvert betonglass som benyttes.

CEN/TC 154 har utarbeidet en teknisk rapport som omhandler resirkulert tilslag for bruk i både bundet (betong) og ubundet bruk<sup>149</sup>. I tillegg er utkast til tilleggsklausuler til aneks H i prEN 12620 og aneks D i prEN 13242 utarbeidet<sup>113, 149</sup>. For produksjon av betong med resirkulert tilslag skal rivningsavfallet være dokumentert forut for resirkulering. Dokumentasjonen skal identifisere type materiale og opprinnelse av materialet, samt eventuelle forurensninger og relevante for-analyser, i tillegg til transportør. Justeringer av produksjonskontroll og avviksbehandling er også behandlet. For ubundet og hydraulisk bundet materiale i veikonstruksjoner er tilsvarende tilleggsklausuler innarbeidet i Aneks E i dokument SC4-235. Begge aneksene inneholder henvisninger til laboratoriemetoder og frekvens av prøving basert på EU guideline B – Factory Production Control. Aneks D i prEN 13242 gir en oversikt over aktuelle parametre med angivelse av prøvningsmetoder, krav og testfrekvens. Typiske parametre er kornkurve, andel nedknust materiale, motstand mot fryse-tine sykler samt petrografisk beskrivelse (1 per 3. år).

For å skape markedsadgang for resirkulerte masser vil faktorene pris, tilgjengelig mengde, miljøpåvirkning og kvalitet være avgjørende. Gjennom etablering av kvalitetssikringssystemer tilknyttet resirkulert tilslag, vil det være spesielt viktig å ta hånd om de to sistnevnte faktorene.

Det vil være av stor betydning for en byggherre/bruker av resirkulerte masser at det er stor grad av sikkerhet for at massene ikke inneholder stoffer som på kort eller lang sikt vil virke skadelig for miljøet. Samtidig vil det være viktig at de resirkulerte massene er egnet til den tiltenkte bruken, og at den forutsatte kvaliteten opprettholdes under leveransen. De kvalitetssikringssystemer som etableres må således ivareta disse momentene på en slik måte at det skapes tillit hos brukerne.

Med basis i forannevnte ses følgende hovedmodell for kvalitetssikringssystem :

- basis vil være bruksområdene og derigjennom krav til kvalitet og eventuelle toleranser.
- krav til produsentens kvalitetssystem basert på:
  - kompetanse for nøkkelpersonell
  - mottakskontroll av rivingsmaterieell basert på graden av forhåndsdokumentasjon og sluttbruk
  - egenkontroll under produksjonen basert på bruksområde og kvalitetskrav
  - ferdigvarekontroll basert på bruksområde og kvalitetskrav
  - dokumentasjon

Av tilgjengelige dokumenter nevnes spesielt Norsk Betongforenings publikasjon nr. 26, arbeidet i CEN gjennom TC 154, prEN 12620, prEN 13043, prEN 13242, EU guideline B – Factory Production Control, samt en nasjonal nederlandsk retningslinje for sertifisering av resirkulert tilslag – BRL 2506<sup>150</sup>. Nederland har allerede en teknisk standard for resirkulert betongtilslag - NEN 5905<sup>144</sup>.

Krav til ferdigvarekontroll basert på bruksområde og kvalitetskrav kan eksempelvis angis i tabellform basert på retningslinjer fra Nederland (Tabell 12), samt Norge og Tyskland (Tabell 13)<sup>53, 109, 113, 150</sup>. For ubunden bruk er krav til prøvingsomfang og hyppighet hentet fra det nederlandske dokumentet BRL 2506 – 1999.06.16.

*Tabell 12. Eksempel på krav til ferdigvarekontroll basert på bruksområde og kvalitetskrav fra Nederland<sup>150</sup>.*

Egenskaper	Bruksområder	
	Fyllmasser	Underbygning, vei, grøft
Siktekurve	Hver 1000 t (maks en pr. dag)	Hver 1000 t (maks en pr. dag)
Material-sammensetning	Fortløpende visuell kontroll. Vurdering av repr. prøve pr. 2500 t (maks 2 pr 5 prod.dager)	Fortløpende visuell kontroll. Vurdering av repr. prøve pr. 2500 t (maks 2 pr. 5 prod.dager)
Densitet	-	Hver 5000 t
Vannabsorpsjon	-	Hver 5000 t
Kloridinnhold	-	-
Sulfater	-	-
Flisighet og sprøhet	2 ganger pr. år	Hver 5000 t
Abrasjonstest	-	Hver 10 000 t
CBR	Hver 10 000 t	Hver 10 000 t
Frostbestandighet	Hver 10 000 t	Hver 10 000 t

For egenskaper med krav til prøving pr. 10.000 t er det en tilleggsopplysning om at det kreves maksimalt 4 prøver pr. år.

For enkelte typer resirkulert tilslag er det også tilleggskrav til kontroll av egenskaper, bl.a. trykkstyrke, innhold av skadelige stoffer, utlekking (emisjon) etc.

For bruksområde betong er kravene til prøvingsomfang og hyppighet hentet fra NB26 og retningslinjer fra Tyskland<sup>53, 109</sup>. Prøvemeter og prøvehyppighet for

resirkulert tilslag er de samme som benyttes for naturlig tilslag med mindre modifikasjoner (Tabell 13).

Tabell 13. Eksempel på krav til ferdigvarekontroll av resirkulert tilslag til betong basert på retningslinjer fra Norge og Tyskland<sup>53, 109</sup>.

Egenskaper	Bruksområder	
	Norge <sup>53</sup> Betong (Type I og II) Det strengeste av:	Tyskland <sup>109</sup> Betong
Siktekurve	Hver 10.prod.dag/2000 t	Hver uke
Densitet	Hver 10.prod.dag/2000 t	Hver uke
Vannabsorpsjon	Hver 10. prod.dag/2000 t	Hver uke
Kloridinnhold	Hver 10.prod.dag/2000 t	Produksjonsavhengig
Sulfater	Hver 10.prod.dag/2000 t	Produksjonsavhengig
Materialsammensetning	Hver 10.prod.dag/2000 t	Hver dag

Eksempelvis er det velkjent at organisk materiale kan påvirke betongens mekaniske egenskaper i negativ retning, og som følge av dette må hver leveranse av resirkulerte masser i Tyskland testes for organisk innhold for å unngå disse i ny betong<sup>109</sup>. Her benyttes også vannabsorpsjon og tørrdensitet systematisk for å sjekke kvaliteten av resirkulert tilslag.

## 6. FORSKNINGSAKTIVITETER

Forskningsaktiviteten i tilknytning til resirkulering av bygg- og anleggsavfall har vært betydelig de siste 10 årene. Et utvalg av prosjekter fra Norge og utlandet som omhandler resirkulert tilslag er kort omtalt i det etterfølgende.

### 6.1 Norge

#### 6.1.1 *Resirkulert tilslag for bygg og anlegg (RESIBA)*

Prosjektet, som denne rapporten er en del av, ledes av Veidekke ASA, BA Gjenvinning og NBI, og støttes av ØkoBygg. RESIBA er et 3-årig prosjekt (1999-2002) som oppfølger til et 1-årig forprosjekt fra 1998, og samler sentrale aktører i BA-bransjen (bygherrer, leverandører/entreprenører, forskning). RESIBA-prosjektets overordnede mål er å implementere langsiktig bruk av resirkulert tilslagsmateriale på en rekke områder innenfor bygg- og anlegg. Hensikten er å bringe Norge opp på samme nivå som resten av Europa i bruken av resirkulert tilslag. Dermed reduseres den miljø- og ressursbelastningen bransjen i dag forårsaker. RESIBA er delt inn i tre delprosjekter:

- DP 1: Deklarasjon og kvalitetskontroll
- DP 2: Demonstrasjonsprosjekter
- DP 3: Kunnskapsformidling.

Prosjektperiode: 1999-2002.

Hjemmeside: <http://www.byggforsk.no/Prosjekter/RESIBA/>

#### 6.1.2 *Gjenvinning av tunge byggematerialer*

Prosjektet ledes av Franzefoss Bruk AS og støttes økonomisk av Norges Forskningsråd via NORMIL 2000. Prosjektet skal utvikle et gjenvinnings- og resirkuleringskonsept for tunge byggematerialer, og fokuserer på demolering/håndtering, materialproduksjon og materialbruk. Et av markedsprosjektene har vært RiT 2000.

Prosjektperiode: 01.01.1997 - 31.12.1999.

Hjemmeside: <http://forskningsradet.wbnorge.no/>

#### 6.1.3 *Resirkulering av Offshore Betongkonstruksjoner*

Prosjektet ledes av Dr. techn. Olav Olsen a.s og støttes økonomisk av ØkoBygg. Målsetningen er å fremskaffe bedre beslutningsgrunnlag for disponering av eksisterende offshoreplattformer samt definere og utvikle metoder og verktøy for demolering, knusing og resirkulering av tungt armert høyfast betong med store tverrsnitt. Det aktuelle prosjektet vil beskrive løsninger for saging, sprengning og knusing. Teknologiske og operasjonelle aspekter vil bli belyst. Materialklassifisering, forurensningsproblematikk i oljelagre, logistikk, investeringsbehov og kostnader er andre forhold som vil bli undersøkt.

Prosjektperiode: høst 1999-vår 2000

Hjemmeside: <http://www.grip.no/okobygg/>

#### 6.1.4 *Bygg og anleggsavfall i Oslo og Akershusregionen*

Prosjektet ledes av Avfallsrådet for Oslo og Akershus (AROA) og støttes økonomisk av ØkoBygg. Målsetningen er:

- 1) Redusere mengden BA-avfall fra Oslo/Akershusregionen til deponi med 40% innen utløpet av år 2002.
- 2) Legge til rette for miljøriktig håndtering av BA-avfall, og fremme ombruken og energiutnyttelse av BA-avfall.

Akershus fylkeskommune vil gjennom et regionalt samarbeidsprosjekt legge til rette for økt utnyttelse av bygg- og anleggsavfall, og bidra til næringsutvikling i tilknytning til dette. Et delprosjekt omfatter bruk av resirkulert tilslag som drenerende masser mot grunnmur i regi av Norges byggforskningsinstitutt i samarbeid med Franzefoss Bruk AS.

Prosjektperiode: 01.01.1998-31.12.1999.

Hjemmeside: Nei

#### 6.1.5 *Hvor rent er rent nok ?*

Prosjektet ledes av Franzefoss Bruk og støttes økonomisk av ØkoBygg. Med utgangspunkt i spørsmålet ”Hvor rent er rent nok ?”, er målet å utvikle retningslinjer for å vurdere om en konstruksjon kan materialgjenvinnes med lønnsomhet.

Utgangspunktet for prosjektet er behovet for å dokumentere at gjenvinningsproduktene er ”rene nok”, både med hensyn til kvalitet av det endelige produktet og til miljøet. Ved å utvikle praktiske og enkle testmetoder, og ved å stille krav og grenseverdier for kvalitetskontroll av bygg og veier, vil prosjektet være med på å sikre at materialene som leveres til mottak er rene for kjemisk forurensning. En viktig del av prosjektet er å prøve ut testmetoder og kvalitetssystemer i demonstrasjons- og markedsprosjekter.

Prosjektperiode: 01.01.2000-01.03.2001.

Hjemmeside: Nei

## 6.2 **Utlandet**

### 6.2.1 *ALT- MAT*

*ALTERNativ MATerials in Road Construction (ALT-MAT)* er et EU-prosjekt under 4. rammeprogram. Målsetningen er å definere metoder for evaluering av egnethet av alternative materialer for bruk i vei under egnede klimaforhold. Prosjektet vil dekke mekaniske egenskaper, funksjonskrav, utlekkingspotensiale og langtidsstabilitet av materialene. I tillegg til laboratorieundersøkelser vil eksisterende veikonstruksjoner bli undersøkt og danne grunnlag for fullskalaforsøk.

Prosjektperiode: 01.01.1998-21.12.1999.

<http://www.trl.co.uk/altmat/index.htm>

### 6.2.2 *POLMIT*

*POLLution of Groundwater and Soils by Road and Traffic Pollutants: Dispersal Mechanisms, Pathways and MITigation Measures (POLMIT)* er et EU-prosjekt under 4. rammeprogram. Prosjektet omhandler ulike sider ved forurensning av jord og grunnvann i tilknytning til veier.

Prosjektperiode: 01.08.1997-31.07.1999.

Hjemmeside: <http://www.trl.co.uk/polmit/gen.htm>



### 6.2.3 *COURAGE*

*Construction with Unbound Road AGgregates in Europe (COURAGE)* er et EU-prosjekt under 4. rammeprogram. Prosjektet omhandler mekaniske egenskaper og oppførsel av ubunden granulært materiale brukt i fortau. Målsetningen er å legge forholdene til rette for økt bruk av gjenvunnet materiale i veikonstruksjoner.

Prosjektperiode: 01.01.1998-31.12.1999

Hjemmeside: <http://dbs.cordis.lu/cordis-cgi>

### 6.2.4 *MISTRA Bygg (Sustainable Building)*

*MISTRA Bygg (Sustainable Building)* er et nasjonalt forskningsprogram i Sverige. Et av prosjektene omhandler resirkulering av betong, hvor målsetningen er å undersøke bruk av resirkulert betong i veikonstruksjoner.

Prosjektperiode, del 1: 01.01.1997-31.12.1999.

Prosjektperiode, del 2: 2000-2002 (planlagt)

Hjemmeside: <http://www.sustbuild.chalmers.se/kbesk.asp>

### 6.2.5 *Targeted Research Action - Environmentally Friendly Construction Technologies (TRA-EFCT)*

EU-prosjekt under 4. rammeprogram. Delprosjekt 11, *Recycling in Construction*, inneholder underprosjekter som kan knyttes til hovedemnene:

- Ombruk av bearbeidet avfall fra rivningsaktiviteter og kvalitetsvurdering ved testing
- Bruk og godkjenning av bearbeidet industriavfall og annet egnet avfall som konstruksjonsmateriale
- Bestemme skadelig miljøinnvirkning fra bygningsavfall.

Prosjektperiode: 01.01.1996-31.12.1999.

Hjemmeside: <http://ibase218.eunet.be/>

### 6.2.6 *Construction Recycling Technologies for High Quality Cement and Concrete*

EU-prosjekt under 4. rammeprogram. Målsetningen er å utvikle teknologi for fremstilling av sement og betong av høy kvalitet basert på rivningsavfall. Prosjektet vil dekke mekaniske, fysiske og kjemiske egenskaper med hensyn på bestandighet (frost). I tillegg vil prenormative krav, retningslinjer og designspesifikasjoner bli utarbeidet. Sluttresultatet vil være en design- og spesifikasjonsmanual for ombruk av rivningsavfall i byggevarer av høy kvalitet.

Prosjektperiode: 01.01.1996-31.12.1999.

Hjemmeside: <http://dbs.cordis.lu/cordis-cgi>

### 6.2.7 *Use of Recycled Materials as Aggregates in the Construction Industry*

EU-prosjekt under 4. rammeprogram (tematisk nettverk) med 29 partnere fra 16 land. Målsetningen kan oppsummeres som følger: -å bidra til introduksjon av standardverk og retningslinjer for resirkulering av bygningsavfall; - koordinering av pågående EU-prosjekter innen resirkulering av bygningsavfall; - informasjonsspredning. Fra Norge deltar Byggforsk og Franzefoss Bruk AS

Prosjektperiode: 01.10.1998-30.09.2002.

Hjemmeside: <http://www.etnrecy.net/>

### 6.2.8 *Ubundne bærelag af knust beton*

Danske vegmyndigheter ved Vejdirektoratets har et prosjekt som i løpet av 2001 skal utarbeide retningslinjer for bruk av knust betong i veger. I prosjektoptalen heter det at knust betong fra bygninger og anleggskonstruksjoner anvendes i vegsektoren på en ikke særlig hensiktsmessig og optimal måte, fordi det ikke fins godkjente “vegregler” på området. Det produseres materialer av forskjellig kvalitet og renhet, men da det ikke finnes krav og spesifikasjoner for de ulike produkter har produsentene ikke interesse av å skille sterke og svake råmaterialer ved opparbeidingen av avfallet. Prosjektperiode: 1999-2001.

Hjemmeside: <http://www.vd.dk/vi/forskning/dkomj1.htm>

## 7. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

Resirkulert tilslag bestående av sortert, nedknust og fraksjonert tungt byggeavfall (betong, tegl, asfalt mm.) er blitt et viktig alternativt tilslagsmateriale innen bygg og anlegg i store deler av verden. Motivasjonen ligger både i lav pris, gunstige egenskaper for ulike bygg- og anleggsformål, samt bærekraftig bruk av sekundære råmaterialer med redusert uttak av nye råmaterialer og deponering som resultat. Praktiske erfaringer internasjonalt og i Norge viser en rekke aktuelle anvendelser i ubunden (eks. veifylling) og sementbunden bruk (eks. konstruksjonsbetong).

Innen ubunden bruk er ulike deler av veifundamenter trolig det største bruksområdet. I Norge er det her laget flere prøvefelter i full skala i regi av Statens Vegvesen, bl.a. i prosjekt RESIBA, for å finne de riktige produksjonsmetoder og kombinasjoner av material og bruksområde i veikroppen. Det er også gode erfaringer etter tre års bruk av en relativt tungt trafikkert større parkeringsplass utført av Veidekke ASA med resirkulert tilslag både i forsterknings- og bærelag. Før ytterligere langtidsresultater av disse prosjektene foreligger, ser det ut til at lavtrafikkerte områder (gang- og sykkelveier, parkeringsplasser) og noe dyp plassering er de mest relevante bruksområder. Videre må eksponering for sjøvann, tinesalt og frysing i neddykket/våt tilstand unngås. Avhengig av resultater fra langtidsoppfølging av eksisterende og nye fullskalaprosjekter vil bruksområdet trolig kunne utvides både med hensyn til plassering og belastning. Innen grøfter er det opparbeidet en del erfaringer. Fullskalaforsøk i NBIs laboratorium har vist at resirkulert tilslag gir den samme lastfordeling og deformasjon under last for fleksible rør, som naturlig pukk. Her er nye fullskala laboratorieforsøk igangsatt hos NBI for å undersøke betydning av kombinert vanntransport og last på resirkulert tilslag i VA-grøfter. Resultatene herfra vil, sammen med målinger av setninger mm. i grøfter i full skala, inngå i den endelige veiledningen fra RESIBA-prosjektet. Vi anbefaler også at man fortsetter utprøving innen områder med liten til moderat belastning, fukttransport og miljøpåkjenninger (tinesalt, vann, frost etc.) for å utvide erfaringsgrunnlaget. Det finnes også andre aktuelle ubundne bruksområder med varierende mengder erfaringer. Etter vårt skjønn er det realistisk å anvende resirkulert tilslag også for fundamentering, tilbakefylling mot grunnmur, jordforbedring og strøsand.

Innen sementbunden bruk viser erfaringer fra RESIBA at innblanding av resirkulert tilslag innenfor grenser gitt av Norsk Betongforening gir konstruksjonsbetong C25/C35 som ikke skiller seg vesentlig fra vanlig betong. Byggherren kunne akseptere bruk av denne betongen uten videre ved fremleggelse av materialdokumentasjon fra betonglaboratoriet. Produksjon og bruk av betong med resirkulert tilslag ble deretter gjennomført i full skala i et større parkeringshus som Veidekke ASA bygger for Telenor på Fornebu. Også produksjon av sprøytebetong (ikke dekket av NS 3473 eller Betongforeningens publikasjon nr. 26 for resirkulert betong) er utført med opptil 20 % av tilslaget erstattet med resirkulert tilslag i finfraksjonen. Etter innledende utprøving i laboratoriet ble et større parti sprøytet ut i et av Veidekkes prosjekter. Erfaringene viste at også sprøytebetongen hadde fullt ut tilfredsstillende produksjonsegenskaper. Det ble også sprøytet ut prøver for kvalitetskontroll i et oppfølgingsprogram utført i NBIs laboratorier. Dette har vist tilfredsstillende mekaniske egenskaper og ytterligere dokumentasjon av tetthet og bestandighet er igangsatt. Vi har også sett på noen erfaringer fra England og

Frankrike med bruk av resirkulert tilslag i produksjon av prefabrikkerte bygningsblokker, og fra Spania med produksjon av ny sement med resirkulert betong i råmelet. Tilfredsstillende produkter ble framstilt i alle tilfeller. Den videre tekniske oppfølging bør konsentreres om langtidsegenskaper, særlig mht. volumstabilitet (svinn, kryp) og bestandighet for ulike betongkvaliteter med varierende innblanding av resirkulert tilslag for å kunne gi informasjon om yttergrensene for eksponering. Erfaringer fra litteraturen viser imidlertid at bestandighet mht. for eksempel sulfatangrep, alkalireaksjoner og frost kan unngås ved riktig materialsammensetning og eksponering.

Laboratorieundersøkelser av materialeegenskaper til resirkulert tilslag fra hele verden har vist tilfredsstillende egenskaper for en rekke bruksområder. Imidlertid har det her vært reist spørsmål angående egnetheten av eksisterende prøvemetoder. Erfaringer med laboratorieprøving av kornfordeling, mekaniske egenskaper (fallprøve), vannmettet/overflatetørt fuktinnhold og frostbestandighet, har avslørt at laboratorieprøving reflekterer egenskapene for resirkulert tilslag dårligere enn for naturlig tilslag. Et viktig hjelpemiddel videre, i tillegg til de nye europeiske prøvemetoder (CEN) som etter hvert foreligger, vil derfor være funksjonsprøving og dimensjonering ved prøving. Dette gjennomføres ved prøving av aktuelle konstruksjoner i tilnærmet 1:1 skala i laboratorium og/eller felt. Instrumentert overvåkning av tilstandsutvikling er her viktig, kfr. erfaringer fra grøfter.

Resirkulert tilslags mulige negative helse- og miljøpåvirkning ved eksponering i naturen som følge av evt. innhold av forurensninger (asbest, PCB, PAH, tungmetaller etc.) undersøkes både i laboratorium og full skala. I dag kontrolleres tungt byggeavfall for bl.a. asbest ved mottak på BA-Gjenvinning sitt resirkuleringsanlegget på Grønmo. Det er imidlertid ønskelig å få til en kontroll av hele kjeden fra inspeksjon av bygg før selektiv riving, demolering, resirkulering og ny bruk. RESIBA arbeider derfor med å utvikle og tilpasse kvalitetssikringssystemer basert på kontroll før riving, mottaks-/produksjonskontroll og kompetansekrav. Det er vist eksempler på parametre og frekvenser for ferdigvarekontroll i godkjenningsordninger fra Nederland, Tyskland samt forslag fra Norsk Betongforening. Det er også gitt oversikt over retningslinjer for kvalitetskontroll og klassifisering av resirkulert tilslag i foreliggende utkast til europeiske produktstandarder for tilslag (CEN) som også blir Norsk Standard. For ferdig produsert resirkulert tilslag arbeider RESIBA bl.a. med ny europeisk (CEN) laboriemetode for måling av utlekking av miljøgifter. I tillegg undersøkes mulighet for utlekking i et fullskala veiprojekt sammen med Statens Vegvesen. Foreløpige laborieresultater viser lave verdier sammenlignet med tyske retningslinjer. Endelige anbefalinger vil foreligge i RESIBAs veiledning som kommer ved prosjektets slutt i 2002.

## 8. REFERANSER

---

- 1 Statistisk sentralbyrå, Bygg- og anleggsavfall 1998 – 1,5 millionar tonn bygg- og riveavfall, Ukens statistikk nr. 50/1999 s.5-6, (<http://www.ssb.no/avfbyggan/>).
- 2 Bøe T.: Pukkverksdrift kontra gjenvinning – kan vi spille på lag ? Seminar ”Resirkulert betong og tegl – en stor bløff eller et kvalitetsprodukt ?” i regi av RESIBA og Akershus Fylkeskommune, Veidekke, Skøyen 25. nov. 1999
- 3 Statens Forurensingstilsyn rapport 97:20, 28 s./9 vedlegg, 1997.
- 4 Jacobsen S.: Deklarasjon av egenskaper for resirkulert tilslag – forprosjekt 1998 (foreløpig rapport pr. 10.12.98), rapport E 7753, 6 s./6 appendiks, NBI, Oslo 1998.
- 5 Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 10 1996, ”Genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1986-1995, Lauritzen E. K., Danmark 1996.
- 6 Nettsider for RGS 90 <http://www.rgs90.dk/>
- 7 ”Til Nederland for å Lære – Demolering og resirkulering av fersk og herdet betong”, BETONGindustrien, nr. 3, 1997 s. 8-10.
- 8 Lillestøl, B. (red.) Utkast reiserapport, RESIBA Studietur til Nederland 28.-30. mars 2000,
- 9 Myhre, Ø., Gjenbruk av masser, foredrag på Anleggsdagene 2000, Gardermoen 19.01.2000
- 10 Statens vegvesen, Håndbok 223 Steinmaterialer til veger - flyplasser – jernbaner, 2000.
- 11 Personlig kommunikasjon, telefonsamtale med Øyvind Trydal, Veidekke ASA, 31.01.00
- 12 Dieseth, B., Gardermoen 19.10.99 (SK-kurs, Statens vegvesen).
- 13 "Betong i vägar - förstudie. Om möligheterna att återvinna betong från husriving", Boverket 1997
- 14 "Betong i vägar - krosstudie. Om möligheterna att återvinna betong från husriving", Boverket 1998
- 15 "Betong i vägar - materialstudie. Om möligheterna att återvinna betong från husriving", Boverket 1999
- 16 King Countys Internett sider, <http://www.metrokc.gov/procure/green/concrete>
- 17 Statens vegvesen, Håndbok 018 Vegbygging, 1999.
- 18 Ydrevik, K., Återvägen. Råd och vägledning för återvinning av krossad betong som ballast i gator och vägar, VTI notat nr. 67-1999
- 19 Vägverket, Publikasjon 1999:161 "Användning av restprodukter i vägbyggnad".
- 20 Use of Reclaimed Concrete in Pavement Structures - Design Manual and Construction Specifications, oversatt og utgitt av SCC VIATEK, feb. 2000
- 21 Federal Highway Administration, User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, <http://www.fhrc.gov/hnr20/recycle/waste/begin.htm>
- 22 WSDOT 1998 Standard Specifications - for Road, Bridge and Municipal Construction, Washington State Department of Transportation, 9-03 Aggregates.
- 23 Department of the Environment, Transport and the Regions, Aggregates Advisory Service ”Secondary and recycled aggregates uses in roads / Construction under existing specifications (Digest 101)”, utarbeidet av Engineering Services Laboratory of Kent County Council og Symonds Travers Morgan (STM), 1997 ([www.planning.detr.gov.uk/aas/index.htm](http://www.planning.detr.gov.uk/aas/index.htm) )
- 24 Statens Vejlaboratorium ”Ubundne bærelag af tegl” Rapport nr. 71, 1993.
- 25 Falkenberg, J. og Faldager, Arbeidsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 41 1993, "Anvendelse av knust tegl og beton som fyld i ledningsgrave”, I. Danmark 1993.
- 26 NBI Byggedetaljer 515.004 Lett kommunalteknikk. Hovedprinsipper, 1992.
- 27 Jonsson E., Ytre belastning på nedgravde fleksible rør, arbeidsrapport 25, NBI, 1979.
- 28 Kleiva, F., Forseth, S., Klevengen, H., Hovedoppgave: Resirkulerte masser i ubunden bruk, NBI og HiO-IU, 1999.
- 29 Gundersen, P., Grunne ledninger - lett kommunalteknikk, NBI og TI, Oslo 1996.
- 30 Internt notat Bjørn Dieseth SvO, Vedlegg til møterefertat 01 i RESIBA DP2, 08.06.99.
- 31 Personlig kommunikasjon, telefonsamtale med Bjørn Dieseth, SvO, 31.01.00.
- 32 Karlsson, M. "Materialgjenvinning av betong - erfaringer fra RiT 2000" Norsk Betongdag, Trondheim 1999.
- 33 NS 3420:1999 Beskrivelsestekster for bygg og anlegg – Del H: Grøfter, rørledninger, kummer og brønner.
- 34 Milvang-Jensen, O. og Berg, F., Haugaard, M., Arbeidsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 89 1997, "Anvendelse av knust tegl og beton som fyld i ledningsgrave i vejarealer, Danmark 1997.
- 35 NS-EN 1610:1998 Utførelse og prøving av avløpsledninger.
- 36 prEN 1046: Plastic piping and ducting systems - Systems outside building structures for the conveyance of water or sewage - Practices for installation above or below ground.
- 37 REN – anbefaling: Kabelforlegning opp til 145kV, REN publikasjon 4.1.v.1, feb 2000.

- 
- 38 NBI Byggedetaljer 515.021 Hovedledninger for vann og avløp. Kostnadsbesparende framføring, forenklet frostdimensjonering, 1989.
- 39 NBI Byggedetaljer 514.221 Fuktsikring av bygninger, 1998.
- 40 NBI Byggedetaljer 511.101 Byggegrunn og terreng, 1988.
- 41 NBI Byggedetaljer 515.131 Utlegging og komprimering av sprengsteinfyllinger, 1988.
- 42 Håndbok 176 Oppbygging av fyllinger, Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 1993.
- 43 NBI Byggedetaljer 521.811 Telesikring av uoppvarmede bygninger og konstruksjoner 1987.
- 44 NBI Byggedetaljer 517.342 Store støttemurer 1994.
- 45 Building Research Establishment, Hardcore, Digest 276, Dept. of the Environment, 1983.
- 46 Lahus, O., Jacobsen, S., Karlsson, M., "Resirkulert tilslag som drenerende masser mot grunnmur", Norges byggforskningsinstitutt og Franzefoss Bruk AS, 1999.
- 47 Basert på møte mellom Lars Skaare fra Veidekke ASA og Arve Knutsen fra Østlandsjord AS 12.01.00.
- 48 Statens Vegvesen, Vegdirektoratet, Vegteknisk avd., intern rapport nr. 2105, 1999.
- 49 Håndbok 188 Veg på bløt grunn - Grunnforsterkning, Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 1995.
- 50 Privat kommunikasjon, Bente Lillestøl, Veidekke ASA (P-hus, Fornebu), januar 2000.
- 51 Privat kommunikasjon, Mats Karlsson, Franzefoss Bruk AS (RiT 2000), desember 1999.
- 52 Farstad, T., Hauck, C.: Rapport under utarbeidelse.
- 53 Norsk betongforenings publikasjon nr. 26, Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon, 1999.
- 54 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 96-97, 1992.
- 55 Lahus, O., Lillestøl, B., "Materialdokumentasjon av C35 NA betong med resirkulert tilslag, Parkeringshus Fornebu", Norges byggforskningsinstitutt, Oppdragsrapport O 9598.222, 8 s., Oslo, 14.01.2000.
- 56 Mukai, T., Kikuchi, m., Ishikawa, N., "Study on the properties of concrete containing recycled concrete aggregates", Cement Association of Japan, 32nd Review, 1978.
- 57 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 99-100, 1992.
- 58 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 101-103, 1992.
- 59 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, 1992.
- 60 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 101-102, 1992.
- 61 Kasai, Y., "Studies into the reuse of demolished concrete in Japan", EDA/RILEM Demo-Recycling Conference. Proc. Vol. 2, Re-Use of Concrete and Brick Materials, Rotterdam, European Demolition Association, Wassenaarsweg 80, 2596 CZ, Den Haag, Nederland, 1985.
- 62 Ivanyi, G., Lardi, R., Esser, A., "Recycling beton", Forschungsbericht aus dem Fachbereich Bauwesen No. 33, Universität-Gesamthochschule, Esse, Deutschland, 1985.
- 63 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, 1992.
- 64 Yoda, K., Yoshikane, T., Nakashima, Y., Soshiroda, T., "Recycled cement and recycled concrete in Japan", Proc. of the Second Int. Symp. On demolition and reuse of concrete and masonry, 2: Reuse of demolition waste, Ed. Y. Kasai, Nihon Daigaku Kaikan, s. 527-536, Tokyo, Japan, Chapman & Hall.
- 65 Kashino, N., Takahashi, Y., "Experimental studies on placement of recycled aggregate concrete", Proc. of the Second Int. Symp. On demolition and reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of demolition waste, Ed. Y. Kasai, Nihon Daigaku Kaikan, s. 557-564, Tokyo, Japan, Chapman & Hall.
- 66 Yanagi, K., Hisaka, M, Nakagawa, M., Kasai, Y., "Effect of impurities in recycled coarse aggregate upon a few properties of the concrete produced with it", Proc. of the Second Int. Symp. On demolition and reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of demolition waste, Ed. Y. Kasai, Nihon Daigaku Kaikan, s. 613-620, Tokyo, Japan, Chapman & Hall.
- 67 Yamato, T. Emomto, Y., Soeda, M., Sakamoto, Y., "Some properties of recycled aggregate concrete", Proc. of the Second Int. Symp. On demolition and reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of demolition waste, Ed. Y. Kasai, Nihon Daigaku Kaikan, s. 643-651, Tokyo, Japan, Chapman & Hall.
- 68 Mukai, T., Kikuchi, M., "Properties of reinforced concrete beams containing recycled aggregate", Proc. of the Second Int. Symp. On demolition and reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of demolition waste, Ed. Y. Kasai, Nihon Daigaku Kaikan, s. 670-679, Tokyo, Japan, Chapman & Hall.
- 69 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 96-97, 1992.
-

- 
- 70 Salem, R. M., Burdette, E. G., "Role of Chemical and Mineral Admixtures on Physical Properties and Frost-Resistance of Recycled Aggregate Concrete", *ACI Materials Journal*, V. 95, No. 5, s. 558-563, September-October 1998.
- 71 Hansen, T.C, Narud, H., "Strength of recycled concrete made from crushed concrete, coarse aggregate", *Concrete International – Design and Construction*, 5, No. 1, s. 79-83, 1983.
- 72 Nixon, P.J., "Recycled concrete as an aggregate for concrete - a review", *RILEM TC-37-DRC, Materials and Structures*, 65, pp. 371-378, 1978.
- 73 Ikeda, T., Yamane, S., Sakamoto, A., "Strengths of concrete containing recycled aggregate", *Proc. of the Second Int. Symp. On demolition and reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of demolition waste*, Ed. Y. Kasai, Nihon Daigaku Kaikan, s. 585-594, Tokyo, Japan, Chapman & Hall.
- 74 *Recycled materials in concrete construction. Fields of application, development tendencies and quality assurance*, BFT, No. 4, 1999.
- 75 Pauw, C., de, "Fragmentation and recycling of reinforced concrete. Some research results", Kap. 5.3.2 i *Adhesion Problems in the Recycling of Concrete*. Ed. P. Kreijger, NATO Conference Series IV – Material Science, Plenum Press, New York, 1981.
- 76 B.C.S.J., "Study of recycled aggregate and recycled aggregate concrete", *Building Contractors Society of Japan, Committee on Disposal and Reuse of Concrete Construction Waste, Summary in Concrete Journal*, 16. No. 7, s. 18-31, Japan, 1978.
- 77 Frondistou-Yannas, S., "Waste concrete as aggregate for new concrete", *ACI Journal*, s. 373-376, 1977.
- 78 Gerardu, J.J.A., Hendriks, C.F., "Recycling of road pavement materials in the Netherlands", *Rijkswaterstaat Communications*, No. 38, Den Haag, 1985.
- 79 Ravindrarajah, R.S., Tam, T.C., "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate", *Magazine of Concrete Research*, 37, No. 130.
- 80 Schulz, ??? *Proc. of the Second Int. Symp. On demolition and reuse of concrete and masonry, 2: Reuse of demolition waste*, Ed. Y. Kasai, Nihon Daigaku Kaikan, s. 585-594, Tokyo, Japan, Chapman & Hall.
- 81 Ravindrarajah, R.S., Loo, Y.H., Tam, C.T., "Recycled concrete as fine and coarse aggregates in concrete", *Magazine of Concrete Research*, 39, No. 141, s. 214-220, 1987.
- 82 Hansen, T.C, Boegh, E., "Elasticity and drying shrinkage of recycled aggregate concretes", *ACI Journal*, s. 648-652, 1985.
- 83 Acker, A., van, "Recycling of concrete at a precast concrete plant", *Proc. of the Int. Symp. Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*, Ed. Ravindra K. Dhir, Neil A. Henderson and Mukesh C. Limbachiya, University of Dundee, s. 321-332, Dundee, 1998.
- 84 Lillestøl, B.: RESIBA - med verdens første resirkulerte sprøytebetong, *BETONGindustrien* nr. 3 1999.
- 85 Karlsson, M., "Reactivity in mortar phase in recycled concrete aggregate", *Proc. of the Int. Symp. Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*, Ed. Ravindra K. Dhir, Neil A. Henderson and Mukesh C. Limbachiya, University of Dundee, s.197-203, 1998.
- 86 Norsk betongforenings publikasjon nr. 7, *Sprøytebetong til fjellsikring*, 1999.
- 87 Pimienta P. et al.: *Recycled aggregate used for making building blocks, Sustainable Construction – use of recycled aggregates*, Proc. Thomas Telford, UK 1998 pp. 297-307
- 88 Collins R. et al.: *Blocks with recycled aggregate*, BRE Information paper 14/98 5 p., UK 1998.
- 89 Norsk Leca: *Miljøeffektive Lecaprodukter. Et ØkoBygg prosjekt. Sluttrapport 1999*, 26 s.
- 90 JA Sanchez, S Tudanca: *Reuse of building rubble in cement manufacturing*, *Proc. of the Int. Symp. Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*, Ed. Ravindra K. Dhir, Neil A. Henderson and Mukesh C. Limbachiya, University of Dundee, s.481-491, 1998.
- 91 ALT-MAT Deliverable D3 *Litterature Review Volum 1*, Report No. WP1.SGI.003, Ver. 2.0, 1999.
- 92 *ASTM User Guidelines for Waste and By-Product Materials Use in Pavement Construction*, <http://www.tfhr.gov/hnr20/recycle/waste>
- 93 *Vagverket Väg-94, Publikasjon 1994:21-30*, 1994.
- 94 *Nordtest: Provningsmetoder anpassade för återvinningsprodukter - Kornstorleksfördelning*, Nordtest rapport Nr. 1292-96, 1996.
- 95 *Statens vegvesen, Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser 1999*.
- 96 Aurstad, J., "Testing av knuste betongmaterialer fra RiT, trinn 1", *SINTEF - notat*, 1999-04-27.
- 97 *CEN/TC 154, A study of the characteristic leaching behaviour of hardened concrete use in natural environment*, N 704 E, 1999.
- 98 *Statens forurensningstilsyn, Miljøskadelige stoffer i bygg og anleggsavfall*, 1993.
- 99 *NBI Byggforvaltning 700.804 Riving av bygninger. Planlegging og 700.806 Riving av bygninger. Planlegging og Gjennomføring*.
- 100 *Norsas (red.), Miljøriktig riving – et ledd i byggets kretsløp*, Kommuneforlaget, 1999.
- 101 *ØkoBygg Miljøsaneringsveileder. Håndbok i miljøsanering av bygninger*, Grip senter 1999, 55 s.
-

- 
- 102 Statens forurensningstilsyn; PCB i bygningsmaterialer, rapport 98:09, 1998.
  - 103 Statens forurensningstilsyn; Risikovurdering av forurenset grunn, veiledning 99:01a, 1999.
  - 104 Statens forurensningstilsyn; Risikovurdering av forurenset grunn, eks. samling, veil. 99:01b, 1999.
  - 105 CEN/TC 154, Leaching test of aggregates, prEN 1744-3, N 649 E, 1998.
  - 106 CEN/TC 292, Characterization of waste, prEN 12457, 1999.
  - 107 Østerriksk standard; ÖNI, S 2072, 1990.
  - 108 Fransk standard; NF X 31-210.
  - 109 Dutscher ausschuss für stahlbeton, DafStb: Richtlinie "Beton mit rezykliert Zuschlag", Entwurf Stand Juli 1998, German Committee for Reinforced Concrete, DafStb: Guideline "Concrete with Recycled Aggregates", Draft Status 1998.
  - 110 Engelsen C. Foreløpige resultater prosjekt RESIBA, utlekkings tester på materialer fra NBI rapport 10.12.98
  - 111 prEN1367-1 Tests for thermal and weathering properties of aggregates – Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing, dec. 1998, 11 p.
  - 112 Jacobsen S.: Recycled and Porous Aggregate in Wet Frost Testing, 3rd Nordic Research Seminar on the Frost Resistance of Building Materials, Lund, Aug.31-Sept.1 (1999), Proc. report TVBM 3087, pp.69-74 LTH, Sweden, 1999.
  - 113 Draft prEN 13242 Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction, CEN, April 1998 (Norsk utgave 22.05.1998).
  - 114 Verbeck G., Landgren R.: Influence of physical characteristics of aggregates on frost resistance of concrete, PCA Res. Dept. Bull 126, 1960
  - 115 Dillman R.: Freeze/thaw resistance of concrete with recycled aggregate, Proc. Internat. RILEM workshop Frost resistance of Concrete (ed.M.Setzer )Rilem Proc. 34, pp.73-80, 1997.
  - 116 Hilsdorf H.K. et al.: Investigations of freeze/thaw resistance of recycling concrete, Proc. Internat. RILEM workshop Frost resistance of Concrete (ed.M.Setzer ), Rilem Proc. 34, pp. 61-72, 1997.
  - 117 Berube M.A et al.: Frost-resistance of concrete incorporating aggregates made of recycling concrete, Proc. Three-Day CANMET/ACI Int. Symp. On Sustainable Development of the Cement and Concrete Industry, Ottawa, Oct. 21-23 1998, pp.163-178, 1998.
  - 118 Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 87-91, 1992.
  - 119 Embacher R.: Mitigation of recurrent D-cracking in portland cement concrete comprising recycled aggregate, Draft. Proceedings Minneapolis workshop on frost damage in concrete, RILEM TC IDC/University of Minnesota/Minnesota DOT, 1999, pp. 221-234.
  - 120 NBI Byggetaljer A520.067 Frostnedbrytning av betong og andre porøse byggematerialer 8 s., 1999.
  - 121 RILEM Recommendation 121-DRG, Specifications for concrete with recycled aggregate, Materials and Structures 25, 1994, pp.557-559.
  - 122 Nishibayashi, S., Yamura, K., "Mechanical properties and durability of concrete from recycled aggregate prepared by crushing", s. 652-659., Proc. of the Second Int. Symp. On demolition and reuse of concrete and masonry, 2: Reuse of demolition waste, Ed. Y. Kasai, Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, Chapman & Hall.
  - 123 Norsk betongforenings publikasjon nr. 21, Bestandig betong med alkalireaktivt tilslag, 1996.
  - 124 Verbeck G.J., Gramlich C.: Osmotic studies and hypothesis concerning alkali aggregate reaction, PCA Research Departement Bulletin 57, 1956.
  - 125 Kikuchi, M., Miura, T., Dosho, Y., Narikawa, M., "Application of recycled aggregate concrete for structural concrete. Part 1-Experimental study on the quality of recycled aggregate concrete", Proc. of the Int. Symp. Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate, Ed. Ravindra K. Dhir, Neil A. Henderson and Mukesh C. Limbachiya, University of Dundee, s. 55-68, Dundee, 1998.
  - 126 Dillmann, R., "Concrete with recycled concrete aggregate", Proc. of the Int. Symp. Sustainable construction: Use of Recycled Concrete Aggregate, Ed. Ravindra K. Dhir, Neil A. Henderson and Mukesh C. Limbachiya, University of Dundee, s. 239-253, Dundee, 1998.
  - 127 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 92-93, 1992.
  - 128 Biczók I. Concrete corrosion – concrete protection, Akademiai Kiado, Budapest, 545 p., 1972.
  - 129 Kontrollrådet for betongprodukter: Klasse P - Betongtilslag - Metoder for prøving av betongtilslag, Oktober 1998.
  - 130 Provningsmetoder anpassade för återvinningsprodukter - Kornstorleksfördelning, Nordtest remiss nr. 1292-96, SP rapport 1997:08, 1997.
  - 131 Plan- og bygningsloven av 14 juni 1985 nr. 77 med endringer, sist ved lov 9 januar 1998 nr.5.
  - 132 Teknisk forskrift etter plan- og bygningsloven av 14 juni 1985 nr. 77 med endringer, senest ved forskrift 13 desember 1999 nr.1296.
-



- 
- 133 Forurensningsloven, lov av 13 mars 1981 nr.6 om vern av forurensning og avfall senest endret 21 juni 1996.
  - 134 Spesialavfallsforskriften, fastsatt av miljøverndepartementet 19 mai 1994 med endringer av 10 september 1996.
  - 135 Kommunal styring av produksjonsavfall, vedtatt av Oslo bystyret 30 nov. 1994 med endringer i bystyrevedtak.
  - 136 Forskrift om bakkeplanering av 3 april 1989 fastsatt av Miljøverndepartementet.
  - 137 Arbeidsmiljøloven, lov om arbeidervern og arbeidsmiljø m. v. Av 4 februar 1977 nr.4.
  - 138 Forskrift om systematisk helse-, miljø og sikkerhetsarbeid i virksomheter, fastsatt av Kommunal- og regionaldepartementet 12.06.1996 nr. 1127.
  - 139 Byggherreforskriften, forskrifter om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- og anleggsplasser av 21 april 1995.
  - 140 Kommunehelsetjenesteloven: Lov om helsetjeneste i kommunen av 19. Nov. 1982 nr. 66.
  - 141 Oslo kommune, Samferdselsetaten, Brev til Oslo vann- og avløpsverk vedr. Gjenfyllingsmasser – Resirkulert betongmasse, 09.07.99.
  - 142 Dansk Betonforening, Recommendations for the use of recycled aggregates for concrete in passive environmental class, Publication no. 34, 1990.
  - 143 Statens Vejlaboratorium Vejdirektoratet, Ubundene bærelag af knust tegl – vejledning, leveringsbetingelser, almindelig arbejdsbeskrivelse, Rapport 71, 1993.
  - 144 NEN 5905 Toeslagmaterialen voor beton. Materialen met een volumieke massa van ten minste 2000 kg/m<sup>3</sup>, Nederlands Normalisatie-instituut, 1997.
  - 145 prEN12620 Aggregates for concrete, ver. 98.11.25 (TG2-357/TG3-118 12 s.), 1998.
  - 146 prEN13043 Aggregates for bituminous mixtures and surface dressings for roads and other trafficked areas.
  - 147 Proposed amendments to prEN 13242 ver. 98.05.01 (TG 2-359/TG3-120, 11 s.), prEN13043 ver 98.01.21 (TG2-358/TG3-119, 14 s.), prEN12620 ver.98.11.25 (TG2-357/TG3-118 12 s.).
  - 148 <http://www.nbr.no>
  - 149 Final technical report of the CEN/TC 154 ad hoc group for recycled aggregates, Doc. N484 E 17. sept. 1998, 16 s.
  - 150 Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-productcertificaat voor BSA-granulaten voor toepassing in de betongbouw en wegwnbouw, BRL 2506, (nederlands produkssertifiseringsordning), 17.06.1999.

