

Olav Lahus (NBI), Bente Lillestøl og Christine Hauck (Veidekke ASA), Tom Farstad (NBI), Carl Henrik Borchsenius (Optiroc Norsk Leca AS)

Bruk av resirkulert tilslag i sementbaserte produkter

RESIBA – prosjektrapport 07/2002



Prosjektrapport 330
Olav Lahus, Bente Lillestøl, Christine Hauck, Tom Farstad, Carl
Henrik Borchsenius
Bruk av resirkulert tilslag i sementbaserte produkter
RESIBA - prosjektrapport 07/2002

Emneord: Gjenvinning, miljø, betong, BA-avfall, resirkulert
tilslag, bunden bruk, konstruksjonsbetong, sprøytebetong,
byggningsblokker

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0769-7

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

© Copyright Norges byggforskningsinstitutt 2002

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

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

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

FORORD

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

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

RESIBA består av følgende delprosjekter:

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

Denne prosjektrapporten inngår i en serie rapporter fra RESIBA:

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

Sammendrag av hver prosjektrapport blir lagt ut på prosjektets nettsider www.byggforsk.no/Prosjekter/RESIBA

Komplette rapporter bestilles hos Norges byggforskningsinstitutt.

Forfattere av denne prosjektrapporten er Olav Lahus (Norges byggforskningsinstitutt), Bente Lillestøl og Christine Hauck (Veidekke ASA), Carl Henrik Borchsenius (Optiroc Norsk Leca AS) og Tom Farstad (Norges byggforskningsinstitutt) med Olav Lahus som redaktør. Viktige bidrag og hjelp til utarbeidelse av rapporten er kommet fra Lars Skaare (Veidekke ASA) og Edgar Dønåsen (BA Gjenvinning).

Oslo, mars 2002

Jacob Mehus
Prosjektleder RESIBA

SAMMENDRAG

Denne prosjektrapporten omhandler bruk av resirkulert tilslag i betong, såkalt bunden bruk. I prosjektet er resirkulert tilslag benyttet i konstruksjonsbetong, sprøytebetong og bygningsblokker både i fullskalaprosjekter og i laboratoriet.

Utover de grenseverdier som er gitt i Norsk Betongforenings publikasjon nr. 26 "Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon" om resirkulert tilslag for bruk i betong i miljøklasse NA/LA, ble det i RESIBA-prosjektet foretatt undersøkelser for å finne begrensninger både med hensyn til høyere innblandingsprosent og ulike betongkvaliteter. Heri inngikk både utvidede laboratorieforsøk og langtidsoppfølging av eksisterende fullskalaprosjekter. Resultatene viste at betong med innblanding av resirkulert betongtilslag varierende fra 0 til 100 % av det grove tilslaget (10-20 mm) ikke skilte seg vesentlig fra vanlig betong med hensyn til produksjon og utstøping. Betongens mekaniske egenskaper og bestandighetsegenskaper ble i begrenset grad endret som følge av innblanding av resirkulert grovt tilslag.

Fullskalaforsøk med bruk av opptil 20 % resirkulert tilslag (0-4 mm) i sprøytebetong var vellykket. Forsøkene medførte ikke her vesentlige endringer i fersk og herdet betongs egenskaper utover en reduksjon på ca. 18 % i trykkfasthet av støpte terninger med resirkulert tilslag. Dette korrelerer med observert reduksjon i bøyestrekfasthet (ca 15 %).

Prøveproduksjon av bygningsblokker med opptil 30 % resirkulert tilslag (4-8 mm), gikk uten tekniske problemer, og produsenten ønsket å videreføre bruken av resirkulert tilslag i blokkproduksjonen dersom resirkulert tilslag var tilgjengelig til tilfredsstillende pris og kvalitet. Markedets etterspørsel etter slike produkter ble vurdert som avgjørende for videre produksjon.

Økonomiske beregninger viste at bruk av resirkulert tilslag sammenlignet med naturlig tilslag i konstruksjonsbetong, sprøytebetong og bygningsblokker ikke medførte økte kostnader i prosjektene.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
INNHOLDSFORTEGNELSE	5
1. INNLEDNING	7
2. RESIRKULERT TILSLAG	8
3. RESIBA	9
4. BRUKSOMRÅDER OG ERFARINGER	10
4.1 EN MILLION TONN PER ÅR Å TA AV.....	10
4.2 POTENSIAL - RESIRKULERT BETONG I NY BETONG	10
4.3 RESIBA-PROSJEKTER.....	10
4.3.1 <i>Konstruksjonsbetong</i>	10
4.3.2 <i>Sprøytebetong</i>	12
4.3.3 <i>Produksjon av bygningsblokker</i>	12
4.4 ANDRE NASJONALE ERFARINGER	13
4.4.1 <i>Hulldekkeelementer fra Contiga til Pilestredet Park, Oslo</i>	13
4.4.2 <i>Gjenvinning av tunge byggematerialer</i>	14
4.4.3 <i>Hvor rent er rent nok ?</i>	14
4.4.4 <i>Bygg- og anleggsavfall i Oslo og Akershusregionen</i>	14
5. REGELVERK OG RETNINGSLINJER	15
5.1 OVERSIKT OVER TEKNISKE SPESIFIKASJONER	15
5.2 STANDARDISERING AV RESIRKULERT TILSLAG	15
5.3 NASJONALE RETNINGSLINJER	16
6. KONSTRUKSJONSBETONG	18
6.1 INNLEDNING	18
6.1.1 <i>Resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong</i>	18
6.2 P-HUS FORNEBU	19
6.2.1 <i>Innledning</i>	19
6.2.2 <i>Forsøksprogram</i>	19
6.2.3 <i>Resepter og materialer</i>	23
6.3 SØRUMSAND VIDEREGÅENDE SKOLE	27
6.3.1 <i>Innledning</i>	27
6.3.2 <i>Forsøksprogram</i>	27
6.3.3 <i>Resepter og materialer</i>	28
6.4 RESULTATER OG VURDERINGER.....	29
6.4.1 <i>Materialsammensetning og kornfordeling</i>	29
6.4.2 <i>Synk</i>	30
6.4.3 <i>Densitet og luftinnhold</i>	32
6.4.4 <i>Trykkfasthet</i>	34
6.4.5 <i>E-modul</i>	35
6.4.6 <i>Svinn</i>	37
6.4.7 <i>Frost</i>	38
6.4.8 <i>Vanninntrengning</i>	39
6.4.9 <i>Kapillær absorpsjon</i>	39
6.4.10 <i>Karbonatisering</i>	41
7. SPRØYTEBETONG	42
7.1 BRUK AV RESIRKULERT TILSLAG I SPRØYTEBETONG.....	42

7.2	FORSØKSPROGRAM.....	42
7.2.1	<i>Resepter og materialer</i>	42
7.2.2	<i>Prøveprogram</i>	43
7.3	RESULTATER OG VURDERINGER.....	46
7.3.1	<i>Erfaringer fra betongstasjon og felt</i>	46
7.3.2	<i>Trykkfasthet</i>	46
7.3.3	<i>Bøystrekfasthet og bruddseighet</i>	47
7.3.4	<i>Vanninntrengning</i>	47
7.3.5	<i>Kapillærabsorpsjon</i>	48
7.3.6	<i>Frostbestandighet</i>	48
8.	BYGNINGSBLOKKER.....	50
8.1	BRUK AV RESIRKULERT TILSLAG I BYGNINGSBLOKKER.....	50
8.2	FORSØKSPROGRAM.....	50
8.3	RESEPTER OG MATERIALER.....	50
8.3.1	<i>Resirkulert masse</i>	50
8.3.2	<i>Gjennomføring</i>	50
8.3.3	<i>Produksjon</i>	50
8.4	RESULTATER OG VURDERINGER.....	51
8.4.1	<i>Resirkulert masse</i>	51
8.4.2	<i>Ferdig produkt</i>	51
8.4.3	<i>Videre produksjon</i>	51
9.	ØKONOMI.....	52
9.1	GENERELLE FAKTORER.....	52
9.1.1	<i>Pris på resirkulert tilslag og transportavstand</i>	52
9.1.2	<i>Sementsiloer</i>	52
9.1.3	<i>Tilslagssiloer</i>	52
9.1.4	<i>Behov for utvidet prøvetaking</i>	52
9.2	KONSTRUKSJONSBETONG.....	53
9.2.1	<i>P-hus Fornebu</i>	53
9.2.2	<i>Sørumsand videregående skole</i>	53
9.3	SPRØYTEBETONG.....	54
9.3.1	<i>Materialpriser</i>	55
9.4	BYGNINGSBLOKKER.....	55
10.	KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER.....	56
10.1	KONSTRUKSJONSBETONG.....	56
10.2	SPRØYTEBETONG.....	57
10.3	BYGNINGSBLOKKER.....	57
10.4	ØKONOMI.....	58
11.	REFERANSE.....	59

1. INNLEDNING

Resultater, konklusjoner og anbefalinger fra RESIBA-prosjektet presenteres gjennom prosjektrapporter og en felles veiledning som vil bygge på prosjektrapportene.

Denne prosjektrapporten omhandler bruk av resirkulert tilslag i betong, såkalt bunden bruk. Prosjektet omfatter bruk av resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong og sprøytebetong samt til produksjon av bygningsblokker hvor både felt- og laboratorieforsøk inngår.

Totalt produseres det årlig ca. 1,5 millioner tonn tungt byggeavfall i Norge. Av dette utgjør betong og tegl ca. 2/3, altså en million tonn. Oslo og Akershus alene produserer ca. 250 000 tonn avfall fra betong og tegl i året. Til sammenligning produseres det i Norge hvert år 60 millioner tonn naturlig sand og stein. Av dette går ca. 10 %, altså 6 millioner tonn, til betongproduksjon.

Erfaringer fra laboratorium, fullskalaforsøk og bruk i byggeprosjekter, viser at betong med resirkulert grovt tilslag ikke skiller seg vesentlig fra vanlig betong mht. produksjon og utstøping¹. Utover de grenseverdier som er gitt i Norsk Betongforenings publikasjon nr. 26 "Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon" om resirkulert tilslag for bruk i miljøklasse NA/LA, har RESIBA foretatt undersøkelser for å finne begrensninger både mht. høyere innblandingsprosent og ulike betongkvaliteter. Heri inngår både utvidede laboratorieforsøk og langtidsoppfølging av eksisterende fullskalaerfaringer. Andre aktuelle bruksområder er prefabrikkerte bygningsblokker og sprøytebetong; som også er undersøkt i prosjektet.

De gjennomførte undersøkelsene er i første rekke knyttet opp mot følgende fire prosjekter:

1. Telenors P-hus på Fornebu i Oslo (ca. 40.000 m² / 2500 parkeringsplasser)
Bruksområde: Fundamenter
Byggherre: Telenor
2. Sørumsand videregående skole i Akershus (ca. 13.000 m²).
Bruksområde: Fundamenter og banketter samt kjellervegger og søyler
Byggherre: Akershus fylkeskommune
3. Ekspandert polystyren (EPS) fylling for Gaustadtrikken i Gaustadbekkdalen i Oslo
Bruksområde: Tildekking av en EPS- fylling med sprøytebetong
Byggherre: Oslo Sporveier
4. Bygningsblokker, prøveproduksjon
Bruksområde: Lydskilleblokk

2. RESIRKULERT TILSLAG

I prosjektrapportene fra RESIBA har vi konsekvent brukt ”resirkulert tilslag” i overensstemmelse med det europeiske standardiseringsorganet CENs betegnelse (eng.: recycled aggregate)^{2,3}. Dette samsvarer med definisjon gitt i forslag til terminologiliste fra Pukk- og Grusleverandørenes Gjenvinningsforum der resirkulert tilslag er definert som: ”Tilslag fra bearbeidelse av inerte materialer tidligere brukt i bygg- og anleggsbransjen”⁴.

Produksjon av resirkulert tilslag baseres på bearbeiding (ofte nedknusing og sikting) av betong- og teglavfall fra BAE-næringen (bygg-, anleggs- og eiendomsnæringen). I Norge utgjør avfallet fra denne næringen mer enn 1,5 mill. tonn årlig, hvorav ca. 1 mill. tonn er betong og tegl⁵. I tillegg kommer store mengder av andre masser fra utgraving o.l., i størrelsesorden 10 – 15 millioner tonn⁶. Resirkulert tilslag er vanligvis ulike sorteringer av blandede masser (både betong og tegl) og ren betong. Eksempler på sorteringer er 0-10, 10-20, 20-38 og 38-120 mm.

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

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

3. RESIBA

RESIBA (Resirkulert tilslag for bygg og anlegg) er et tre-årig ØkoBygg-prosjekt (1999-2002) som har knyttet til seg noen av BAE-næringens mest sentrale aktører⁷. Både kunde- og leverandørsiden, det offentlige og forskningsmiljøer er representert.

RESIBA-prosjektets overordnede mål er å bidra til økt bruk av resirkulerte tilslag på en rekke områder innenfor bygg, anlegg og eiendom. RESIBA er delt inn i tre delprosjekter:

– *Delprosjekt 1: Deklarasjon og kvalitetskontroll.*

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

– *Delprosjekt 2: Demonstrasjonsprosjekter.*

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

– *Delprosjekt 3: Kunnskapsformidling.*

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

Denne rapporten er utarbeidet som en del av aktiviteten i delprosjekt 2.

4. BRUKSOMRÅDER OG ERFARINGER

4.1 En million tonn per år å ta av

Totalt produseres det årlig ca. 1,5 millioner tonn tungt byggeavfall i Norge (Figur 4-1). Av dette utgjør betong og tegl ca. 2/3, altså en million tonn. Oslo og Akershus produserer ca. 250 000 tonn avfall fra betong og tegl i året⁵.



Figur 4-1. Etter knusing og siktig hos BA Gjenvinning blir betongavfallet til fullt brukbart tilslag (Foto: Bente Lillestøl, Veidekke ASA)

Til sammenligning produseres det i Norge hvert år 60 millioner tonn naturlig sand og stein. Av dette går ca. 10 %, altså 6 millioner tonn, til betongproduksjon. Dette innebærer at de største miljøgevinstene i dag sannsynligvis ligger i ubunden bruk i veier, parkeringsplasser og grøfter, samt fundamentering og tilbakefylling for bygg og ikke i tilknytning til betongproduksjon.

4.2 Potensial - resirkulert betong i ny betong

Potensialet for bruk av de største mengdene resirkulert tilslag ligger som nevnt i punkt 4.1 antagelig i ubunden bruk, men også bruk av resirkulert tilslag i f.eks. konstruksjonsbetong kan potensielt ta unna store mengder. Følgende eksempel illustrer dette:

Årlig produseres det ca. to millioner kubikkmeter betong i Norge, hvorav 700.000 kubikkmeter i Oslo-regionen. De mest aktuelle betongkvaliteter for bruk av resirkulert tilslag er per dato C35 og lavere. Disse kvalitetene utgjør ca. 68 % av det totale volumet, dvs. 476.000 kubikkmeter i Osloregionen. Iht. Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 26 kan en uten videre beregninger erstatte 20 % av det grove tilslaget med resirkulert betongtilslag. Ved å erstatte 20 % av det grove tilslaget med resirkulert betong i all ny betong \leq C35 i Oslo-regionen, vil vi årlig bruke 86 000 tonn resirkulert betongtilslag, og samtidig redusere forbruket av naturlig pukk med samme mengde.

4.3 RESIBA-prosjekter

4.3.1 Konstruksjonsbetong

For konstruksjonsbetong er det foretatt relativt omfattende forsøk, både i laboratorium og i felt. Det er gjennomført undersøkelser der betong (C35 NA og C45

NA) er tilsatt resirkulert tilslag. Det er i disse forsøkene gjort sammenlignende undersøkelser mellom referansebetong og betong med økende mengde resirkulert pukk opp til 100 %. Det er tatt prøver av tilslag, fersk- og herdet betong.

Fornebu

Det er utført fullskalaforsøk på Telenors P-hus på Fornebu som er bygd av Veidekke. Her ble det vinteren 2000 støpt omlag 25 fundamenter i C35 NA betong der 20 % av pukken ble erstattet med resirkulert ren betong²¹²⁰ (Figur 4-2).



Figur 4-2 Støp av fundament med 20 prosent resirkulert tilslag på Fornebu (Foto: Bente Lillestøl, Veidekke ASA)

Sørumsand videregående skole

På Sørumsand videregående skole, som Veidekke bygger for Akershus Fylkeskommune, ble det høsten 2001 brukt resirkulert betong i en tredjedel av konstruksjonsbetongen (Figur 4-3). Både det at betong med resirkulert tilslag var beskrevet som hovedalternativ i anbudet, samt at det ble brukt en så høy andel som 37 % resirkulert pukk i den nye betongen, er nytt i norsk sammenheng. Betongen er brukt i fundamenter, kjellervegger og søyler i halve kjelleren. I tillegg er det i ubunden form brukt resirkulert betong som oppfylling under kjeller og i oppbyggingen av veier og plasser. Det er også planlagt bruk av Leca lydskilleblokker som inneholder 30 % resirkulert tilslag.



Figur 4-3. 37 % av grovt tilslag er erstattet med resirkulert tilslag i fundamenter, vegger og søyler på Sørumsand skole (Foto: Bente Lillestøl og Christine Hauck, Veidekke ASA)

4.3.2 Sprøytebetong

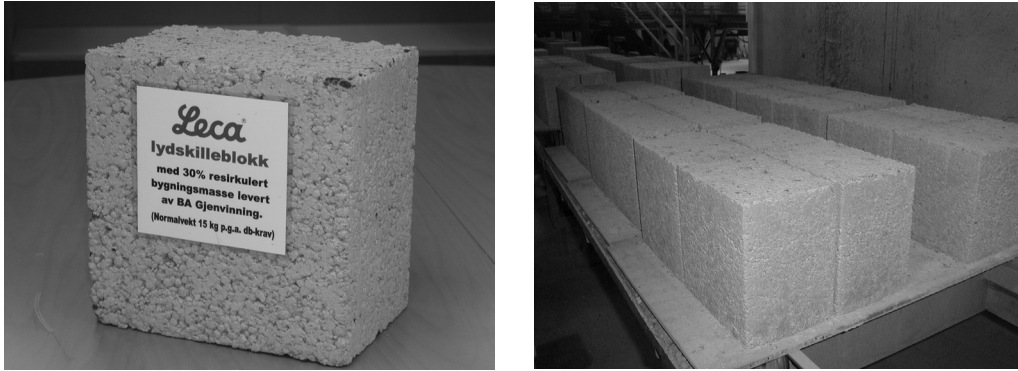
Totalt sprøytes det ca. 50 000 m³ sprøytebetong (våtsprøyting) i Norge per år. Resirkulert tilslag i sprøytebetong ble første gang benyttet i Norge i forbindelse med sprøyting på en ekspandert polystyren (EPS) fylling, på Oslo Sporveiers nye anlegg i Gaustadbekkdalen, utført av Veidekke ASA (Figur 4-4). Totalt 20 % av sanden i sortering 0-8 mm ble erstattet med resirkulert tilslag (knust betong og tegl fraksjon 0-4 mm). I forkant ble tilslag og resept utprøvd på laboratorium hos NBI og Veidekke. Utførelsen fungerte godt, og sprøytebetongen var i henhold til forutsatt kvalitet.



Figur 4-4. Sprøytebetong med resirkulert tilslag på Gaustadbekkdalen (Foto: Ole R. Paulsen, Veidekke ASA)

4.3.3 Produksjon av bygningsblokker

Optiroc AS produserte i september 2000 Leca lydskilleblokk med opptil 30 % resirkulert tilslag (Figur 4-5). BA Gjenvinning sto for levering av det resirkulerte tilslaget i sortering 4-8 mm. Både prøveproduksjon, prøving og produksjon ble utført hos Norsk Leca AS, Lillestrøm. Det ble totalt produsert ca. 10 m³ lydskilleblokker som tilfredsstillt kravene til dette produktet.



Figur 4-5 Optirocs Leca lydkilleblokk med 30 % resirkulert tilslag (Foto: Bente Lillestøl, Veidekke ASA og Optiroc AS)

4.4 Andre nasjonale erfaringer

Generelt har betongbransjen i Norge relativt lite erfaring med bruk av resirkulert tilslag i betong. Også andre aktører har utført forsøk og fullskala produksjon av betong med resirkulert tilslag i tillegg til deltagerne i RESIBA-prosjektet. Disse er kort omtalt i punkt 4.4.1 til 4.4.4

4.4.1 Hulldekkeelementer fra Contiga til Pilestredet Park, Oslo

Utgangspunktet for produksjonen av hulldekkeelementer med resirkulert tilslag var anbudet på leveransen av hulldekkeelementer til prosjektet Pilestredet Park i Oslo. Det var her et krav at 25 vektprosent av elementene skulle være resirkulert materiale.

Elementene som er brukt i Pilestredet Park, er produsert med 25 vektprosent resirkulert tilslag i sortering 8-16 mm^{8,9}. Det resirkulerte tilslaget produseres fra egne betongrester som sendes fra Contigas fabrikk i Moss til MasseGjenbruksSenteret i Fredrikstad. Der demoleres kapp fra hulldekker og annen restbetong ved å pigge ut spenntau og armering, og deretter knuse og sikte betongen til resirkulert tilslag. Tilslaget sendes så tilbake til Contiga og brukes i produksjon av miljødekkeelementer. Under produksjonen tas det prøver av tilslaget gjennom siktekurver, absorbert vann, densitet og sulfat- og kloridinnhold. I tillegg kontrolleres betongens 28-døgns fasthet. Prøvene viser gode resultater.

Contiga bruker i dag kun resirkulert tilslag fra egen restbetong. Denne restbetongen er begrenset, og det er et mål å redusere mengden restbetong så mye som mulig. Contiga har også installert anlegg for gjenvinning av slamvann i betongproduksjonen.

I forkant av fullskalaproduksjonen av hulldekkeelementer til Pilestredet Park, ble det utført laboratorieforsøk med C55 betong med 75 % resirkulert pukk.

Contiga har også i samarbeid med Norcem og Østfoldforskning utarbeidet miljøvaredeklarasjon for forskjellige elementtyper i betong. For hulldekker er det utarbeidet miljøvaredeklarasjon, type III.

4.4.2 *Gjenvinning av tunge byggematerialer*

Prosjektet har vært ledet av Franzefoss Bruk AS og støttet økonomisk av Norges Forskningsråd via NORMIL 2000. Det utviklet et gjenvinnings- og resirkuleringskonsept for tunge byggematerialer og fokuserte 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/>

4.4.3 *Hvor rent er rent nok ?*

Prosjektet ble initiert av Franzefoss Bruk og delvis støttet økonomisk av ØkoBygg. Med utgangspunkt i spørsmålet "Hvor rent er rent nok ?" var målet å utvikle retningslinjer for å vurdere om en konstruksjon kan materialgjenvinnes med lønnsomhet. Utgangspunktet for prosjektet var behovet for å dokumentere at gjenvinningsproduktene er "rene nok", både med hensyn til kvalitet på det endelige produktet og miljøet. Ved å utvikle praktiske og enkle testmetoder, og ved å stille krav og grenseverdier for kvalitetskontroll av bygg og veier, skulle prosjektet være med på å sikre at materialene som leveres til mottak, er rene for kjemisk forurensning. En viktig del av prosjektet var å prøve ut testmetoder og kvalitetssystemer i demonstrasjons- og markedsprosjekter. Prosjektperiode: 01.01.2000-01.03.2001.

4.4.4 *Bygg- og anleggsavfall i Oslo og Akershusregionen*

Prosjektet ble ledet av Avfallsrådet for Oslo og Akershus (AROA) og støttet økonomisk av ØkoBygg. Målsetningen var å:

- 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 la gjennom et regionalt samarbeidsprosjekt til rette for økt utnyttelse av bygg- og anleggsavfall og ønsket å bidra til næringsutvikling i tilknytning til dette. Et delprosjekt omfattet bruk av resirkulert tilslag som drenerende masser mot grunnmur. Dette var i regi av Norges byggforskningsinstitutt i samarbeid med Franzefoss Bruk AS. Prosjektperiode: 01.01.1998-31.12.1999.

5. REGELVERK OG RETNINGSLINJER

5.1 Oversikt over tekniske spesifikasjoner

En rekke lover, forskrifter, standarder samt retningslinjer og håndbøker omhandler resirkulert tilslag som materiale og bruk av dette i produkter. De mest relevante er:

Lover og offentlige forskrifter

Plan- og bygningsloven
Teknisk forskrift 97
Forurensningsloven
Kommunal forskrift om styring av produksjonsavfall
Forskrift om spesialavfall
Forskrift om polyklorete bifenyler (PCB)
Asbestforskriften

Standarder

NS-EN 206 - 1	Betong – Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og ansvar.
NS-EN 933 – 1	Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag – Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling – Sikteanalyse
prEN 933 – 11	Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate
NS-EN 1097 – 6	Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper - Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon
NS-EN 1744-1	Prøvningsmetoder for kjemiske egenskaper for tilslag. Del 1: Kjemisk analyse
prEN 1744-3	Tests for chemical properties of aggregates. Part 3: Water leaching test
prEN 12620	Aggregates for concrete
prEN 13242	Tilslag for ustabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging

Retningslinjer og håndbøker

Norsk Betongforening	Publikasjon nr. 26. Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon. (I nasjonalt tillegg til NS-EN 206 er reglene i NBP 26 gitt normativ status ved bruk av resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong.)
Norsk Betongforening	Publikasjon nr. 7. Sprøytebetong til fjellsikring
Statens Vegvesen	Håndbok – 014 Laboratorieundersøkelser
Norges byggforskningsinstitutt	RESIBA – Bruk av resirkulert tilsalg i bygg og anlegg – Status 2000

5.2 Standardisering av resirkulert tilslag

Standardisering av tilslag foregår i Europa i CEN TC 154 Aggregates, hvor Norge deltar i ulike underkomiteer og arbeidsgrupper. Den mest relevante produktstandarden for tilslag er prEN12620 ”Tilslag for konstruksjonsbetong”¹⁰.

Det arbeides for tiden med å integrere tilleggs klausuler for resirkulert tilslag¹¹ i produktstandardene. Status for framdrift fås ved henvendelse Norges Byggstandardiseringsråd (NBR)¹².

Forut for klausulene til produktstandardene utarbeidet CEN TC 154 en egen teknisk rapport som ga oversikt over aktuelle resirkulerte materialer med tilhørende bruksområder og prøvemetoder¹³. Generelt mener CEN at de samme prøvningsstandarder gjelder for resirkulert tilslag som for annet tilslag.

CEN/TC 154 har utarbeidet en teknisk rapport som omhandler resirkulert tilslag for bruk i både bunden (betong) og ubunden bruk¹³. I tillegg er utkast til tilleggs klausuler til annek H i prEN 12620 og annek D i prEN 13242 utarbeidet¹³. 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 foranalyser, i tillegg til transportør. Produksjonskontroll og avviksbehandling er også behandlet. For ubundet og hydraulisk bundet materiale i veikonstruksjoner er tilsvarende tilleggs klausuler innarbeidet i Annek E i dokument SC4-235. Begge annekene inneholder henvisninger til laboratoriemetoder og frekvens av prøving basert på EU guideline B – Factory Production Control. Annek D i prEN 13242 gir en oversikt over aktuelle parametre med angivelse av prøvingsmetoder, krav og prøvfrekvens. Typiske parametre er kornkurve, andel nedknust materiale, motstand mot fryse-tine sykler samt petrografisk beskrivelse.

Det norske nasjonale tillegget til NS-EN 206 – 1 vil være i samsvar med prEN 12620 og NBP 26 for resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong.

5.3 Nasjonale retningslinjer

I Norge har arbeidet med retningslinjer for bruk av resirkulert tilslag kommet lengst for bunden bruk¹. Norsk Betongforening utga i 1999 publikasjon nr. 26 ”Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon” (NBP 26)¹⁴. I denne publikasjonen klassifiseres resirkulert tilslag som skal inngå i ny betongproduksjon, som Type I og II avhengig av renhet, densitet og vannabsorpsjonsegenskaper. Avhengig av tilslagets klassifisering og betongkvalitet, tillates innblanding av opptil 30 masse-% resirkulert tilslag. I nasjonalt tillegg til NS-EN 206 er reglene i NBP 26 gitt normativ status ved bruk av resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong.

NBP 26 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. 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 betong med resirkulert tilslag 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. NBP 26 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. NBP 26 åpner for innblanding av resirkulert tilslag utover 30 % av grovt tilslagsandel forutsatt at spesielle angitte beregningsregler benyttes og begrenses til betongkvalitet C 25 LA.

Dansk Betongforening ga allerede i 1990 ut retningslinjer, publikasjon nr. 34, for bruk av resirkulert tilslag i betong i passiv miljøklasse¹⁵. Retningslinjene gitt av Norsk Betongforening i NBP 26, har i stor grad tatt utgangspunkt i den danske publikasjonen samt i en del andre publikasjoner.

6. KONSTRUKSJONSBETONG

6.1 Innledning

6.1.1 Resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong

Tekniske problemstillinger i relasjon til bruk av resirkulert betongtilslag i nye betongkonstruksjoner har vært kjent og diskutert i faglitteraturen^{1,16,17,18,19}.

Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 26¹⁴ (NBP 26) anbefaler foreløpig kun resirkulert tilslag brukt i konstruksjonsbetong tilsvarende miljøklasse LA/NA. Sentrale egenskaper og parameter som kan påvirkes av å erstatte naturlig tilslag med resirkulert tilslag er¹:

- Masseforhold
- Vannbehov og støplighet
- Svinn
- Densitet og luftinnhold
- Trykkfasthet og e-modul
- Kryp
- Bestandighet

NBI Prosjektrapport nr. 287¹ (senere RESIBA Prosjektrapport 01/2000) gir en utfyllende oversikt over status innenfor disse delområdene, og danner basis for å se hvilken effekt ulike doseringer av resirkulert tilslag har på sentrale egenskaper i konstruksjonsbetong.

I henhold til Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 26 "Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon", punkt 2.2 "Grenseverdier for prosjektering og anvendelse av resirkulert tilslag", kan 20 % av tilslaget i fraksjon 4-32 mm erstattes med resirkulert tilslag type II (ren betong og/eller stein) i betongkvalitet C35 NA og C45 NA uten ekstra beregninger. Når andelen resirkulert tilslag overstiger 20 %, skal krav i punkt 5.2 tilfredsstilles.

Telenors P-hus på Fornebu og Akershus fylkeskommunes utbygging av Sørumsand skole dannet utgangspunktet for arbeidsprogrammet sammen med innledende og supplerende laboratorieforsøk ved Veidekke og NBI (Tabell 6-1).

Tabell 6-1. Innblanding av resirkulert grovt tilslag i konstruksjonsbetong

BETONG-KVALITET	ANDEL RESIRKULERT GROVT TILSLAG (% AV GROVT TILSLAG)						KOMMENTAR
	0	20	40	60	80	100	
C35 NA Fornebu 1	X	X					Fundamenter (lab og felt)
C35 NA (lab) Fornebu 2	X	X	X	X		X	Fundamenter (lab)
C45 NA (lab) Fornebu 3	X	X	X	X	X	X	Søyler (lab)
C35 NA Sørumsand 1	X		X ¹⁾				¹⁾ 37 % grovt resirkulert tilslag

6.2 P-hus Fornebu

6.2.1 Innledning

Fundamenter til P-hus på Fornebu ble bygget høsten 2000, med resirkulert tilslag i betongen, som et fullskala referanseprosjekt innenfor RESIBA-prosjektet (Tabell 6-1). Totalt ble det støpt ca. 25 fundamenter av betongkvalitet C35 NA med 20 % resirkulert tilslag på anlegget²⁰. På bakgrunn av erfaringene herfra, ble også undersøkelser i laboratorium med tanke på eventuell bruk av resirkulert tilslag i betongkvalitet C45 NA til søylene i P-huset undersøkt²¹. Det ble imidlertid valgt å støpe ut søylene uten bruk av resirkulert tilslag. Ved bruk av resirkulert materiale i konstruksjonsbetong ble Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 26 "Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon" lagt til grunn¹⁴. Bruk av 20 % resirkulert tilslag er i henhold til anbefalinger gitt i publikasjonen. Ved bruk av mer enn 20 % resirkulert tilslag, krever dette justerte statiske beregninger iht. publikasjonen.

Hensikten med forsøkene var å sammenlikne støplighetsegenskaper og mekaniske egenskaper fra opprinnelig betongresept for fundamenter og søyler med tilsvarende resepter hvor 20, 40, 60, 80 og 100 % av det grove tilslaget ble erstattet med resirkulert tilslag i fraksjon 10-20 mm.

6.2.2 Forsøksprogram

En oppsummering av prøveprogrammet med angivelse av undersøkte egenskaper og benyttede standarder er gitt i Tabell 6-2 og Tabell 6-3.

C35 NA

Egenskaper ved resirkulert tilslag, fersk og herdet betong ble undersøkt i henhold til Tabell 6-4. Betongkvalitet C35 NA ble støpt ut i to omganger ved laboratoriet hos Veidekke ASA og hos Norges byggforskningsinstitutt. Forsøk nr. 1 ("Fornebu 1" i Tabell 6-2) omfattet en 35-liters referanseblanding samt to identiske blandinger med 20 % resirkulert tilslag. Forsøk nr. 2 ("Fornebu 2" i Tabell 6-2) omfattet en 90-liters referanseblanding samt blandinger med henholdsvis 20, 40, 60, 80 og 100 % andel grovt resirkulert tilslag.

C45 NA

Forsøkene med C45 NA ("Fornebu 3" i Tabell 6-2) ble utført ved betongstasjonen til Oslo Ferdigbetong Avd. Fornebu. Denne betongstasjonen leverte betong til hele Telenors P-hus på Fornebu. Hensikten med forsøkene var å sammenligne referanseblandingen med opprinnelig søyleresept, med tilsvarende resept hvor hhv. 20, 40, 60 og 100 % av tilslaget (8-22 mm) ble erstattet med resirkulert tilslag, fraksjon 10-20 mm. For hver resept ble det blandet én kubikkmeter betong. Både tilslag, fersk og herdet betong ble undersøkt i henhold til Tabell 6-5. Det ble tatt prøver av både tilslag, fersk og herdet betong.

Karbonatiseringsegenskapene for referanseblandingen med opprinnelig betongresept ble sammenlignet med tilsvarende resept hvor henholdsvis 20, 40, 60 og 100 % av det grove tilslaget ble erstattet med resirkulert tilslag i fraksjon 10-20 mm. Utstøpte paller ble lagret i laboratoriet ved NBI i 365 dager før det ble kuttet en skive fra hver pall og karbonatiseringsdybden ble målt på snittflatene ved hjelp av fenoftalein.

Tabell 6-2. Oppsummering av prøveprogram – Undersøkt egenskaper

EGENSKAPER	BETONGKVALITET			
	C35 NA Fornebu 1	C35 NA (lab) Fornebu 2	C45 NA Fornebu 3	C35 NA Sørumsand
Resirkulert tilslag				
Kornfordeling	X	X	X	X
Materialsammensetning				X
Densitet	X	X		X
Vannabsorpsjon	X	X	X	X
Kloridinnhold	X			X
Sulfatinnhold	X			X
Fersk betong				
Synk (over tid)	X	X	X	X
Utbredelse (over tid)	X	X	X	X
Densitet	X	X	X	X
Luftinnhold	X	X	X	X
Vannutskillelse	X	X		
Bearbeidbarhet	X	X		
Herdet betong				
Trykkfasthet	X	X	X	X
Svinn	X	X	X	X
E-modul	X	X	X	X
Frostprøving				X
Skive (pall)			X	

Tabell 6-3. Oppsummering av prøveprogram – Standarder

EGENSKAPER	STANDARD
Resirkulert tilslag	
Kornfordeling	NS EN 933-1 og Statens vegvesens Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.432 Kornfordeling ved tørrsikting (Fornebu)
Materialsammensetning	prEN 933-11
Densitet	Kontrollrådets metoder for prøving av betongtilslag og Statens vegvesens Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.424 Densitet og absorbert vann for tilslag større enn 4,0 mm (Fornebu)
Vannabsorpsjon	Kontrollrådets metoder for prøving av betongtilslag eller Statens vegvesens Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.424 Densitet og absorbert vann for tilslag større enn 4,0 mm (Fornebu)
Kloridinnhold	NS-EN 1744-1
Sulfatinnhold	NS-EN 1744-1
Fersk betong	
Synk (over tid)	NS 3662 Betongprøving. Fersk betong. Konsistens. Synkmål.
Utbredelse (over tid)	NS 3664 Betongprøving. Fersk betong. Konsistens. Utbredningsmål.
Densitet	NS 3660 Betongprøving. Fersk betong. Densitet.
Luftinnhold	NS 3659 Betongprøving. Fersk betong. Luftinnhold.
Vannutskillelse	Visuell kontroll
Bearbeidbarhet	Visuell kontroll
Herdet betong	
Trykkfasthet	NS 3668 Betongprøving. Herdet betong. Prøvelegemers trykkfasthet.
Svinn	ASTM C 157-93 Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete
E-modul	NS 3676 Betongprøving. Herdet betong. Elastisitetsmodul ved trykkprøving.
Frostprøving	SS 137244, metode I B
Skive (pall)	

Tabell 6-4. Prøveprogram C35 NA Fornebu.

PRØVE	STANDARD	KOMMENTAR
TILSLAG		
Absorbert vann	Utført på resirkulert tilslag Verdier for øvrig tilslag fra produsenter	Statens vegvesens Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.424 Densitet og absorbert vann for tilslag større enn 4,0 mm
Vanninnhold	To fuktprøver per tilslag	Statens vegvesens Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.426 Vanninnhold
Sikteprøve		Statens vegvesens Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.432 Kornfordeling ved tørrsikting
Densitet	Utført på resirkulert tilslag Verdier for øvrig tilslag fra produsenter	Statens vegvesens Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.424 Densitet og absorbert vann for tilslag større enn 4,0 mm
FERSK BETONG		
Betong-temperatur	Målinger utført umiddelbart etter blanding, samt etter 15, 30, 45, 60 og 90 min.	NS 3658 Betongprøving. Fersk betong. Prøvetaking.
Synk (over tid)	Målinger utført umiddelbart etter blanding, samt etter 15, 30, 45, 60 og 90 min.	NS 3662 Betongprøving. Fersk betong. Konsistens. Synkmål.
Utbredelse (over tid)	Målt over tid for blandinger med resirkulert tilslag	NS 3664 Betongprøving. Fersk betong. Konsistens. Utbredningsmål.
Densitet	Målt over tid for blandinger med resirkulert tilslag	NS 3660 Betongprøving. Fersk betong. Densitet.
Luftinnhold		NS 3659 Betongprøving. Fersk betong. Luftinnhold.
Vannutskillelse		Visuell kontroll
Bearbeidbarhet		Visuell kontroll
HERDET BETONG		
Trykkfasthet	1, 7 og 28 døgnfasthet	NS 3668 Betongprøving. Herdet betong. Prøvelegemers trykkfasthet.
Svinn	Iverksettes etter 28 døgn vannlagring	ASTM C 157-93 Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete
E-modul	7 og 28 døgn	NS 3676 Betongprøving. Herdet betong. Elastisitetsmodul ved trykkprøving.

Tabell 6-5. Prøveprogram C45 NA Fornebu.

PRØVE	ANTALL	STANDARD
TILSLAG		
Vanninnhold	2 prøver av resirkulert tilslag ved start	Statens vegvesens Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.426 Vanninnhold
Sikteprøve	2 prøver av resirkulert tilslag ved start	Statens vegvesens Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.432 Kornfordeling ved tørrsikting
FERSK BETONG		
Betong-temperatur		NS 3658 Betongprøving. Fersk betong. Prøvetaking.
Synk (over tid)	3 per blanding ved 0, 30 og 60 min.	NS 3662 Betongprøving. Fersk betong. Konsistens. Synkmål.
Utbredelse (over tid)	3 per blanding ved 0, 30 og 60 min.	NS 3664 Betongprøving. Fersk betong. Konsistens. Utbredningsmål.
Densitet	1 per blanding	NS 3660 Betongprøving. Fersk betong. Densitet.
Luftinnhold	1 per blanding	NS 3659 Betongprøving. Fersk betong. Luftinnhold.
HERDET BETONG		
Trykkfasthet	3, 7 og 28 døgn, 6 terninger	NS 3668 Betongprøving. Herdet betong. Prøvelegemers trykkfasthet.
Svinn	Start ved 28 døgn, 3 bjelker	ASTM C 157-93 Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete
E-modul	7 og 28 døgn, 6 sylindre	NS 3676 Betongprøving. Herdet betong. Elastisitetsmodul ved trykkprøving.
Pall	1 per resept	

6.2.3 Resepter og materialer

Generelt

Avhengig av tilslagets klassifisering og betongkvalitet, tillates innblanding av opptil 30 masse-% resirkulert tilslag. I nasjonalt tillegg til NS-EN 206 er reglene i NBP 26 gitt normativ status ved bruk av resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong.

Resepter C35 NA Fornebu 1

Referanseblandingen var en ordinær betongresept for fundamenter på P-hus på Fornebu i betongkvalitet C35 NA. I resepten med resirkulert tilslag ble 20 % av det grove tilslaget 11-16 mm erstattet med 20 % resirkulert tilslag fra BA Gjenvinning i fraksjon 10-20 mm. Benyttede resepter er vist i Tabell 6-6.

Tabell 6-6. Betongresepter med og uten resirkulert betongtilslag

Materiale		Leverandør	C35 NA 0R	C35 NA - 20R
Sand 0-8 mm	kg/m ³	Hovinmoen	525	525
Sand 0-8 mm	kg/m ³	Heenmoen	525	525
Pukk 11-16 mm	kg/m ³	Tangen	262	101
Pukk 16-22 mm	kg/m ³	Tangen	494	494
Resirk. 10-20 mm	kg/m ³	BA Gjenvinning	-	151
Sement	kg/m ³	Embra Standard ²⁾	310	310
Silika	kg/m ³	Elkem	10	10
Vann	kg/m ³		192	192
P-stoff, Scancem P	kg/m ³	Scancem	2	2
SP-stoff, Scanflyt-2	kg/m ³	Scancem	2	2
Effektivt v/c+s ¹⁾			0,6	0,6

1) Resirkulert tilslag, timesabsorpsjon $w_h = 3,11$ % (absorbert vann i løpet av 1 time).

2) Punkt 1.3.3 i Publikasjon nr. 26 sier at resirkulert tilslag skal anses som alkalireaktivt. Dette ivaretas ved at det brukes lavalkalisement i resepten, Embra Standard.

Tilslagsmaterialer

Alt naturlig tilslag var deklartert i henhold til DGB-ordningen for tilslag.

Det ble brukt to typer sand i blandingene, Hovinmoen 0-8 mm og Heenmoen 0-8 mm. Sanden ble hentet hos Oslo Ferdigbetong og sto minimum i tre dager i temperert rom på laboratoriet før bruk.

Tangen pukk i fraksjonene 11-16 mm og 16-22 mm ble hentet hos Oslo Ferdigbetong minimum tre dager før blanding. Pukken sto i temperert rom under hele forsøksperioden.

Resirkulert tilslag i fraksjon 10-20 mm ble levert av BA Gjenvinning og sto i temperert rom i laboratoriet i minimum tre dager før blanding.

Bindemiddel og tilsetningsstoff

Sement: Embra Standard

Silika: Elkem

P-stoff: Scancem P

SP-stoff: Scanflyt-2

Vann

Alt vann som ble tilsatt blandingene var temperert til 20°C og deionisert.

Resepter C35 NA Lab Fornebu 2

Referanseblandingen var en ordinær betongresept for fundamenter på P-hus på Fornebu i betongkvalitet C35 NA. I resepten med resirkulert tilslag ble henholdsvis 20, 40, 60, 80 og 100 % av tilslag 11-16 mm erstattet med resirkulert tilslag fra BA Gjenvinning i fraksjon 10-20 mm. Benyttede resepter er vist i Tabell 6-7.

Tabell 6-7. Resepter C35 NA Lab.

Materiale		Leverandør	C35 NA Lab-0R	C35 NA Lab-20R	C35 NA Lab-40R	C35 NA Lab-60R	C35 NA Lab-80R	C35 NA Lab-100R
Sand 0-8 mm	kg/m ³	Norstone AS, Årdal	939	939	939	939	939	939
Pukk 8-11 mm	kg/m ³	Norstone AS, Årdal	347	347	347	174	0	0
Pukk 11-16 mm	kg/m ³	Norstone AS, Årdal	347	174	0	0	0	0
Pukk 16-25	kg/m ³	Norstone AS, Årdal	173	173	173	173	173	0
Resirk. 10-20 mm	kg/m ³	BA Gjenvinning	0	173	347	520	694	867
Sement	kg/m ³	Embra Standard ²⁾	319	319	319	319	319	319
Silika	kg/m ³	Elkem	20	20	20	20	20	20
P-stoff, Scancem P	kg/m ³	Scancem	2	2	2	2	2	2
SP-stoff, Scanflyt-2	kg/m ³	Scancem	2	2	2	2	2	2
Vann	kg/m ³	Kommunalt	192	192	192	192	192	192
Effektivt v/c+s ¹⁾			0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

1) Resirkulert tilslag, timesabsorpsjon $w_h = 3,11\%$ (absorbert vann i løpet av 1 time).

2) Punkt 1.3.3 i Publikasjon nr. 26 sier at resirkulert tilslag skal anses som alkalireaktivt. Dette ivaretas ved at det brukes lavalkalisement i resepten, Embra Standard.

Tilslagsmaterialer

Alt naturlig tilslag var deklartert i henhold til DGB-ordningen for tilslag.

Alt naturlig tilslag var levert av Norstone AS, Årdal.

Resirkulert tilslag i fraksjon 10-20 mm ble levert av BA Gjenvinning og sto i temperert rom i laboratoriet i minimum tre dager før blanding.

Bindemiddel og tilsetningsstoff

Sement: Embra Standard

Silika: Elkem

P-stoff: Scancem P

SP-stoff: Scanflyt-2

Vann

Alt vann som ble tilsatt blandingene var temperert til 20°C.

C45 NA Fornebu 3

Referanseblandingen var en ordinær resept for søyler på P-hus på Fornebu i betongkvalitet C45 NA. I resepten med resirkulert tilslag ble henholdsvis 20, 40, 60 og 100 % av tilslag fraksjon 11-16 mm erstattet med resirkulert tilslag fra BA Gjenvinning i fraksjon 10-20 mm. Benyttede resepter er vist i Tabell 6-8.

Tabell 6-8. Resepter C45 NA.

Materiale		Leverandør	C45 NA-0R	C45 NA-20R	C45 NA-40R	C45 NA-60R	C45 NA-100R
Sand 0-8 mm	kg/m ³	Storsand	894	894	894	894	894
Pukk 8-22 mm	kg/m ³	Storsand	952	762	571	381	0
Resirk. 10-20 mm	kg/m ³	BA Gjenvinning	0	190	381	571	952
Sement	kg/m ³	Embra Standard ²⁾	319	319	319	319	319
Silika	kg/m ³	Elkem	20	20	20	20	20
P-stoff, BV40	kg/m ³	Sika	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
SP-stoff, ECO2	kg/m ³	Sika	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Vann	kg/m ³	Kommunalt	176	176	176	176	176
Effektivt v/c+s ¹⁾			0,52	0,52	0,52	0,52	0,52

1) Resirkulert tilslag, timesabsorpsjon wh = 3,11 % (absorbert vann i løpet av 1 time).

2) Punkt 1.3.3 i Publikasjon nr. 26 sier at resirkulert tilslag skal anses som alkalireaktivt. Dette ivaretas ved at det brukes lavalkalisement i resepten, Embra Standard.

Tilslagsmaterialer

Alt naturlig tilslag var deklartert i henhold til DGB-ordningen for tilslag.

Sand fra Storsand fraksjon 0-8 mm fra Oslo Ferdigbetongs ordinære tilslagssilo ble benyttet i samtlige blandinger. Densitet og absorbert vann ble oppgitt av produsent.

Referanseresepeten inneholdt Storsand pukk i fraksjon 8-22 mm fra Oslo Ferdigbetongs ordinære tilslagssilo. Densitet og absorbert vann ble oppgitt av produsent.

Resirkulerte tilslaget ble levert av BA Gjenvinning og lagt på silo hos Oslo Ferdigbetong, Fornebu dagen før blanding.

Iht. Publikasjon nr. 26 skal det resirkulerte tilslaget testes for innhold av klorider og sulfater. Dette ble utført i forbindelse med laboratorieundersøkelser i forkant av bruk i fundamenter. Konklusjonen var at det resirkulerte tilslaget ikke inneholder sulfater eller klorider av betydning for betongens egenskaper¹⁴(Tabell 6-12).

Bindemiddel og tilsetningsstoff

Sement: Embra Standard

Silika: Elkem

P-stoff: BV40 fra Sika

SP-stoff: ECO2 fra Sika

Vann

Alt vann som ble tilsatt blandingene var kommunalt.

6.3 Sørumsand videregående skole

6.3.1 Innledning

I forbindelse med bygging av ny videregående skole i Sørumsand i Akershus (grunnflate ca. 13.000 m²) ble det brukt 37 % resirkulert grovt tilslag i deler av den plasstøpte betongkonstruksjonen²². Det ble benyttet C35 NA betong med resirkulert tilslag i de fleste fundamenter, banketter, søyler og kjellervegger i ca. halvparten av kjelleren. Totalt ble det støpt ca. 800 m³ betong med resirkulert tilslag. Prosjektet ble gjennomført som et demonstrasjonsprosjekt i RESIBA-prosjektet i samarbeid med Akershus fylkeskommune.

6.3.2 Forsøksprogram

Både tilslag, fersk og herdet betong ble undersøkt (Tabell 6-9). Tilslagsprøvene ble tatt fra tilslagskvalitet "ren betong" hos BA Gjenvinning, tilslag som var produsert spesielt for Sørumsandprosjektet. Betongen til prøveprogrammet for fersk og herdet betong ble tatt direkte ut fra produksjonen av betong til Sørumsand videregående skole hos betongleverandør Unicon, avdeling Lørenskog. Det ble tatt prøver fra en resept med 37 % grovt resirkulert tilslag (C35 NA-37R) og en resept med normalbetong uten resirkulert tilslag (C35 NA-0R). Forsøkene med fersk betong samt en del av trykkfasthetstesting ble utført på betongstasjonen. Øvrige undersøkelser er utført ved Norges byggforskningsinstitutt (NBI).

Tabell 6-9. Prøveprogram C35 NA Sørumsand.

PRØVE	ANTALL	STANDARD
RESIRKULERT TILSLAG		
Kornfordeling	3 prøver	NS EN 933-1
Materialsammensetning	3 prøver	prEN 933-11
Densitet	3 prøver	Kontrollrådets metoder for prøving av betongtilslag
Vannabsorpsjon	3 prøver	Kontrollrådets metoder for prøving av betongtilslag
Kloridinnhold	6 prøver	NS-EN 1744-1
Sulfatinnhold	6 prøver	NS-EN 1744-1
FERSK BETONG		
Synk (over tid)	3 per resept ved 0, 30 og 60 min.	NS 3662 Betongprøving. Fersk betong. Konsistens. Synkmål.
Utbredelse (over tid)	3 per resept ved 0, 30 og 60 min.	NS 3664 Betongprøving. Fersk betong. Konsistens. Utbredningsmål.
Densitet	1 per resept	NS 3660 Betongprøving. Fersk betong. Densitet.
Luftinnhold	1 per resept	NS 3659 Betongprøving. Fersk betong. Luftinnhold.
HERDET BETONG		
Trykkfasthet	3, 7 og 28 døgn, 6 terninger pr. resept	NS 3668 Betongprøving. Herdet betong. Prøvelegemers trykkfasthet.
Svinn	Start ved 28 døgn, 3 bjelker pr. resept	ASTM C 157-93 Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete
E-modul	7 og 28 døgn, 6 sylindre pr. resept	NS 3676 Betongprøving. Herdet betong. Elastisitetsmodul ved trykkprøving.
Frostprøving	28 døgn, 56 frostsykler, 4 prøver pr. resept	SS 137244, metode I B

6.3.3 Resepter og materialer

C35 NA - Sørumsand

I resepten med resirkulert tilslag er 37 % av det grove tilslaget erstattet med resirkulert tilslag fra BA Gjenvinning fraksjon 10-20 mm. Statistiske beregninger utført av ansvarlig rådgivende konsulent Reinertsen Engineering ANS viste at innblanding av 40 % resirkulert grovt tilslag ikke hadde konstruktive konsekvenser. Benyttede resepter er vist i Tabell 6-10.

Tabell 6-10. Resepter Sørumsand videregående skole.

Materiale		Leverandør	C35 NA Sør-0R	C35 NA Sør-37R
Sand 0-4 mm maskinsand	kg/m ³	Fering Bruk AS	305	297
Sand 0-8 mm	kg/m ³	Grefsrud avd. Vilberg	776	749
Pukk 12-16 mm	kg/m ³	Feiring Bruk AS	847	494
Resirk. 10-20 mm	kg/m ³	BA Gjenvinning	-	269
Sement, Standard FA ²⁾	kg/m ³	Norcem	319	341
P-stoff, Scancem LP	kg/m ³	Scancem Chemicals	2	3
Vann	kg/m ³	Kommunalt	179	191
Effektivt v/c+s ¹⁾			0,57	0,57

1) Resirkulert tilslag, timesabsorpsjon wh antatt lik 0 %.

2) Punkt 1.3.3 i Publikasjon nr. 26 sier at resirkulert tilslag skal anses som alkalireaktivt. Dette ivaretas ved at det brukes lavalkalisement i resepten, Norcem Standard FA.

Alt naturlig tilslag var deklartert i henhold til DGB-ordningen for tilslag.

Sand fra Vilberg i fraksjon 0-8 mm fra Unicon avdeling Lørenskog ble benyttet i samtlige blandinger. Densitet og absorbert vann ble oppgitt av produsent.

Referanseresepten inneholdt tilslag fra Feiring Bruk AS i fraksjon 8-22 mm fra Unicons ordinære tilslagssilo. Densitet og absorbert vann ble oppgitt av produsent.

Resirkulerte tilslaget ble levert av BA Gjenvinning og var produsert spesielt for Sørumsandprosjektet.

Bindemiddel og tilsetningsstoff

Sement: Norcem Standard FA

P-stoff: Scancem LP

Vann

Alt vann som ble tilsatt betongen var kommunalt.

6.4 Resultater og vurderinger

6.4.1 Materialsammensetning og kornfordeling

Det resirkulerte tilslaget besto i all hovedsak av betong og stein med mindre innslag av tegl og asfalt (Tabell 6-11). Sentrale materialparameter som densitet, vannabsorpsjon, kloridinnhold og sulfatinnhold for det resirkulert tilslaget ble også undersøkt (Tabell 6-12).

Tabell 6-11. Materialsammensetning

	Betong og stein (vekt-%)		Lettklinker (vekt-%)		Asfalt (vekt-%)		Tegl (vekt-%)		Tre (vekt-%)		Annet ¹⁾ (vekt-%)	
	Middel	St. av.	Middel	St. av.	Middel	St. av.	Middel	St. av.	Middel	St. av.	Middel	St. av.
C35 NA Fornebu 1	96,8	-	0,6	-	0,6	-	0,7	-	0,0	-	1,3	-
C35 NA Fornebu 2	96,8	-	0,6	-	0,6	-	0,7	-	0,0	-	1,3	-
C45 NA Fornebu 3	96,8	-	0,6	-	0,6	-	0,7	-	0,0	-	1,3	-
C35 NA Sørumsand	94,9	1,7	0,0	0,0	0,4	0,4	4,6	1,3	0,0	0,0	0,0	0,1

1) Glass, gips, metall, gummi, plast osv.

Tabell 6-12 Densitet, vannabsorpsjon, kloridinnhold og sulfatinnhold for resirkulert tilslag 10-20 mm

	Densitet (g/cm ³)				Vannabsorpsjon (%)		Kloridinnhold (vekt-% av betong)		Sulfatinnhold (vekt-% av betong)	
	Overflatetørr p _{ssd}		Ovnstørr p _{ssd,d}		Middel	St. av.	Middel	St. av.	Middel	St. av.
	Middel	St. av.	Middel	St. av.						
C35 NA Fornebu 1	2,53	0,04	2,39	-	3,1	0,3	0,007	0,0004	0,41	0,01
C35 NA Fornebu 2	2,53	0,04	2,39	-	3,4	1,6	-	-	-	-
C45 NA Fornebu 3	2,46	0,01	2,34	0,2	5,0	0,3	-	-	-	-
C35 NA Sørumsand	2,52	0,03	2,41	0,04	4,5	0,8	0,0021	0,0008	0,0095	0,0019

Med unntak av krav til mineralsk innhold (betong og/eller stein > 99%) tilfredstiller det resirkulerte tilslaget i fraksjon 10-20 mm kravene til klassifisering "Type II" i NBP 26 i henhold til punkt 2.1 "Klassifisering av resirkulert tilslag". Det resirkulert tilslaget tilfredstiller kravene til Type 1A "knust betong" i "Forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag" fra RESIBA der kravene til mineralsk innhold er satt til > 94 vekt-% eks. tegl og 99 vekt-% inkl. tegl²³.

Midlere målt vannabsorpsjon i resirkulert tilslag varierte fra 3,1 til 5,0 % (Tabell 6-12 og Figur 6-1). Bruk av resirkulert tilslag i betong vil medføre et 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 100 % grovt resirkulert tilslag sammenlignet med kontrollbetong med naturlig grovt tilslag²⁴. Ved å ta hensyn til det resirkulerte tilslagets evne til å absorbere vann i fersk fase, som ved annet sugende tilslag, kan reduksjon i støplighet unngås.



Figur 6-1. Måling av vannabsorpsjon av resirkulert tilslag (Foto: Bente Lillestøl, Veidekke ASA)

Innholdet av klorider i det resirkulerte tilslaget var mindre enn deteksjonsgrensen på 0,007 % av betong (Tabell 6-12). Dette tilsvarer et ubetydelig bidrag i betongreseptene og vil ikke påvirke betongens evne til å beskytte armeringsstål mot korrosjon.

Sulfatinnholdet i det resirkulerte tilslaget ble analysert etter NS 3090¹. Midlere sulfatinnhold (SO_3) ble funnet å variere fra 0,01 til 0,41 % av totalt innveid prøvemateriale (Tabell 6-12). Dette tilsvarer et neglisjerbart bidrag i den totale tilslagsmengdens sulfatinnhold for de aktuelle betongreseptene med resirkulert tilslag.

6.4.2 Synk

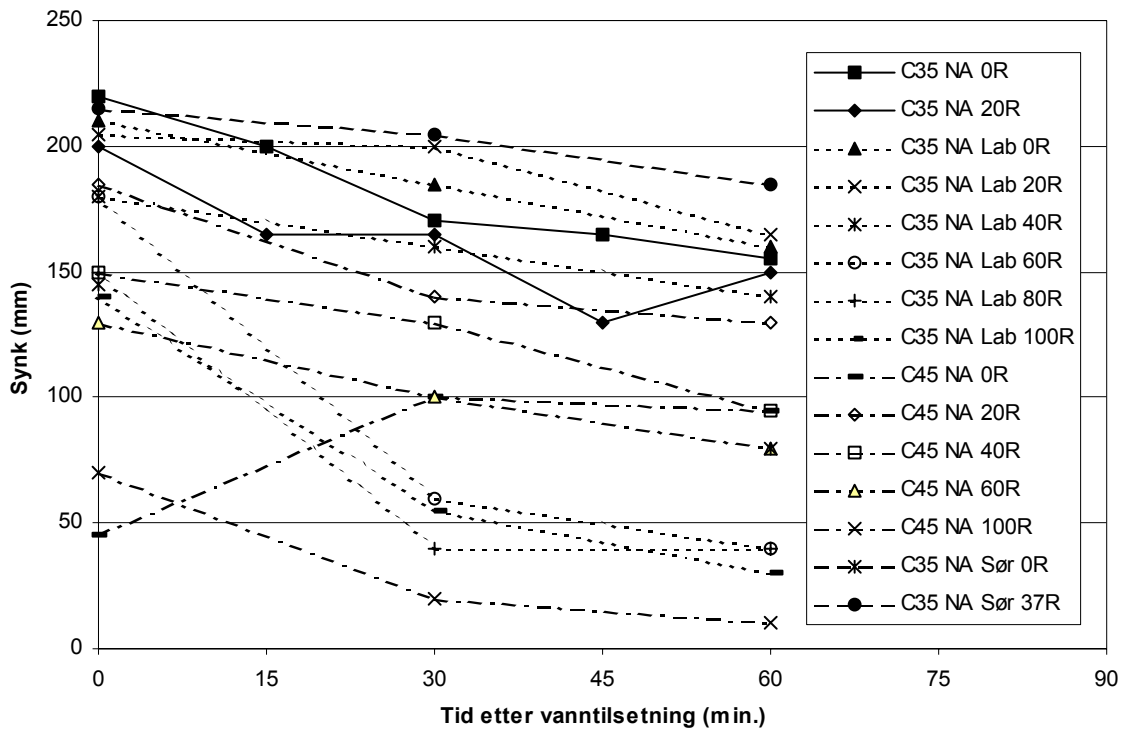
Det var ingen vesentlige forskjeller i konsistensutvikling fra 30 til 60 minutter etter vanntilsetning mellom referansebetongen og blandingene med opptil 40 % resirkulert tilslag (Figur 6-2). Reseptene med 60, 80 og 100 % resirkulert tilslag utstøpt i laboratoriet, viste et høyere konsistenstap de første 30 minuttene etter vanntilsetning (Figur 6-3). Dette ble ikke registrert på blandingene fra de blandeverkene som leverte på Fornebu eller på Sørumsand.

Resultatene indikerer at bruk av opptil 100 % resirkulert grovt tilslag ikke vil innebære redusert støplighet over tid av betydning sammenlignet med referansebetong. Dette forutsetter at det tas hensyn til det resirkulerte tilslagets absorpsjonsegenskaper (1-times sug) i vann. Dette er i tråd med tilbakemeldinger fra anleggene, hvor det ikke var mulig å skille mellom betong med og uten resirkulert tilslag (opptil 40 %), og er i tråd med erfaringer fra støp med lett-tilslag på andre prosjekter i Norge²⁵. Dette er i overensstemmelse med andre erfaringer som 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,

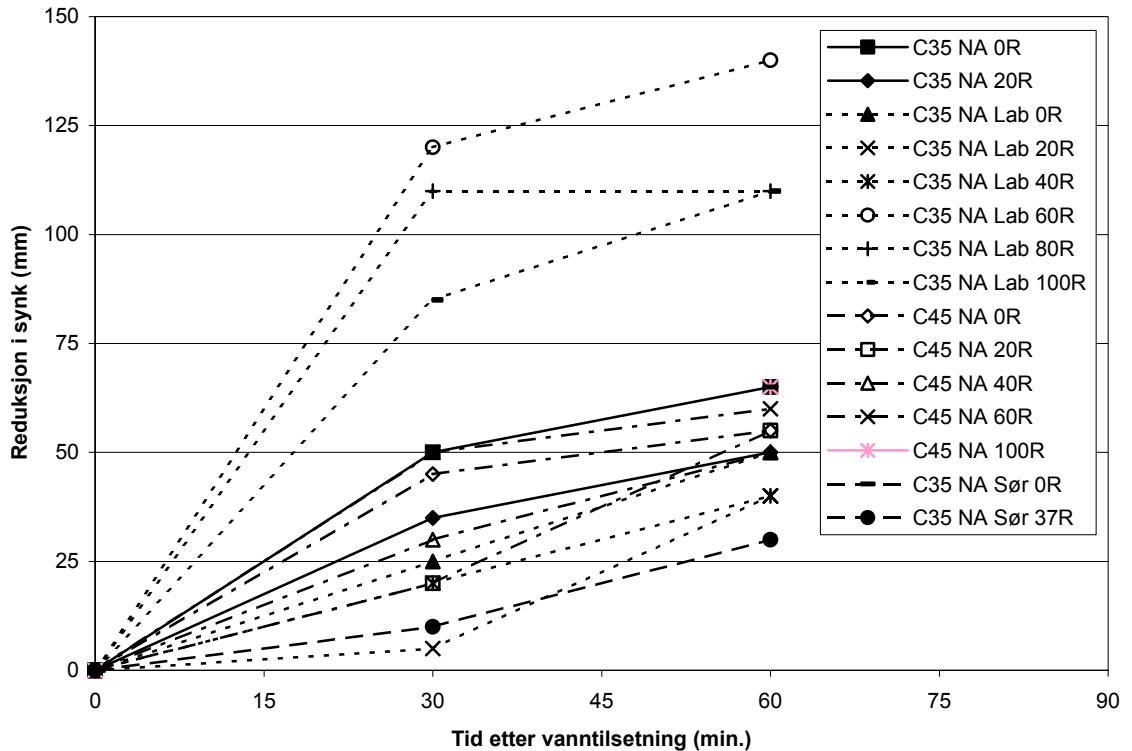
¹ NS 3090 Portlandsement. Metoder for kjemisk undersøkelse. Hovedbestanddelene, Norges Byggstandardiseringsråd, 1. utg. 1970.

transport, komprimering og utstøping¹⁶. Forutsetningen er at det tas hensyn til det resirkulerte tilslagets evne til å absorbere vann i fersk fase.

Betongen i både referanseblandingene og blandिंगene med resirkulert tilslag var smidig og stabil og lett å bearbeide. Det ble heller ikke registrert tegn til vannutskillelse for verken referanseblandingene eller blandिंगene med resirkulert tilslag.



Figur 6-2. Konsistensutvikling over tid

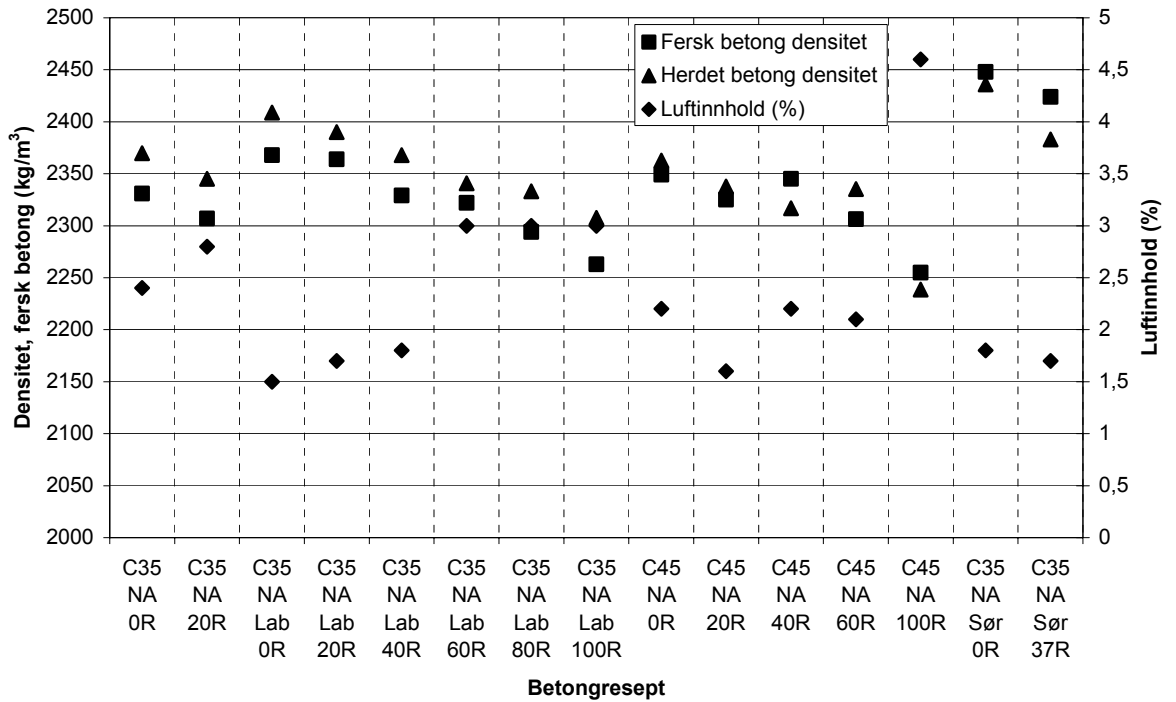


Figur 6-3. Reduksjon i synk over tid

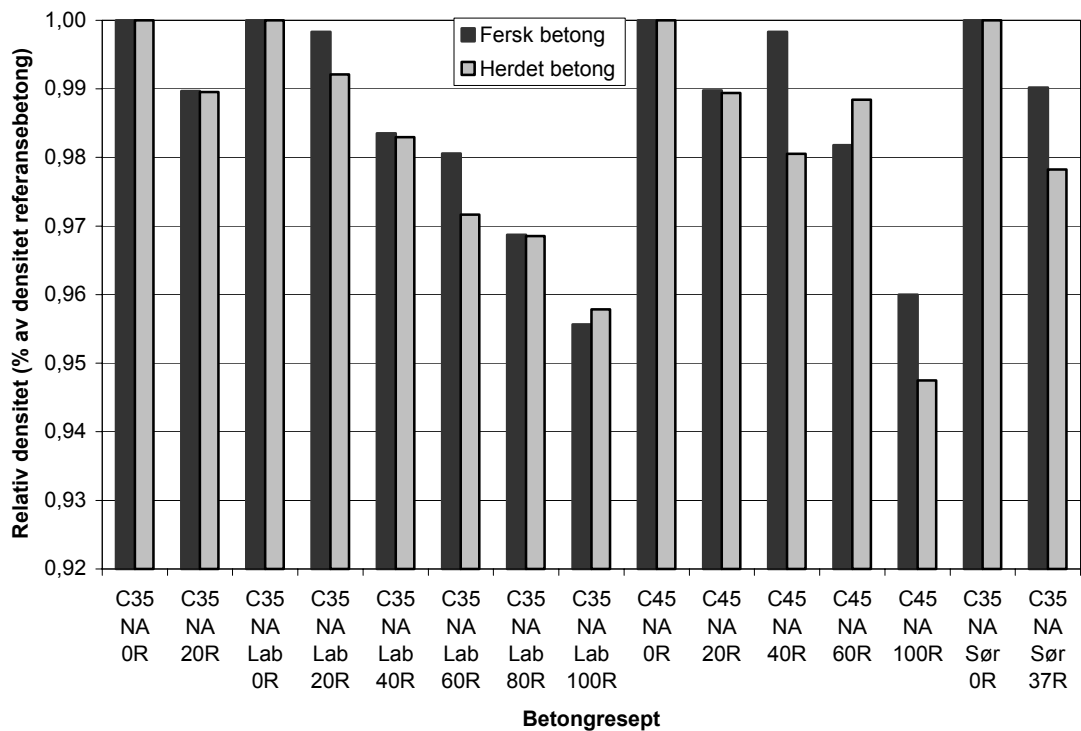
6.4.3 Densitet og luftinnhold

Densitet og luftinnhold ble for alle blandinger målt umiddelbart etter blanding (Figur 6-4). Målt densitet av både fersk og herdet betong, justert for varierende målt luftinnhold, ble redusert med økende innblanding av resirkulert tilslag (Figur 6-5). Eksempelvis ble midlere densitet av herdet betong redusert fra 2363 kg/m^3 til 2317 kg/m^3 ved innblanding av 40 % resirkulert tilslag i betongkvalitet C45 NA. Innblanding av 100 % resirkulert grovt tilslag ga en reduksjon i densiteten til herdet betong på ca. 5 % (Figur 6-5).

Det ble ikke observert større variasjoner i luftinnholdet enn normalt (2-3 %) ved bruk av resirkulert tilslag. Enkelte undersøkelser har vist et noe høyere og mer varierende luftinnhold i betong med resirkulert tilslag²⁶.



Figur 6-4. Målt densitet på fersk og herdet betong og luftinnhold på fersk betong



Figur 6-5. Relativ densitet av fersk og herdet betong

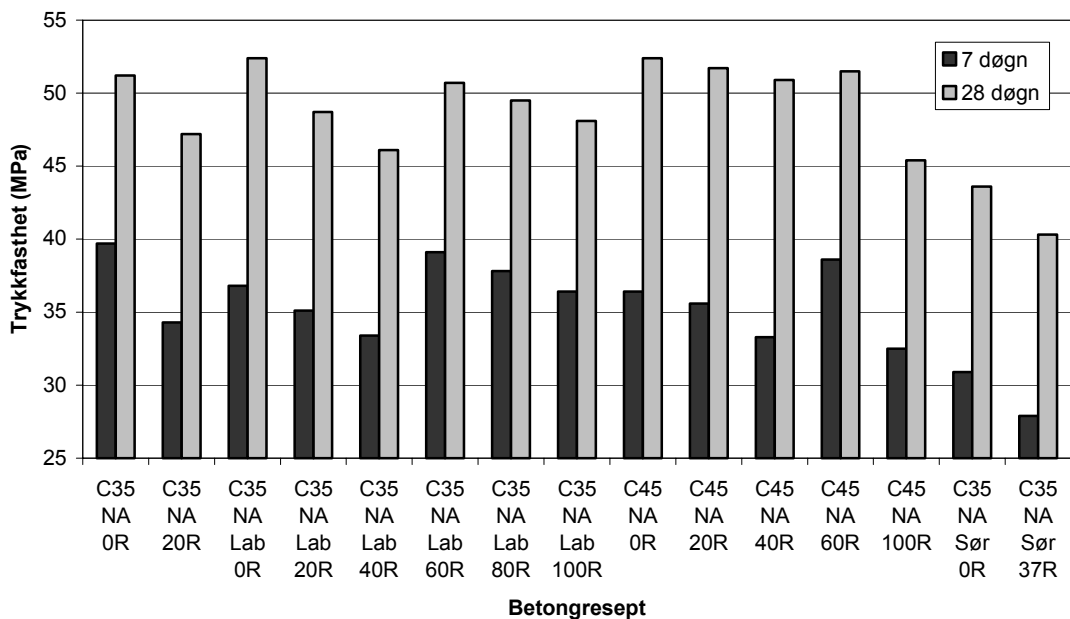
6.4.4 Trykkfasthet

Det ble ikke funnet noen direkte sammenheng mellom midlere målt trykkfasthet og økende innblanding av resirkulert grovt tilslag (Figur 6-6). Resultatene viser en tendens til reduksjon i midlere målt trykkfasthet som funksjon av økende innblanding av resirkulert grovt tilslag, men resultatene er ikke entydige.

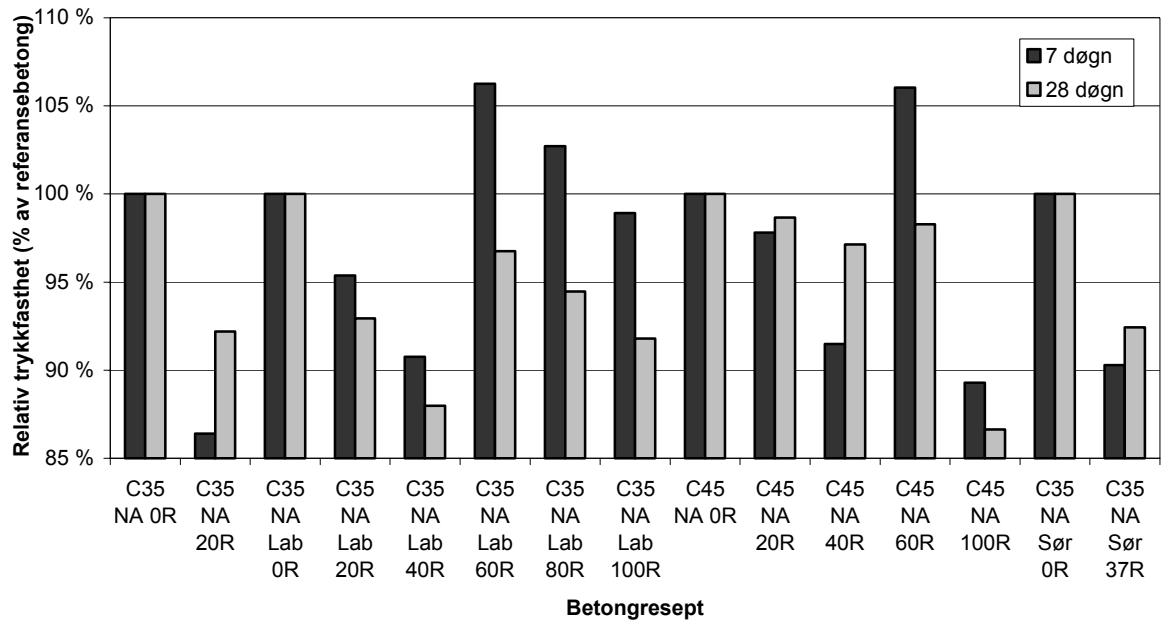
Etter 28 døgn var midlere målt trykkfasthet redusert til henholdsvis 92 % og 87 % av referansebetong for betongkvalitet C35 NA Lab og C45 NA ved 100 % erstatning av naturlig tilslag med resirkulert tilslag (Figur 6-7).

Resultatene er i tråd med andre undersøkelser som har vist en sammenheng mellom effektivt vann/semest-forhold (masseforhold) og trykkfasthet ved bruk av resirkulert betongtilslag i betong, helt tilsvarende som for betong med naturlig tilslag^{27,28}. Dette tyder på at det resirkulerte tilslaget har god kvalitet. Imidlertid bør det tas høyde for et større standardavvik på trykkfasthet sett i forhold til en betongsammensetning med naturlig tilslag, som følge av større variasjoner i det resirkulerte tilslagets mekaniske egenskaper²⁹.

Konklusjonen må bli at sammenhengen mellom effektivt vann-/semest-innhold og trykkfasthet også gjelder for betong med resirkulert betong som tilslag, dog med mindre justeringer av trykkfasthetsnivå.



Figur 6-6. Trykkfasthet etter 7 og 28 døgn. Standard herding

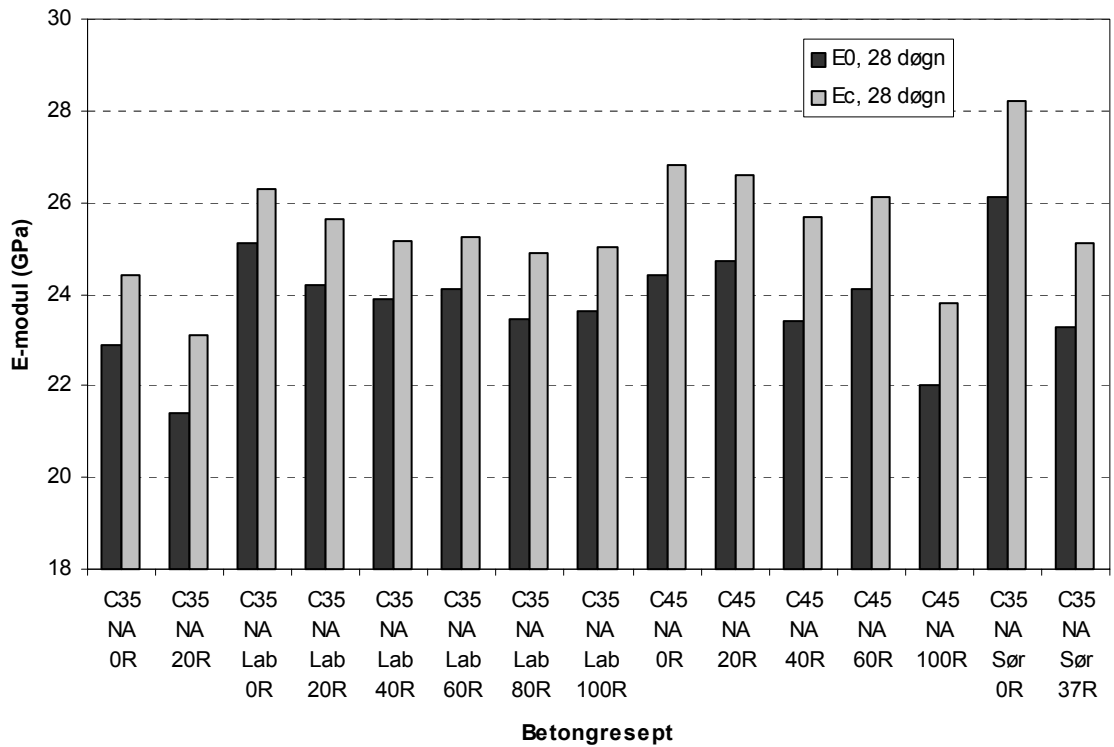


Figur 6-7. Relativ trykkfasthet etter 7 og 28 døgns standardisert herding i % av referanseblending

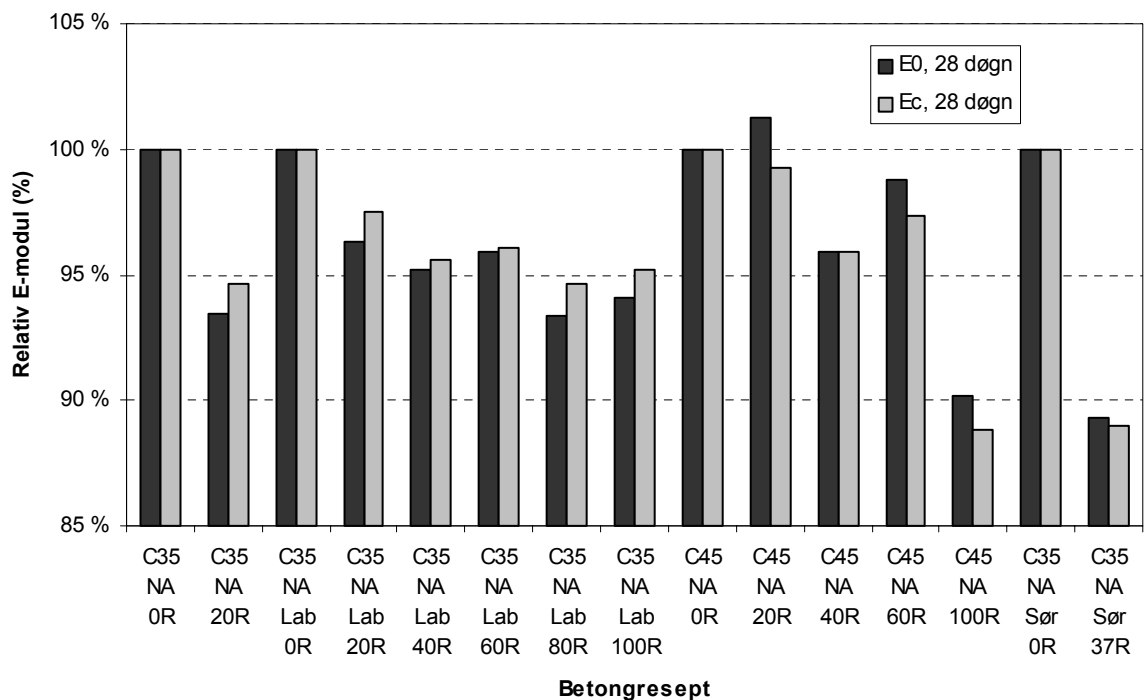
6.4.5 E-modul

Midlere E-modulen etter 28 døgn ble redusert med økende innblanding av resirkulert grovt tilslag (Figur 6-8). Midlere E-modul ble redusert til mellom 90 og 95 % av referansebetong ved å erstattet 100 % av det grove tilslaget med resirkulert tilslag i henholdsvis betongkvalitet C45 NA og C35 NA (Figur 6-9). En tilsvarende reduksjonen ble også observert for betongkvalitet C35 NA fra Sørumsand-prosjektet, men ved en vesentligere lavere innblandingsprosent av resirkulert tilslag (37 %). Resultatene tyder på en reduksjon i E-modul på opptil 10 % ved å erstatte 100 % av naturlig tilslag med resirkulert tilslag av betong.

Tilsvarende som for trykkfasthet bør det tas høyde for et større standardavvik på E-modul sett i forhold til en betongsammensetning med naturlig tilslag, som følge av større variasjoner i det resirkulerte tilslagets mekaniske egenskaper²⁹.



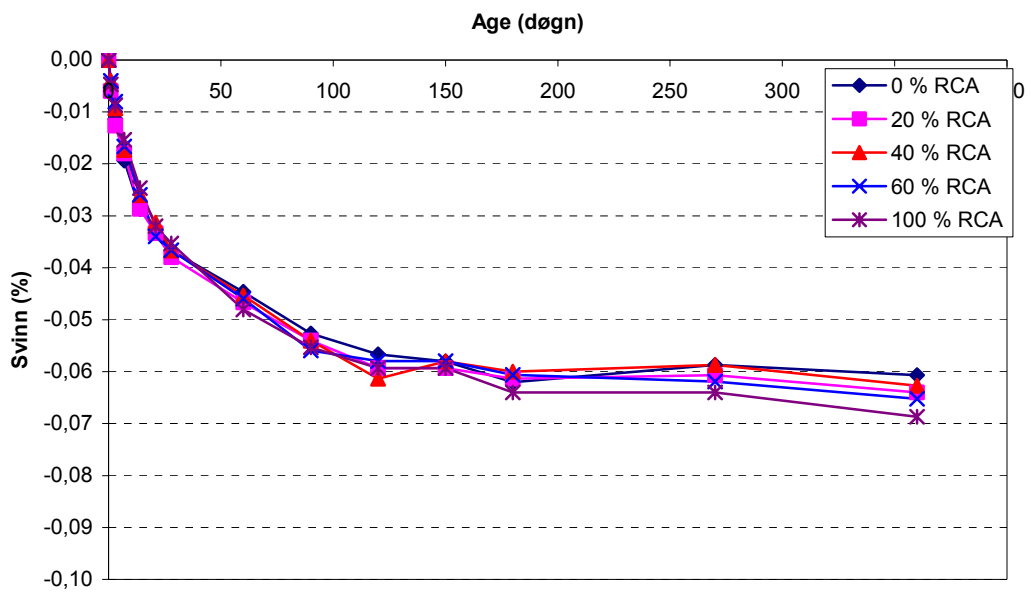
Figur 6-8. E-modul etter 28 døg standardisert herding



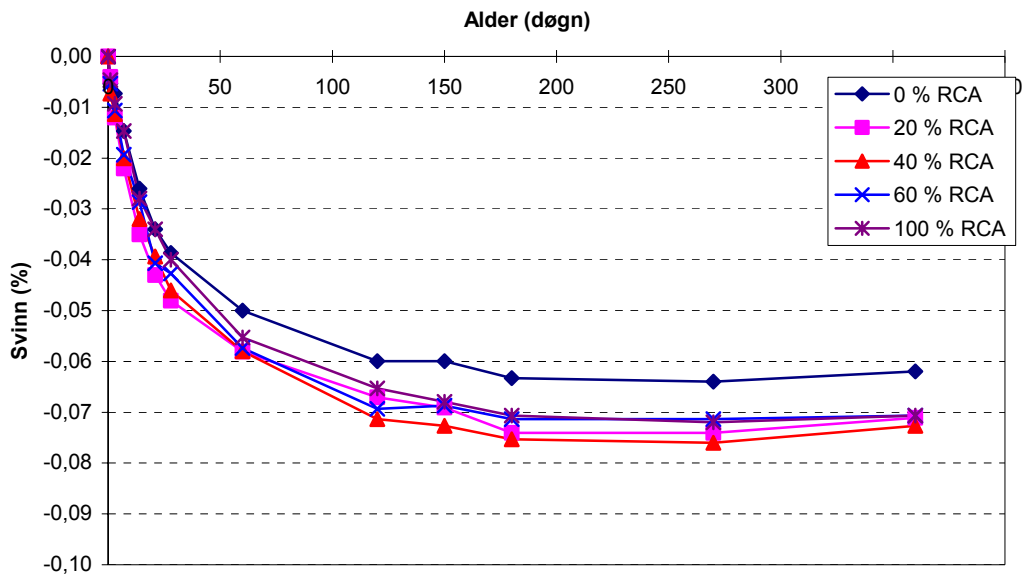
Figur 6-9. Relativ E-modul etter 28 døg standardisert herding i % av referanseblending

6.4.6 Svinn

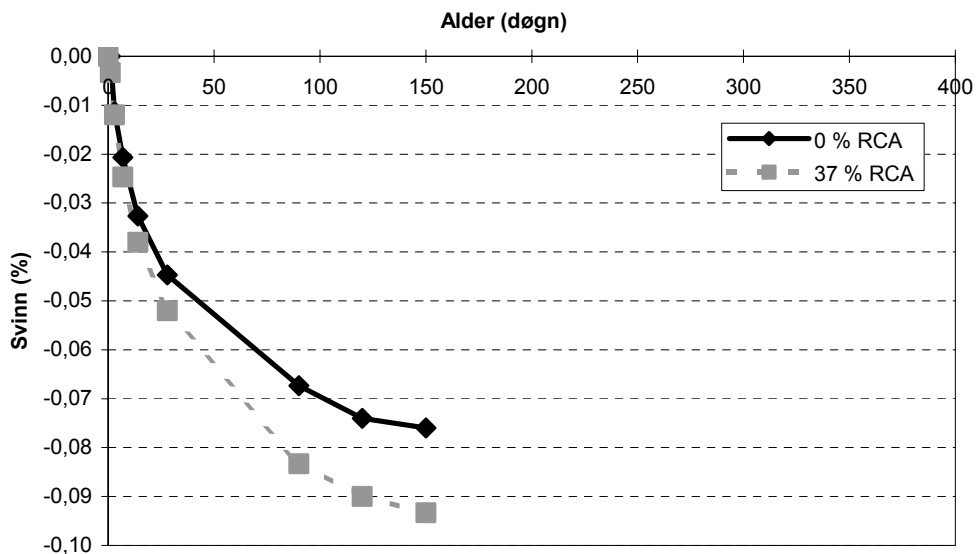
Innblanding av resirkulert tilslag førte ikke til signifikante endringer i svinnegenskapene til de ulike betongkvalitetene (Figur 6-10-Figur 6-12). Dette er ikke i tråd med internasjonale erfaringer som viser at det ved bruk av resirkulert tilslag i betong må forventes økt svinn, og tas hensyn til ved dimensjonering av for eksempel svinnarmering. Erfaringer internasjonalt er imidlertid ikke entydige, og undersøkelser har vist at opptil 25 % innblanding av resirkulert tilslag ikke gir signifikant økning i svinn³⁰. Andre undersøkelser har vist at 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^{31,32,33,34}.



Figur 6-10. Svinn betongkvalitet C35 NA Lab



Figur 6-11. Svinn betongkvalitet C45 NA



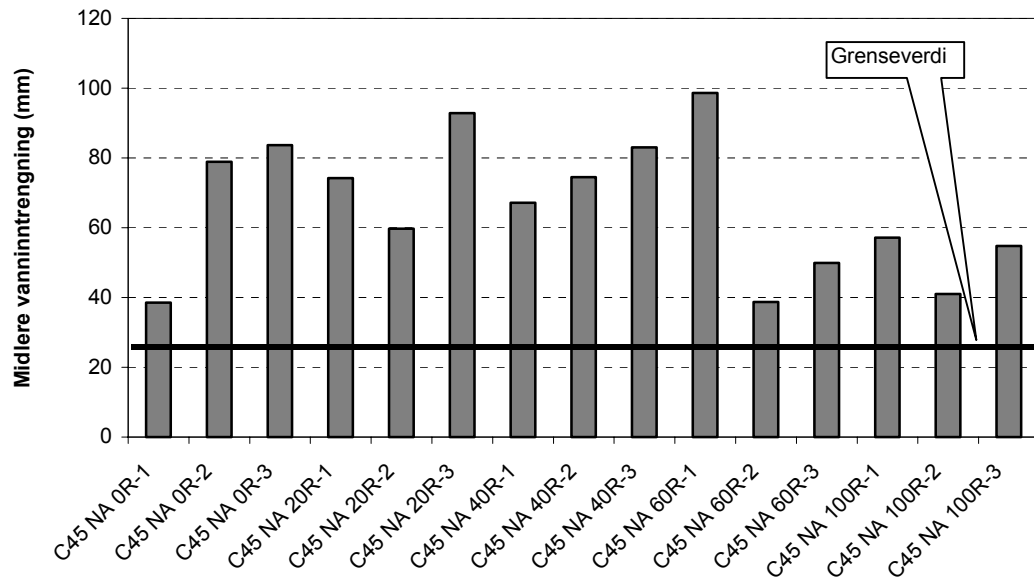
Figur 6-12. Svinn betongkvalitet C35 NA Sør

6.4.7 Frost

Frostprøving av betongkvalitet C35 NA fra Sørumsand-prosjektet med rent avionisert vann viste at både normalbetong og betong med 37 % resirkulert grovt tilslag hadde "meget god" frostbestandighet i henhold til Svensk Standard SS 13 72 44.

6.4.8 Vanninntrengning

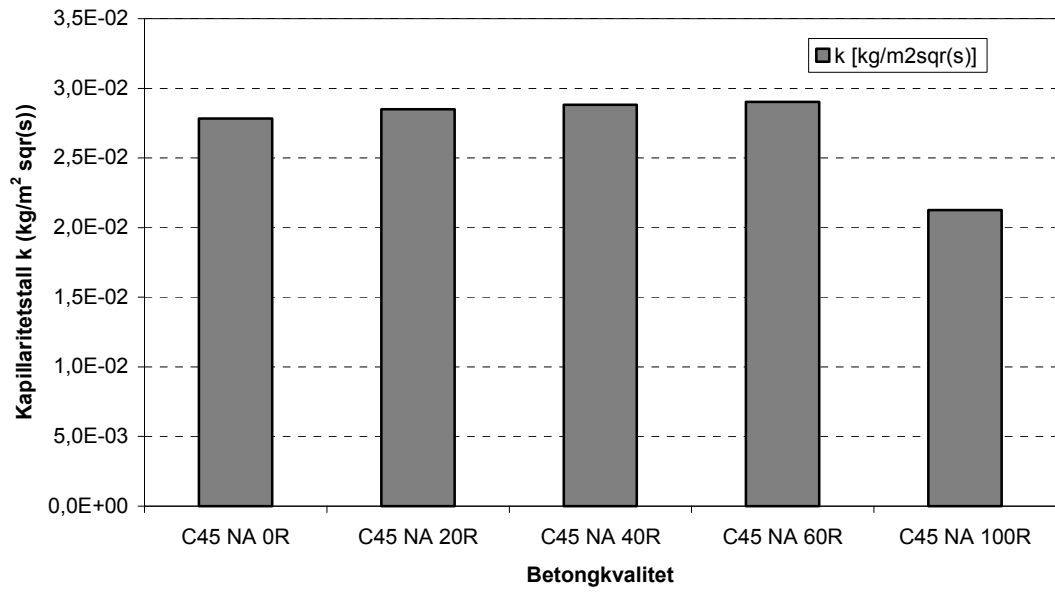
Ingen prøver fra betongkvalitet C45 NA tilfredstilte kravet i NS 3420 (1986, kravet er fjernet i 1999-utgaven) til mindre enn 25 mm vanninntrengning etter pr EN-ISO 7031³⁵ (Figur 6-13). Det ble ikke observert noen sammenheng mellom inntrengingsdybde og økende innblanding av resirkulert tilslag.



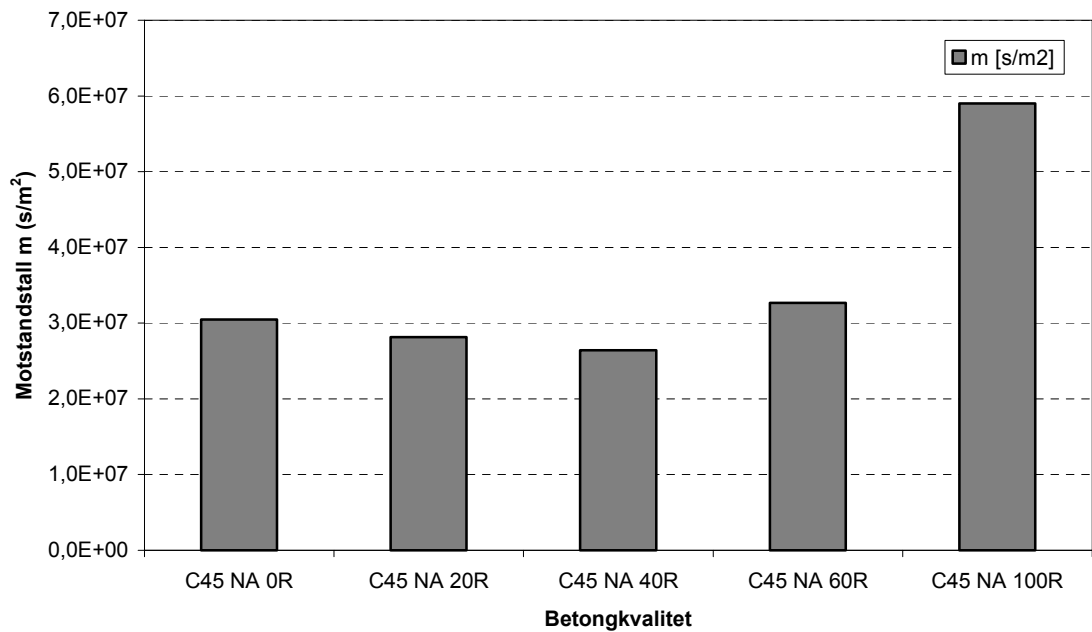
Figur 6-13. Vanninntrengning i betongresept C45 NA

6.4.9 Kapillær absorpsjon

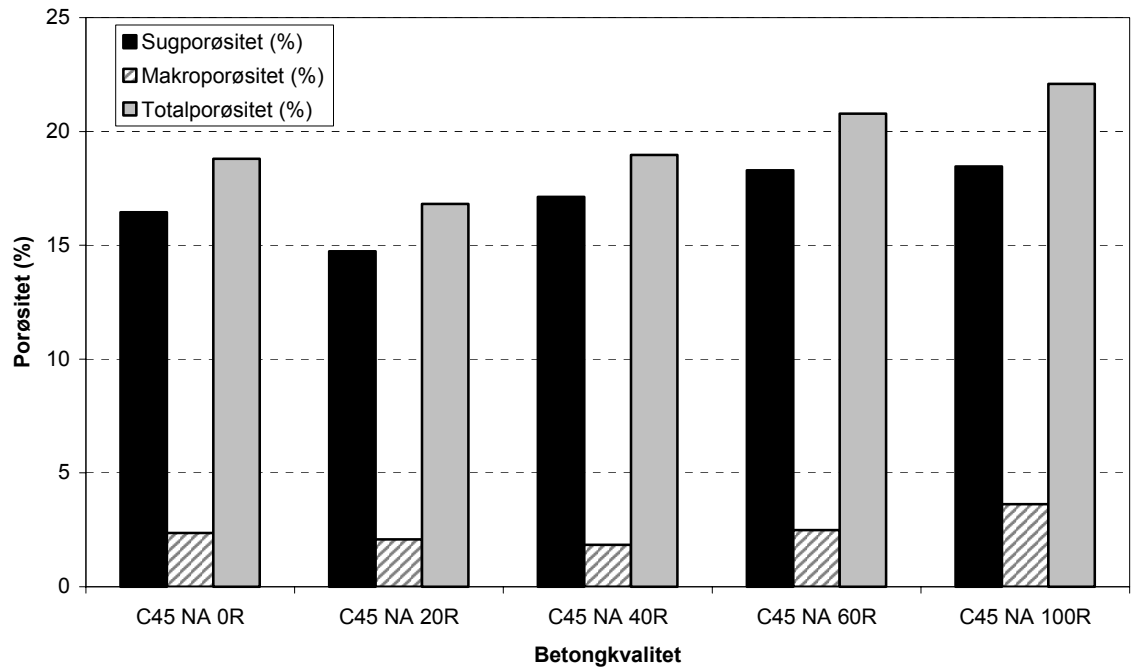
Endringer i beregnet motstandstall og kapillaritetstall ble først signifikant ved en innblanding på mer enn 60 % resirkulert tilslag (Figur 6-14 og Figur 6-15). Ved 100 % innblanding av resirkulert tilslag var motstandstallet signifikant høyere enn for referansebetong (Figur 6-16). Dette kan skyldes økt makroporøsitet som ble observert for denne resepten.



Figur 6-14. Kapillaritetstall k for betongresept C45 NA



Figur 6-15. Motstandstall betongresept C45 NA



Figur 6-16. Porøsitet betongresept C45 NA

6.4.10 Karbonatisering

Midlere karbonatiseringsdybde, funnet på oversiden av betongskivene i betongkvalitet C45 NA, varierte fra 3 til 7 mm³⁶. Økende innblanding av resirkulert grovt tilslag ga ikke økt midlere karbonatiseringsdybde. Det ble heller ikke registrert tilslagskorn i bulkbetong som var karbonatisert. Resultatene er i samsvar med andre undersøkelser som har påvist at karbonatisering av betong med resirkulert tilslag ikke avviker i nevneverdig grad fra karbonatisering av betong med naturlig tilslag³⁷. Andre undersøkelser har derimot vist en økning i karbonatiseringsdybden på nærmere 100 % etter ett år^{38,39}.

7. SPRØYTEBETONG

7.1 Bruk av resirkulert tilslag i sprøytebetong

Resirkulert betong som tilslag i sprøytebetong ble første gang benyttet i Norge i forbindelse med tildekking av en ekspandert polystyren (EPS) fylling på Oslo Sporveiers nye anlegg i Gaustadbekkdalen, utført av Veidekke ASA. Dette er også med stor sannsynlighet det første prosjekt i verden hvor resirkulert betong benyttes i en sprøytebetong. Dette prosjektet har inngått som delprosjekt i RESIBA - Resirkulert tilslag for bygg og anlegg.

I slutten av august 1999 ble det sprøytet ut totalt ca. 720 m² sprøytebetong på EPS - fyllingen i Gaustadbekkdalen med et volum på ca. 100 m³. Av dette volumet ble det sprøytet referansebetong med tilslag 0-8 mm uten resirkulert tilslag og sprøytebetonger med 7,5, 15 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. Ansvarlig for leveringen av sprøytebetongen var Oslo Ferdigbetong AS.

Fra resepter hvor det ble benyttet 0, 15 % og 20 % resirkulerte tilslagsmaterialer ble det sprøytet ut en pall med prøvemateriale. Pallene ble transportert til NBIs laboratorium for tildanning av prøvelegemer og prøving av mekaniske egenskaper og bestandighetsparametre.

7.2 Forsøksprogram

7.2.1 Resepter og materialer

Fire forskjellige sprøytebetongresepter ble benyttet i prosjektet. I tillegg til en referanseresept uten bruk av resirkulert tilslag, ble resepter med 7,5 %, 15 % og 20 % resirkulert tilslag (vektandel av total tilslagsmengde) benyttet i prosjektet. Det resirkulerte materialet var en blanding av betong og tegl. Masseforholdet i alle reseptene er justert for vannabsorpsjon i tilslaget (effektivt masseforhold). I Tabell 7-1 er det gitt en oversikt over de reseptene som ble benyttet i prosjektet.

Tabell 7-1. Sprøytebetongresepter (kg/m^3).

Materiale	Sprøytebetong med resirkulert andel i vekt %			
	0	7,5	15	20
Portland sement (Norcem)	485	485	485	485
Silika (Elkem)	30	30	30	30
Tilslag. A (0- 8 mm)	415	359	303	247
Tilslag. B (0- 8 mm)	1071	1003	935	866
Resirkulert tilslag. (0- 4 mm)	0	99	198	298
Vann	239	239	238	237
Stålfiber	40	40	40	40
P-stoff	3,50	3,50	3,50	3,50
SP-stoff	2,67	3,50	4,00	4,50
Sprøyteakselerator	23	20	20	20
v/b -forhold	0,46	0,46	0,46	0,45

7.2.2 Prøveprogram

En pall fra resepter med 0, 15 % og 20 % resirkulerte materialer ble sprøytet ut for tildanning av prøver og prøving i laboratoriet. Figur 7-1, viser Veidekkes utsprøyting av prøvepaller med resirkulert tilslag i betongen.



Figur 7-1 Sprøyting av prøvepall med resirkulert tilslag i betongen, Gaustadtrikken

På de utsprøytete prøvene ble det foretatt prøving av mekaniske egenskaper og bestandighetsparametre. En oversikt over prøvemetoder benyttet ved undersøkelsene av sprøytebetongen er gitt Tabell 7-2.

Tabell 7-2 Prøveprogram ved undersøkelse av sprøytebetong.

Prøvemethode	Prøvelegemer	Størrelse i mm L • B • H(D)	Prøvestandard
Trykkfasthet	Terninger	100•100•100	NS 3668 Betongprøving. Herdet betong. Prøvelegemers trykkfasthet
Bøyestrekfasthet, seighet	Bjelker	550•125•75	Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7 Sprøytebetong til fjellsikring
Vanninntrengning	Sylindere	150•150	pr EN-ISO 7031
Kapillærabsorpsjon	Sylindere	100•20	Nordtest NT Build 368 Concrete, repair materials: Capillary absorption
Frostbestandighet	Prismer	150•150•50	Svensk Standard SS 13 72 44 Betongprovning - Hårdnad betong - Betongkuber før frysprovning (modifisert inkludert ultralydmåling og vannopptak)

Trykkfasthet

Trykkfastheten ble undersøkt på terninger støpt ut i felt (uten akselerator) og lagret sammen med sprøytebetongplatene. Terningene fikk de samme herdebetingelsene som platene før de ble transportert til laboratoriet sammen med platene. Ved mottak ble terningene vannlagret frem til prøving etter 28 døgn. Prøver ble kun støpt ut av referanseblandingen og av sprøytebetongen med 20 % resirkulert tilslag. Resultatene fra trykkprøvingen av de støpte terningene er vist i Tabell 7-3.

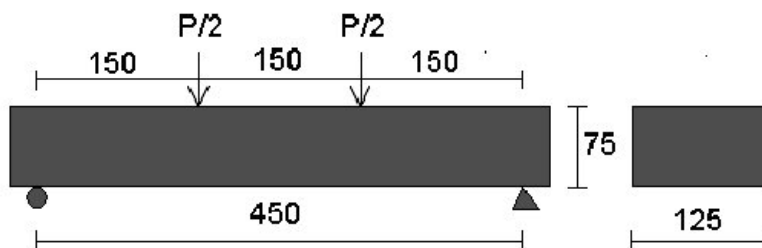
Bøyestrekfasthet og bruddseighet

Prøvingen ble utført på utsagde bjelker med dimensjon 75 x 125 x 550 mm³ (h x b x l). Prøvingen ble utført i en Wolpert universalprøvemaskin. Prøveoppstillingen er vist i Figur 7-2. Senteravstand mellom opplagrene var 450 mm. Strekkpåkjent side av bjelkene var den siden av betongen som vendte mot sprøytebetongens overflate.

Lastpåføringen ble deformasjonsstyrt og var 0,25 mm/min. til ca. 1,0 mm nedbøyning, deretter ble hastigheten økt til 0,50 mm/min. Lasten ble påført som to linjelaster i tredjedelspunktene, for å få et bøyemoment i spennet. Bøyestrekfastheter og restbøyepenninger ble beregnet i henhold til Norsk Betongforenings Publikasjon nr 7 "Sprøytebetong til fjellsikring"⁴⁰. Bruddseigheter ble beregnet i henhold til ASTM C 1018-97⁴¹.

Resultater fra bøyeforsøkene er vist i Tabell 7-4., Tabell 7-5.

Mål i mm



Figur 7-2 Måling av bøyestrek/bruddseighet med to linjelaster i tredjedelspunktene

Vanninntrengning

Fra hver sprøytebetongprøve ble det boret ut tre kjerner med diameter 150 mm. Kjernene ble saget til en lengde på 150 mm. Vanninntrengning ble bestemt i henhold til NS 3420 (1986) pkt. 01.9, hvor det henvises til ISO/DIS 7031. Prøvene ble påført et ensidig vanntrykk på: 0,3 MPa, 0,5 MPa og 0,7 MPa over en periode på tre døgn med ett døgn ved hvert trykknivå. Etter endt trykkforløp, ble kjernene splittet umiddelbart og vanninntrengningsfronten tegnet opp. En maksimal og en midlere vanninntrengning ble registrert for hver prøve. Resultater fra vanninntrengningsforsøkene er gitt i Tabell 7-6.

Kapillærabsorpsjon

Fra hver prøve av betongresept ble det boret ut en kjerne med diameter på 100 mm som ble sagd i tre skiver med høyde 20 mm. Skivene ble prøvd etter følgende prosedyre:

- tre døgn torking i tørkeskap ved 105°C, veing og avkjøling
- kapillærsuging med prøveflaten senket ca. 1 mm ned i vann, avtørking og veing etter 10 og 30 minutter, 1, 2, 3, 4 og 6 timer, 1, 2, 3 og 4 døgn

Fra de registrerte vekter ble det beregnet motstandstall og kapillaritetstall. Resultater fra kapillær vannabsorpsjon er vist i Tabell 7-7.

Frostbestandighet

Fryse-tineprøvingen med saltløsning ble utført iht. SS 13 72 44, fremgangsmåte II, metode B (dvs. prøving av sagflate med rent vann). I henhold til standarden skal den totale prøveflate være minimum 4 stk. 150x150x50 mm skiver for en prøveserie.

Det ble saget ut fire skiver fra hver sprøytebetongresept for prøving. Etter oppsaging i skiver, ble prøvene kondisjonert i 7 døgn i et klimarom med $23 \pm 2^\circ \text{C}$ og 65 % relativ fuktighet. Prøvene ble deretter preparert som beskrevet i SS 13 72 44 (gummitetting rundt og ekspandert polysteren som isolasjon), og påført rent vann på prøveflaten. Etter 3 døgn ble prøvene plassert i fryse-/tineskapet med rent vann på prøveflaten. Avskallet mengde betong ble veid (kg/m^2) etter 7, 14, 28, 42 og 56 fryse-/ tinesykler, og evt. intern oppsprekking ble målt med ultralyd. Resultater fra fryse- tineforsøkene er vist i Tabell 7-8– Tabell 7-10.

7.3 Resultater og vurderinger

7.3.1 Erfaringer fra betongstasjon og felt

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. Dette skyldes at materialene var lagret utendørs hos leverandøren. Det ble også fra betongleverandøren rapportert innhold av urenheter 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.

Sprøytebetongene 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 7-3 viser Veidekkes utsprøyting av sprøytebetong med resirkulert tilslag på EPS -fylling for Gaustadtrikken.



Figur 7-3. Utsprøyting av sprøytebetong med resirkulert tilslag på EPS -fylling, Gaustadtrikken

7.3.2 Trykkfasthet

Resultatene fra trykkprøvingen av de støpte terningene er vist i Tabell 7-3. Bruk av 20 % resirkulert tilslag ga en midlere reduksjon i trykkfasthet på 18 %.

Tabell 7-3 Resultater for densitet og trykkfasthet 28 døgns alder, støpte terninger

Prøve	Densitet kg/m ³	Trykkfasthet MPa
Referanse	2266	61,8
20 % resirk.	2155	50,7

7.3.3 Bøystrekkfasthet og bruddseighet

Resultater fra bøyesforsøkene er vist i Tabell 7-4 og Tabell 7-5. Bruk av 15 og 20 % resirkulert tilslag ga en midlere reduksjon i bøystrekkfasthet på 16 %. Innblanding av resirkulert tilslag førte ikke til endringer i seighetsindeksen i forhold til referansebetong.

Tabell 7-4 Bøystrekkfastheter og restbøystrekkfastheter iht. NB. Publ. nr. 7.

Prøvetype	Bøystrekkfasthet MPa	Restbøystrekkfasthet i MPA v/nedbøyning	
		1 mm	3 mm
Referanse	5,8	2,16	0,93
15 % resirk.	4,9	1,93	1,34
20 % resirk.	4,9	1,94	0,96

Tabell 7-5 Seighetsindekser i henhold til ASTM C 1018 – 97

Prøve	Seighetsindekser				
	I ₅	I ₁₀	I ₂₀	I ₃₀	I ₅₀
Referanse	3,8	6,2	9,9	12,5	16,0
15 % resirk.	3,8	5,9	9,6	12,9	18,7
20 % resirk.	3,7	5,8	9,6	12,8	17,3

7.3.4 Vanninntrengning

Resultater fra vanninntrengningsforsøkene viste en reduksjon i maksimum vanninntrengning på opptil 33 % ved innblanding av 20 % resirkulert tilslag (Tabell 7-6). Årsaken til dette er sannsynligvis effekten av det reduserte bindemiddelforholdet som oppstår på grunn av vannopptak i det porøse resirkulerte tilslaget i betongens ferske tilstand. Effektene er imidlertid små, og samtlige prøver er over maksimumskriteriene iht. NS 3420 (1986) på 25 mm.

Tabell 7-6 Resultater fra vanninntrengning

Prøve	Maksimum vanninntrengning mm
Referanse	45
15 % resirk.	38
20 % resirk.	30

7.3.5 Kapillærabsorpsjon

Fra de registrerte vekter ble det beregnet motstandstall, m og kapillaritetstall, k , som vist i Tabell 7-7. Innblanding av resirkulert tilslag ga et høyere motstandstall m enn referansebetong, dvs. en mindre permeabel betong. Den svake økningen i kapillaritetstallet, k for prøver med resirkulert tilslag er trolig forårsaket av en økning i t_{kap} på grunn av reduksjoner i bindemiddeltallet tilsvarende som observert ved vanninntrengningen.

Tabell 7-7 Resultater fra kapillær vannabsorpsjon

Prøve	m $s/m^2 \cdot 10^7$	k $kg/m^2 \cdot \sqrt{s} \cdot 10^{-2}$
Referanse	5,68	2,38
15 % resirk.	7,50	2,29
20 % resirk.	7,40	2,47

7.3.6 Frostbestandighet

Resultater fra fryse- tineforsøkene er vist i Tabell 7-8– Tabell 7-10. Etter fryse- tineprøvingen iht. SS 13 72 44 ble prøver med og uten resirkulert tilslag klassifisert til å ha «meget god frostbestandighet». Den begrensede økningen i avskallet materiale som observeres for prøver sprøytet ut med resirkulert tilslag, skyldes trolig avskalling av materiale fra det resirkulerte tilslagsmaterialet i prøveflatene.

Vannopptaket øker for prøver med resirkulert tilslag på grunn av dette tilslagsets høyere porøsitet. Denne økningen i vannopptak medfører imidlertid ikke en økt nedbrytning av sprøytebetongen i form av økt avskalling eller intern oppsprekking. Målinger av ultralydhastighet viser en økning i hastighet med økende tid for samtlige blandinger sannsynligvis på grunn av økningen i vannopptak.

Tabell 7-8 Resultater fra fryse-/tineforsøk, avskallet materiale

Prøve	Akkumulert avskallet materiale i kg/m^2 (sykler)				
	7	14	28	42	56
Referanse	0,003	0,006	0,010	0,014	0,016
15 % resirk.	0,006	0,010	0,017	0,021	0,024
20 % resirk.	0,004	0,009	0,015	0,020	0,023

Tabell 7-9 Resultater fra fryse-/tineforsøk, vannopptak

Prøve	Vannopptak i g (sykler)				
	7	14	28	42	56
Referanse	11,75	17,51	26,76	31,77	34,52
15 % resirk.	13,26	19,51	30,77	36,27	37,53
20 % resirk.	18,50	25,76	38,52	43,69	45,36

Tabell 7-10 Resultater fra fryse-/tineforsøk, ultralyd hastighet

Prøve	% av UPV ved 0 sykler (sykler)				
	7	14	28	42	56
Referanse	103,6	104,8	105,4	106,0	106,6
15 % resirk.	103,7	104,5	105,2	106,0	106,5
20 % resirk.	103,6	105,0	105,6	107,2	107,2

8. BYGNINGSBLOKKER

8.1 Bruk av resirkulert tilslag i bygningsblokker

Optiroc produserte i september 2000 ca. 10 m³ Leca lydskilleblokk med opptil 30 % resirkulert tilslag. BA Gjenvinning sto for levering av det resirkulerte tilslaget i sortering 4-8 mm. Både prøveproduksjon, prøving og produksjon ble utført hos Leca Lillestrøm.

8.2 Forsøksprogram

De resirkulerte massene ble undersøkt visuelt ved befarings hos leverandør BA Gjenvinning.

Utlekking av eventuelt miljøfarlige stoffer fra de resirkulerte massene ble analysert hos NBI.

Det ble foretatt produksjonsinterne målinger av de ferdige blokkene for å kontrollere om de tilfredstilte de forutsatte krav.

8.3 Resepter og materialer

8.3.1 Resirkulert masse

Resirkulert bygningsmasse (20-25 m³) ble levert av BA Gjenvinning til Leca Lillestrøm 18.09.00. Spesifikasjoner for massen:

- fraksjon: 4-8 mm
- egenvekt: 1160 kg/m³
- tørr egenvekt: 1078 kg/m³

8.3.2 Gjennomføring

Gjennomføringen av prøveproduksjonen startet med befarings av den resirkulerte massen. Her ble det avtalt at fremmedlegemer som trevirke, plast, isolasjon o.l. skulle fjernes (f.eks. ved hjelp av blåsing).

Massen ble blandet inn med en andel fra 10 – 30 % ved produksjon av Leca lydskilleblokk. De andre råvarene ble justert for at blokktypen skulle kunne produseres innenfor spesifiserte krav. Det var sand som ble erstattet med den resirkulerte massen. Det ble produsert ca. 10 m³ ferdig vare.

8.3.3 Produksjon

Produksjonen gikk uten tekniske problemer.

8.4 Resultater og vurderinger

8.4.1 *Resirkulert masse*

Analysene på NBI viser at de resirkulerte massene som er undersøkt, ikke avgir miljøfarlige stoffer i signifikante mengder. Avgivelse av kalsium, krom og kobber stammer sannsynligvis i hovedsak fra sementfraksjoner i massen, mens PAH sannsynligvis stammer fra asfaltfraksjoner.

Prøvepartiet inneholdt uønsket materialer som treflis, plast og isolasjonsull, selv om det på befaring ble avtalt at slike elementer skulle fjernes.

8.4.2 *Ferdig produkt*

Produksjonsinterne målinger viser at blokken tilfredsstillende til kravene til produktet. Visuelt var strukturen i blokken litt forskjellig fra vanlig Leca lydskilleblokk, ved at noe treflis kunne observeres i enkelte blokker.

Dette er i tråd med et av flere fullskalaforsøk som er rapportert, bl.a. i Frankrike og England. I England ble det gjort forsøk både i laboratorium og i fullskala på betongvarefabrikk med produksjon av tørrstøpte sementbaserte bygningsblokker⁴². 30 vekt-% resirkulert tilslag i fraksjonen 6 – 12 mm ble funnet å gi blokker med nokså like egenskaper som referanseblokker med rent naturtilslag. 10-minutters vannoppsug, fasthet og veggstyrke ble redusert med ca. 5 %, mens E-modul i vegg ble redusert med ca. 10 %. Svinmålinger på laboratorie- og fullskalaprøver opp til 28 døgn viste ingen effekt av 30 % resirkulert tilslag.

8.4.3 *Videre produksjon*

I 2001 ble det ikke produsert lydblokk med resirkulert masse fra BA Gjenvinning, fordi BA Gjenvinning ikke klarte å levere når Optiroc skulle produsere lydblokk. Dette var på våren 2001. Det ble i stedet benyttet knust bruddblokk fra egen produksjon.

Optiroc ønsker imidlertid å jobbe videre med resirkulert tilslag i blokkproduksjonen, dersom resirkulert tilslag er tilgjengelig til tilfredsstillende pris og kvalitet. I tillegg vil også markedets etterspørsel etter slike produkter spille inn.

9. ØKONOMI

9.1 Generelle faktorer

9.1.1 *Pris på resirkulert tilslag og transportavstand*

Prisen på resirkulert tilslag levert blandeverket sammenlignet med naturlig tilslag, vil være avgjørende for fremtidig bruk av resirkulert tilslag i betong. Prisen på det resirkulerte tilslaget vil dermed være svært avhengig av transportkostnader.

9.1.2 *Sementsiloer*

Siden all resirkulert tilslag skal betraktes som alkalireaktivt dersom det motsatte ikke er dokumentert, må sementtype velges iht. til dette evt. må silikastøv i tilstrekkelige mengder benyttes. De betongleverandørene som ikke har lavalkalisement som sin standardsement, vil få behov for en ekstra sementsilo. Eventuelt må de bytte sementtype, noe som vil påføre ekstrakostnader pga. endring og ny godkjenning av alle resepter.

9.1.3 *Tilslagssiloer*

Dersom betongleverandøren ikke har reservesilo, må det påregnes ekstra kostnader for tømning og tilrettelegging av de siloer som finnes eller eventuelt for anskaffelse av en ekstra silo. Ved ledig silokapasitet medfører det imidlertid ingen ekstrakostnader for lagring og behandling av tilslaget.

9.1.4 *Behov for utvidet prøvetaking*

Fuktinnhold i resirkulert tilslag

Det vil kreve ekstra undersøkelser for å finne absorbert vann for det aktuelle tilslaget før blanding starter.

Det kan være nødvendig å ta hyppigere prøver av fuktinnhold under produksjon av betong.

Finstoff

Det kan være en risiko for at spesielt det fine tilslaget fryser om vinteren pga. relativt høyt fuktinnhold.

Byggeplasskontroll

Erfaringene fra feltforsøkene viser at det ikke er behov for ekstra prøvetaking på byggeplass.

9.2 Konstruksjonsbetong

9.2.1 P-hus Fornebu

Da Veidekke ASA bygget Telenors P-hus på Fornebu, ble det brukt resirkulert tilslag i ca. 25 fundamenter. I C35 NA betongen ble 20 % av det grove tilslaget erstattet med resirkulert tilslag sortering 10 – 20 mm fra BA Gjenvinning. Totalt ble det produsert ca. 80 m³ betong med resirkulert tilslag.

Materialpriser

Resirkulert tilslag

Innkjøp av 10-20 mm ren betong fra BA Gjenvinning	30 tonn á kr 50,- = kr 1 500,-
Transport fra BA Gjenvinning	30 tonn á kr 30,- = kr 900,-
Totalt	kr 2 400,-

Alternativt naturlig tilslag

Innkjøp av 11 – 16 mm naturlig pukk fra Tangen	30 tonn á kr 60,- = kr 1 800,-
Transport av dette	30 tonn á kr 32,- = kr 960,-
Totalt	kr 2 760,-

Resirkulerte tilslag gir en besparelse på ca. kr 12,- per tonn tilslag. Dette tilsvarer en besparelse på 2,25 kr/m³ betong ved 20 % innblanding. Tar en hensyn til noe økt håndtering/blanding, blir prisen på resirkulert tilslag levert Fornebu tilnærmet lik eller noe lavere enn alternativet med naturlig tilslag.

Betongproduksjon

På HF Ferdigbetongs blandeverk på Fornebu var det tre tilslagssiloer for grovt tilslag; 1 for 16 - 22 mm tilslag og to for 8 - 16 mm tilslag. Dette er relativt vanlig silokapasitet. På Fornebu ble en av siloene for 8 – 16 mm brukt til resirkulert tilslag. Dette medførte behov for oftere påfylling og mer påpasselighet. Dessuten kan det føre til problemer for mindre verk og ved kveldstøp på større verk, der bemanningen er liten.

På Fornebu beløp kostnadene for omlasting av tilslag i silo samt rengjøring av laboratorium etter prøvestøp seg til kr 2 700,- eks mva.

Utstøping

Selve utstøpingen medførte ingen ekstra kostnader, da det ikke ble foretatt kontroll utover vanlig mottakskontroll.

Dokumentasjon

Det ble i tillegg utført en del laboratorieprøving utover prøvningsomfanget i kontrollklasse "utvidet kontroll". Dette ble utført av NBI, Veidekke og HF Ferdigbetong. Dette ble gjort i RESIBA-prosjektet spesielt og ikke fakturert prosjektet.

9.2.2 Sørumsand videregående skole

På Sørumsand videregående skole, som Veidekke ASA bygde for Akershus Fylkeskommune, ble det høsten 2001 brukt resirkulert betong i en tredjedel av

betongen. 37 % av det grove tilslaget i C35 NA-betongen ble erstattet med resirkulert tilslag. Betongen ble brukt i fundamenter, kjellervegger og søyler i halve kjelleren.

Materialpriser

Unicon avdeling Lørenskog leverte betongen. Prisen på betong med resirkulert tilslag var 75 kr/m³ billigere enn den vanlige C 35 betongen. Det resirkulerte tilslaget ble transportert kostnadsfritt til blandeverket fra BA Gjenvinning. Dvs. betongleverandøren betalte ikke for 37 % av det grove tilslaget.

Kostnader for resirkulert tilslag som ble belastet RESIBA

10-20 mm ren betong fra BA Gjenvinning	207 tonn á 45kr/tonn = kr 9 315,-
Transport	8 lass á kr 950,- = kr 7 600,-
Totalt	kr 16 915,-

Prisen for resirkulert tilslag levert blandeverk er kr 82,- per tonn. Dette tilsvarer 30 kr/m³ betong ved 37 % innblanding.

Betongproduksjon

Unicon utførte kontroll ved blandeverket i et omfang som krevd for ”utvidet kontroll”. Dette var inkludert i betongprisen.

Blandeverket hadde en lavalkalisement som standardsement, og det ble dermed ingen ekstra kostnader som følge av kravet om at resirkulert tilslag skal anses som alkalireaktivt.

Blandeverket hadde ekstra tilslagssilo til rådighet, og det ble ingen ekstrakostnader i forbindelse med dette.

Utstøping

På byggeplass ble det ikke foretatt kontroll utover vanlig mottakskontroll. Dvs. ingen økte kostnader. Et lite pluss har imidlertid vært jevnere konsistens, noe som medførte mindre stopp.

Dokumentasjon

Det ble i tillegg utført en del laboratorieprøving utover utvidet kontroll. Dette ble utført av NBI, Veidekke og Unicon. Dette ble gjort i RESIBA-prosjektet spesielt og ikke fakturert prosjektet.

9.3 Sprøytebetong

På Oslo Sporveiers nye anlegg i Gaustadbekkdalen sprøytet Veidekke ASA høsten 1999 totalt 100 kubikkmeter sprøytebetong på en lettfylling av EPS, der 20 % av sanden ble erstattet med resirkulert tilslag (knust betong og tegl). Det ble totalt sprøytet et volum på 72 m³ C35 NA betong over en flate på 720 m². Det ble sprøytet i en tykkelse av 10 cm på fyllingen som varierte i høyde fra 0 til 6 meter.

9.3.1 *Materialpriser*

Resirkulert tilslag

Innkjøp av 30 tonn 0-4 mm fra BA Gjenvinning	30 t x 17 kr/t = kr 510,-
Transport	30 t x ca. 45 kr/t = kr 1 350,-
Totalt	kr 1 860,-

Betongproduksjon

Sprøytebetongen med det resirkulerte tilslaget krevde uforholdsmessig lang blandetid pga. høyt finstoffinnhold og materiale som pakket seg i siloen. I tillegg var det noen endringer i resepten som medførte kostnader.

Ekstraarbeid med å få resirkulerte masser ut av silo (to mann á 3 t x 450,-) kr 2 700,-
 Ekstra blandetid er satt til rundsum kr 3 000,-

Det ble blandet en tilnærmet C45-betong med noe høyere v/c-tall. Tilslaget var mer vannkrevende, og slumtapet virket også høyere enn for referansebetong. En reduksjon i sementmengden på 10 kg/m³ og 5 kg/m³ på silikaen bedret dette.

Sprøyting

Selve sprøytingen gikk meget bra og medførte ingen økte kostnader.

Dokumentasjon

Det ble i tillegg utført laboratorieprøver i forkant, under og etter sprøytingen. Dette ble utført av NBI, Veidekke og HF Ferdigbetong. Dette ble gjort i RESIBA-prosjektet spesielt og ikke fakturert prosjektet.

9.4 **Bygningsblokker**

BA Gjenvinning skal ha 30 kr/tonn + ca.130 kr/tonn i transport. Dette mener Optiroc AS er for dyrt sammenlignet med bruk av egen knust bruddblokk som koster ca. 80 kr/tonn.

Utgangspunktet er at Resirk-blokka skal ha lik enhetspris som lydskilleblokka.

10. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

10.1 Konstruksjonsbetong

Med unntak av krav til mineralsk innhold (betong og/eller stein > 99%) tilfredstilte det resirkulerte tilslaget i fraksjon 10-20 mm kravene til klassifisering "Type II" i henhold til punkt 2.1 "Klassifisering av resirkulert tilslag" i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 26. Det resirkulert tilslag tilfredstiller kravene til Type 2A i høringsutkastet til "Forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag" fra RESIBA der kravene er satt til > 94 vekt-% eks. tegl og 99 vekt-% inkl. tegl.

Midlere målt vannabsorpsjon i resirkulert tilslag (10-20 mm) varierte fra 3,1 til 5,0 %, og ved bruk av resirkulert tilslag i betong må et økt vannbehov påregnes som følge av tilslaget evne til å absorbere vann. Ved å ta hensyn til det resirkulerte tilslaget evne til å absorbere vann i fersk fase, tilsvarende som for annet sugende tilslag, unngås reduksjon i støpelighet.

Det resirkulerte tilslaget som ble benyttet, inneholder ikke sulfater eller klorider av betydning for betongens egenskaper.

Resultatene indikerer at bruk av opptil 100 % resirkulert grovt tilslag ikke vil innebære redusert støplighet over tid sammenlignet med referansebetong forutsatt at det tas hensyn til det resirkulerte tilslaget absorpsjonsegenskaper (1-times sug) i vann. Dette er i tråd med tilbakemeldinger fra anleggene hvor det ikke var mulig å skille mellom betong med og uten resirkulert tilslag. Erfaringene tilsier at produksjon og utstøping av betong med resirkulert tilslag av betong i hovedtrekk ikke avviker nevneverdig fra betong med konvensjonelt tilslag med tanke på blanding, transport, komprimering og utstøping. Dette forutsetter at det tas hensyn til det resirkulerte tilslaget evne til å absorbere vann i betongens fersk fase.

Det ble ikke observert større variasjoner i luftinnholdet enn normalt (2-3 %) ved bruk av resirkulert pukk.

Det ble ikke funnet noen direkte sammenheng mellom midlere målt trykkfasthet og økende innblanding av resirkulert grovt tilslag. Resultatene viser en tendens til reduksjon i midlere målt trykkfasthet som funksjon av økende innblanding av resirkulert grovt tilslag men resultatene er ikke entydige. Konklusjonen må bli at sammenhengen mellom fritt vann-/sement-innhold og trykkfasthet også gjelder for betong med resirkulert betong som tilslag, dog med mindre justeringer av trykkfasthetsnivå som følge av et større standardavvik på målt trykkfasthet ved bruk av resirkulert pukk.

Tilsvarende som for trykkfasthet bør det tas høyde for et større standardavvik på E-modul sett i forhold til en betongsammensetning med naturlig tilslag, som følge av større variasjoner i det resirkulerte tilslaget mekaniske egenskaper. Resultatene viste en reduksjon i midlere E-modul på opptil 10 % ved å erstatte 100 % av naturlig pukk med resirkulert pukk av betong.

Innblanding av resirkulert tilslag førte ikke til signifikante endringer i svinnegenskapene til de ulike betongreseptene.

Frostprøving av betongresept C35 NA fra Sørumsand-prosjektet, med rent avionisert vann, viste at både normalbetong og betong med 37 % resirkulert grovt tilslag hadde "meget god" frostbestandighet.

Ingen prøver fra betongresept C45 NA tilfredstilte kravet i NS 3420 (1986) til mindre enn 25 mm vanninntrengning etter pr EN-ISO 7031. Det ble ikke observert noen sammenheng mellom inntrengingsdybde og økende innblanding av resirkulert tilslag.

Økende innblanding av resirkulert grovt tilslag ga ikke økt midlere karboniseringsdybde i forhold til referansebetong. Det ble heller ikke registrert tilslagskorn i bulkbetong som var karbonisert.

10.2 Sprøytebetong

Resirkulert betong som tilslag i sprøytebetong ble første gang benyttet i Norge i forbindelse med tildekking av en EPS-fylling på Oslo Sporveiers nye anlegg i Gaustadbekkdalen.

Fullskalaforsøk med bruk av opptil 20 % resirkulert tilslag (0-4 mm) i sprøytebetong var vellykket og medførte ikke vesentlige endringer i fersk og herdet betongs egenskaper utover en reduksjon på ca. 18 % i trykkfasthet av støpte terninger i forhold til referansebetong. Dette stemmer med observert reduksjon i bøyestrekfasthet (ca. 15 %).

For restbøyestrekfastheter iht. NBI Publ. nr 7, observeres det en reduksjon ved 1 mm nedbøyning, mens dette ikke er tilfelle for 3 mm nedbøyning. For prøven med 15 % resirkulert materiale observeres det en økning i restbøyestrekfasthet. For prøven med 20 % er det ingen forskjell fra referansen.

Ved beregning av seighetsindekser iht. ASTM C 1018 ble det ikke observert signifikante forskjeller for sprøytebetong med og uten resirkulert tilslag.

Fryse-/tineprøvingen iht. SS 13 72 44 klassifiserer prøver med og uten resirkulert tilslag til å ha «*meget god frostbestandighet*». Den begrensede økningen som observeres i avskalling for prøver sprøytet ut med resirkulert tilslag, skyldes sannsynligvis avskalling av materiale fra resirkulerte tilslagsmaterialer i prøveflatene.

10.3 Bygningsblokker

Prøveproduksjon av bygningsblokker med opptil 30 % resirkulert tilslag (4-8 mm) gikk uten tekniske problemer, og produsenten ønsker å videreføre bruken av resirkulert tilslag i blokkproduksjonen dersom resirkulert tilslag er tilgjengelig til tilfredsstillende pris og kvalitet. Markedets etterspørsel etter slike produkter ble vurdert som avgjørende for videre produksjon.

Analysene på NBI viser at de resirkulerte massene som ble benyttet i blokken ikke avgir miljøfarlige stoffer i signifikante mengder.

11. REFERANSE

- ¹ Mehus, J., Lahus, O., Jacobsen, S. Myhre, Ø., "Bruk av resirkulert tilslag i bygg og anlegg - status 2000", NBI Prosjektrapport 287, Noregs byggforskningsinstitutt, Oslo, 2000.
- ² prEN 13285, Unbound mixtures, CEN/TC 227, 1998
- ³ prEN 13242, Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction, CEN/TC 154, 1998
- ⁴ Forslag til terminologi knyttet til resirkulert tilslag, Høringsutkast, Pukk- og Grusleverandørenes Gjenvinningsforum, juni 2001
- ⁵ Statistisk sentralbyrå: Bygg- og anleggsavfall 1998 – 1,5 millioner tonn bygg- og riveavfall, Ukens statistikk nr. 50/1999 s.5-6, (<http://www.ssb.no/avfbygganl/>).
- ⁶ Bøe, T.: Pukkverksdrift kontra gjenvinning – kan vi spille på lag ? Innlegg under seminaret "Resirkulert betong og tegl – en stor bløff eller et kvalitetsprodukt ?" i regi av RESIBA og Akershus fylkeskommune, Veidekke, Skøyen 25. nov. 1999
- ⁷ <http://www.grip.no/okobygg>
- ⁸ Kåre Johansen, Per Arne Dahl og Jørn Injar, "Hulldekker med resirkulert pukk - unngå spor av tegl", Betongindustrien Nr 4, 7. des 2000
- ⁹ Arne Linja, Selmer Skanska AS: Pilestredet Park - resirkulert materiale i ny produksjon, Norsk Betongdag 1. - 3. november 2001
- ¹⁰ prEN12620 Aggregates for concrete, ver. 98.11.25 (TG2-357/TG3-118 12 s.), 1998.
- ¹¹ 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.).
- ¹² <http://www.nbr.no>
- ¹³ Final technical report of the CEN/TC 154 ad hoc group for recycled aggregates, Doc. N484 E 17. sept. 1998, 16 s.
- ¹⁴ Norsk Betongforenings veiledning Publikasjon nr. 26 "Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon", Oslo, 1999
- ¹⁵ Dansk Betonforening, Recommendations for the use of recycled aggregates for concrete in passive environmental class, Publication no. 34, 1990.
- ¹⁶ "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, 1992
- ¹⁷ Collins R. J., "Upgrading the use of recycled aggregates", Proc. From CIB World Building Congress 1998, Construction and Environment, pp. 101-106, Gävle, Sweden, 1998
- ¹⁸ Hordijk, D. A., "Menggranulatbeton; Resultaten van experimenteel onerzoek en achtergrondrapport bij CUR, Aanbeveling 58/2, TNO-rapport 98- CON-R1270/04, Nederlands, 1999
- ¹⁹ Boverkets handbok om användning av återvunna byggnadsmaterial:BÅ 99, 25 s. Boverket, Karlskrona, Sverige, 1999
- ²⁰ Lahus, O., Lillestøl, B., " Materialdokumentasjon av C35 NA betong med resirkulert tilslag, Parkeringshus Fornebu", Oppdragsrapport O9598.222, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, 15.12.1999
- ²¹ Lahus, O., Lillestøl, B., " Materialdokumentasjon av C45 NA betong med resirkulert tilslag, Parkeringshus Fornebu", Oppdragsrapport O9598.222, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, 15.05.2000
- ²² Mehus, J., Hauck, C., " Materialdokumentasjon av C35 NA betong med resirkulert tilslag, Sørumsand vg. skole", Oppdragsrapport O9598.224, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, juni 2002
- ²³ Forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag, RESIBA prosjektrapport 04/2002, NBI prosjektrapport 328, April 2002.
- ²⁴ "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 96-97, 1992.
- ²⁵ Martinsen, J., Lahus, O., "Materialdensitet i konstruksjoner av lettbetong", Hovedoppgave 1992, Institutt for konstruksjonsteknikk, Norges tekniske høyskole, Trondheim, 1992.
- ²⁶ "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s.

-
- 96-97, 1992.
- 27 Mukai, T., Kikuchi, m., Ishikawa, N., "Study on the properties of concrete containing recycled concrete aggregates", Cement Association of Japan, 32nd Review, 1978.
- 28 Johansen, K., Dahl, P. A., Hegseth, S., Pedersen, F., "Huldekker med resirkulert pukk", Betongindustrien nr. 2, s. 28-20, Norge, Juni 1999
- 29 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 101-103, 1992.
- 30 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.
- 31 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.
- 32 Hansen, T.C, Boegh, E., "Elasticity and drying shrinkage of recycled aggregate concretes", ACI Journal, s. 648-652, 1985.
- 33 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.
- 34 Ravindrarajah, R.S., Tam, T.C., "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate", Magazine of Concrete Research, 37, No. 130.
- 35 prEN-ISO 7031
- 36 Lahus, O., "Karbonatisering av C45 NA betong med resirkulert tilslag, Parkeringshus Fornebu", NBI Oppdragsrapport, Norges Byggforskning sinstitut, Oslo, desember 2001.
- 37 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.
- 38 Dillmann, R., "Concrete with recycled concrete aggregate", Proc. of the Int. Symp. Sustainable onstruction: Use of Recycled Concrete Aggregate, Ed. Ravindra K. Dhir, Neil A. Henderson and Mukesh C. Limbachiya, University of Dundee, s. 239-253, Dundee, 1998.
- 39 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", RILEM Report No. 6, TC 37-DRC, Ed. T.C. Hansen, s. 92-93, 1992.
- 40 Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7 "Sprøytebetong til fjellsikring ", 1999
- 41 ASTM Standard C 1018, Standard test Method for, "Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)
- 42 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

