

Jacob Mehus (NBI), Lars Skaare (Veidekke),
Øystein Myhre (Statens vegvesen)

Ubunden bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter

RESIBA – prosjektrapport 06/2002



BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Jacob Mehus (NBI), Lars Skaare (Veidekke),
Øystein Myhre (Statens vegvesen)

Ubunden bruk av resirkulert til- slag i VA-grøfter

RESIBA – prosjektrapport 06/2002

Prosjektrapport 330 – 2002

Prosjektrapport 330
Jacob Mehus, Lars Skaare, Øystein Myhre
Ubunden bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter
RESIBA - prosjektrapport 06/2002

Emneord: Gjenvinning, miljø, betong, BA-avfall, resirkulert tilslag, ubunden bruk, VA-grøfter, drenering.

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0768-7

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 bestemmelser. 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, interesseorgan 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.

Hovedforfattere av denne prosjektrapporten er Jacob Mehus (Norges byggforskningsinstitutt), Lars Skaare (Veidekke ASA) og Øystein Myhre (Statens vegvesen, Vegdirektoratet).

Viktige bidrag og hjelp til utarbeidelse av rapporten er kommet fra Tibor Liptak og Terje Rødberg (Oslo kommune, VAV), Anita Ingebrigtsvold (tidl. Asker kommune), Jan From (Høgskolen i Oslo), Frode Kleiva, Sigmund Forseth, Helge Klevengen, Anne-Lise-Mastrup og Tor-Arne Sundbye (tidl. studenter ved Høgskolen i Oslo), og Stefan Jacobsen (tidl. NBI)

Oslo, mai 2002

Trine Tvetter
Avdelingssjef

Jacob Mehus
Prosjektleder RESIBA

SAMMENDRAG

Ubunden bruk til for eksempel fyllinger, grøfter og veier, har så langt vært det viktigste bruksområdet for resirkulert tilslag også i Norge. Imidlertid er det fortsatt relativt små volum som brukes. Et viktig hinder for økt bruk er dokumentasjon av resirkulert tilslags egnethet for de ulike bruksformål.

Hovedmålsettingen med delaktiviteten presentert i denne rapporten har vært å dokumentere muligheter og begrensninger for bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter. RESIBA-prosjektet har vurdert dette bruksområdet som forholdsvis stort og interessant. I Norge er det anslagsvis 75 000 km offentlige vann- og avløpsledninger. Det finnes ikke tall som viser hvor mye tilslag som brukes årlig i ledningssonen i VA-grøfter i Norge, men i Danmark brukes ca. 1 mill. tonn pr. år.

Det er gjennomført to fullskala laboratorieforsøk med omfattende testing av tekniske egenskaper for det resirkulerte tilslaget sammenlignet med naturlig tilslag. I tillegg har RESIBA-prosjektet i samarbeid med Asker kommune og Oslo kommune, Vann- og Avløpsverket gjennomført to demonstrasjonsprosjekter i felt.

Resultater og erfaringer fra RESIBA-prosjektet med bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter er gode. Konklusjonen er at med enkelte unntak vil resirkulert tilslag være et fullgodt alternativ til bruk i ledningssonen i VA-grøfter. Gjeldende standarder og regelverk forhindrer heller ikke bruk av resirkulert tilslag. Det bør imidlertid stilles krav om at resirkulert tilslag er dokumentert i henhold til for eksempel forslag til deklarasjonsordning fra RESIBA-prosjektet.

Fullskalaforsøk i laboratoriet og demonstrasjonsprosjekter i felt viser at tekniske egenskapene som lastfordeling, drenering og deformasjonsstabilitet er som for naturlig tilslag. Det synes å være liten praktisk forskjell på bruk av resirkulert tilslag i kvalitetene "ren betong" og "blandet masse" som er definert i rapporten. Resirkulert tilslag anbefales ikke brukt på en slik måte at det kan bli liggende frostutsatt neddykket i vann med tinesalter. Inntil det finnes bedre dokumentasjon bør man unngå bruk av resirkulert tilslag der det er sannsynlig at tilslaget blir eksponert for et spesielt surt miljø.

Generelt kan det gi god økonomi å bruke resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter. I alle prosjekter som er gjennomgått i RESIBA for dette bruksområdet førte bruk av resirkulert tilslag til reduserte kostnader. Erfaringene viser at økonomiske begrensninger stort sett vil være knyttet transportavstanden.

Praktiske erfaringer med bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter er også positive. Fordi resirkulert tilslag har lavere egenvekt er det merkbart lettere å jobbe med. For øvrig er resirkulert tilslag veldig likt naturlig tilslag.

Mye av dokumentasjonen som er gitt i denne rapporten, er også relevant for andre bruksområder der tilslag brukes som drenerende masser. Det gjelder for eksempel kapillærbrytende sjikt under gulv på grunnen og drenerende masser langs grunnmurer og støttemurer. Dokumentasjon av resirkulert tilslag med tanke på bruk i VA-grøfter vil dermed kunne åpne for bruk innenfor flere andre områder.

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
INNHALDSFORTEGNELSE	5
1. INNLEDNING	7
2. RESIRKULERT TILSLAG	8
3. RESIBA	9
4. BRUKSOMRÅDE	10
5. REGELVERK OG RETNINGSLINJER	11
6. LABORATORIEFORSØK OG DEMONSTRASJONSPROSJEKTER	12
6.1 TILSLAGSMATERIALER	12
6.2 MATERIALPRØVING OG DEKLARASJON	12
6.2.1 <i>Materialsammensetning</i>	12
6.2.2 <i>Kornfordeling</i>	12
6.2.3 <i>Densitet og vannabsorpsjon</i>	12
6.2.4 <i>Frostbestandighet</i>	13
6.3 FULLSKALAFORSØK-1: MEKANISK BELASTNING AV GRUNNE LEDNINGSGRØFTER	13
6.4 FULLSKALAFORSØK-2: VANNGJENNOMGANG OG MEKANISK BELASTNING	15
6.5 DEMONSTRASJONSPROSJEKT-1: VA-GRØFT ASKER KOMMUNE, YGGESET AVFALLSPARK	18
6.6 DEMONSTRASJONSPROSJEKT-2: VA-GRØFT OSLO KOMMUNE, DALSNARET	19
6.7 ANDRE DEMONSTRASJONSPROSJEKTER.....	21
6.7.1 <i>Kabelgrøfter for bredbåndkabler, strekningen Klemetsrud – Ytre Enebakk</i>	21
6.7.2 <i>Kabelgrøft langs E18 ved Frognerkilen i Oslo</i>	21
6.7.3 <i>Tilbakefylling mot spunt, Inkognitogaten, Oslo</i>	22
6.7.4 <i>Kapillærbrytende lag under gulv på grunn</i>	23
7. UTFØRTE UNDERSØKELSER - RESULTATER OG VURDERINGER	24
7.1 UTFØRTE UNDERSØKELSER.....	24
7.2 RESULTATER MATERIALPRØVING OG DEKLARASJON	24
7.2.1 <i>Materialsammensetning</i>	24
7.2.2 <i>Kornfordeling</i>	25
7.2.3 <i>Densitet og vannabsorpsjon</i>	26
7.2.4 <i>Frostbestandighet</i>	27
7.3 VURDERING AV RESULTATER FRA MATERIALPRØVING OG DEKLARASJON	27
7.3.1 <i>Generelt</i>	27
7.3.2 <i>Ren betong 8-12 mm</i>	27
7.3.3 <i>Ren betong 10-20 mm</i>	28
7.3.4 <i>Blandet masse 10-20 mm</i>	28
7.4 RESULTATER FULLSKALAFORSØK OG DEMONSTRASJONSPROSJEKTER	29
7.4.1 <i>Fullskalaforsøk-1: Mekanisk belastning av grunne ledningsgrøfter</i>	29
7.4.2 <i>Fullskalaforsøk-2: Vanngjennomgang og mekanisk belastning</i>	30
7.4.3 <i>Demonstrasjonsprosjekt-1: VA-grøft Asker kommune, Yggeset Avfallspark</i>	35
7.4.4 <i>Demonstrasjonsprosjekt-2: VA-grøft Oslo kommune, Dalsnaret</i>	37
7.5 VURDERINGER AV RESULTATER FRA FULLSKALAFORSØK OG DEMONSTRASJONSPROSJEKTER	38
7.5.1 <i>Lastfordeling</i>	38
7.5.2 <i>Permeabilitet</i>	39
7.5.3 <i>Utvasking av finstoff</i>	40
7.5.4 <i>Deformasjoner fra vanngjennomgang og mekanisk belastning</i>	40
7.5.5 <i>Praktiske erfaringer</i>	41
8. ØKONOMI	42

8.1	GENERELT	42
8.1.1	<i>Pris fra produsent</i>	42
8.1.2	<i>Transport</i>	42
8.1.3	<i>Håndteringskostnader</i>	44
8.1.4	<i>Leveringsdyktighet</i>	44
8.1.5	<i>Dokumentasjon</i>	44
8.2	DEMONSTRASJONSPROSJEKT-1 VA-GRØFT ASKER KOMMUNE, YGGESET AVFALLSPARK	45
8.2.1	<i>Vurdering</i>	45
8.3	DEMONSTRASJONSPROSJEKT-2 VA-GRØFT OSLO KOMMUNE, DALSNARET	45
8.3.1	<i>Vurdering</i>	46
8.4	ØVRIGE PROSJEKTER.....	46
8.4.1	<i>Kabelgrøfter for bredbåndkabler, strekningen Klemetsrud – Ytre Enebakk</i>	46
8.4.2	<i>Kabelgrøft langs E18 ved Frognerkilen i Oslo</i>	46
8.4.3	<i>Tilbakefylling mot spunt, Inkognitogt, Oslo</i>	47
8.4.4	<i>Kapillærbrytende lag under gulv på grunn, Sørumsand videregående skole</i>	47
9.	KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER	48
9.1	GENERELT	48
9.2	TEKNISKE EGENSKAPER	48
9.3	PRAKTISK BRUK.....	49
9.4	ØKONOMI	49
9.5	MILJØPÅVIRKNING.....	50
10.	REFERANSER	51

1. INNLEDNING

Resultater, konklusjoner og anbefalinger fra prosjektet RESIBA (Resirkulert tilslag for bygg og anlegg) presenteres gjennom prosjektrapporter og en felles veiledning som vil bygge på prosjektrapportene.

Denne rapporten omhandler bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter. I RESIBA-prosjektet er det gjennomført to fullskalaforsøk relatert til VA-grøfter i laboratoriet hos Norges byggforskningsinstitutt (NBI). I tillegg er det gjennomført to demonstrasjonsprosjekter, ett i samarbeid med Asker kommune og ett med Oslo kommune, Vann- og avløpsverket (VAV). Rapporten presenterer de viktigste resultatene, vurderinger og konklusjoner fra prosjektene. Praktiske erfaringer og økonomiske vurderinger fra de to demonstrasjonsprosjektene er også omtalt i rapporten.

2. RESIRKULERT TILSLAG

I prosjektrapportene fra RESIBA har vi konsekvent brukt ”resirkulert tilslag” i overensstemmelse med det europeiske standardiseringsorganet CENs betegnelse (eng.: recycled aggregate)^{1,2}. 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”³.

Produksjon av resirkulert tilslag baseres på bearbeidelse (ofte nedknusing og sikting) av betong- og teglavfall fra BAE-næringen (bygg-, anleggs- og eiendomsnæringen). I Norge utgjør avfallet fra denne næringen mer enn 1,5 mill. tonn årlig, hvorav ca. 1,1 mill. tonn er betong og tegl⁴. I tillegg kommer store mengder av andre masser fra utgraving o.l. i størrelsesorden 10 – 15 millioner tonn⁵. 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 aktører⁶. Både kunde- og leverandørsiden, det offentlige og forskningsmiljøer er representert.

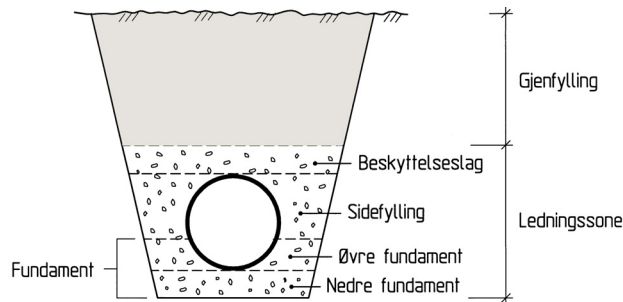
RESIBA-prosjektets overordnede mål er å bidra til økt bruk av resirkulert tilslag på en rekke områder innenfor bygg, anlegg og eiendom. RESIBA er delt inn i tre delprosjekter:

- *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, byggetaljblader, artikler i fagpresse, seminarer og kurs.

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

4. BRUKSOMRÅDE

Bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter er et alternativ til naturlig tilslag som vanligvis benyttes i ledningssonen i VA-grøfter. Ledningssonen omfatter, beskyttelseslag, sidefylling samt øvre og nedre fundament, i henhold til NS 3420-H (se Figur 1)⁷.



Figur 1. Prinsipielt tverrsnitt av VA-grøft

I Danmark forbrukes årlig ca. 660.000 m³ (ca. 1 mill. tonn) tilslag i ledningssonen for vann- og avløpsledninger⁸. Dette er rett i underkant av årlig produksjon av tungt byggeavfall i Norge, og illustrerer at bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen er et potensielt stort anvendelsesområde.

Resirkulert tilslag må tilfredsstillende de samme egenskapene som naturlig tilslag. I VA-grøfter benyttes normalt naturlig tilslag i området 8-32 mm. Største tillatte nominelle kornstørrelse er gitt i NS 3420-H avhengig av sjikt, rørtype og rørdiameter. Viktige egenskaper for tilslaget er:

- Stabilitet ved mekanisk belastning på overliggende konstruksjon (for eksempel trafikklast) og vanngjennomgang
- Porøsitet og permeabilitet (drenerende evne)
- Lastfordelende egenskaper
- Komprimeringsbehov
- Frostbestandighet

Fornyelsestakten for VA-grøfter er svært lav, og det må derfor benyttes materialer som sikrer at grøftene fungerer tilfredsstillende i mange tiår med et minimum av vedlikehold. Det er også en viktig forutsetning at bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter ikke medfører økte kostnader på grunn av spesielle krav til utførelse.

Viktige egenskaper for tilslag som benyttes som drenerende masser for eksempel ved kapillærbrytende sjikt og tilbakefylling mot grunnmurer og støttemurer, vil være mange av de samme egenskapene som er viktige ved bruk i VA-grøfter. Dokumentasjon av resirkulert tilslag for bruk i VA-grøfter vil derfor også kunne åpne for bruk til andre formål.

5. REGELVERK OG RETNINGSLINJER

Det er gitt krav og anbefalinger til masser som brukes til omfylling og fundamentering i rørgrøfter flere steder^{9, 10, 11, 7, 12, 13, 14}. Materialer som brukes i ledningssonen skal sikre varig stabilitet og bæreevne, og de skal ikke forringe kvalitet på rør, rørmateriale eller grunnvann¹².

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

NS 3420-H omfatter alle rørtyper (betong, stål, støpejern og plast), og inneholder krav til massene og beskrivelse av utførelse⁷. Krav til massene er delt opp i krav til fundament (H23), sidefylling og beskyttelseslag, dvs. omfylling (H24) og gjenfylling over ledningssonen, dvs. overfylling (H25). NS 3420 har krav om at leirinnholdet skal være mindre enn 2%. Videre anbefales ikke 0-fraksjon brukt i ledningssonen der det er fare for utvasking, for eksempel i fjellgrøfter. Det er i tillegg gitt en rekke spesielle krav for ulike rørtyper og grøfter.

NS 3420-H henviser en rekke steder til punkt 5.3 og 5.4 i NS-EN 1610: 1998 Utførelse og prøving av avløpsledninger for krav til massene som brukt i ledningssonen og gjenfylling over ledningssonen¹². Det åpnes på denne måten for bruk av resirkulerte materialer i ledningssonen. I NS-EN 1610 punkt 5.3 er det listet opp materialer som er egnet, og som også kan inneholde resirkulerte materialer.

NS-EN 805 pkt.10.6.2 stiller krav til egenskaper for masser som brukes i ledningssonen¹⁴. Dette er generelle krav om at massene:

- skal gi tilstrekkelig stabilitet og understøttelse for rørledning
- ikke skal forårsake korrosjon eller skade på rør
- skal være kjemisk holdbare og ikke reagere ugunstig med omgivelser
- skal kunne komprimeres til den densiteten som kreves
- ikke skal inneholde avfallsprodukter, organiske materialer, frosne masser, store steiner, fjell, trerøtter o.l.

Kapittel 441 i Statens vegvesens håndbok 018, Vegbygging, angir krav til materialer og utførelse av ledningsgrøfter med bl.a. maksimal kornstørrelse, andel finstoff for drengsledninger og komprimering⁹. Statens vegvesens håndbok 018 gir ikke spesifikke anvisninger for bruk av resirkulert tilslag i ledningsgrøfter.

Det vil i tillegg være en rekke lokale regelverk som for eksempel Oslo kommunes ”Instruks for gravearbeider i Oslos gater og veier” som vil være avgjørende for om det vil være mulig å benytte resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter¹⁵.

6. LABORATORIEFORSØK OG DEMONSTRASJONSPROSJEKTER

I RESIBA-prosjektet inklusive forprosjektet, er det innenfor bruksområdet VA-grøfter gjennomført to fullskala laboratorieforsøk og to demonstrasjonsprosjekter. En beskrivelse av laboratorieforsøkene og demonstrasjonsprosjektene er gitt i dette kapittelet. I tillegg er det tilslutt i kapittelet gitt en kort oversikt over de viktigste prosjektene med bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter, gjennomført uavhengig av RESIBA-prosjektet.

6.1 Tilslagsmaterialer

Følgende materialer er benyttet i forbindelse med fullskalaforsøk og demonstrasjonsprosjekter:

- I Fullskalaforsøk-1 med mekanisk belastning grunne ledningsgrøfter ble det benyttet resirkulert tilslag 8-12 mm ”ren betong”.
- I Fullskalaforsøk-2 med vanngjennomgang og mekanisk belastning ble det benyttet resirkulert tilslag 10-20 mm ”ren betong” og ”blandet masse” og naturlig tilslag 8-12 mm.
- I Demonstrasjonsprosjekt-1 VA-grøft Asker kommune, Yggeset Avfallspark ble det benyttet resirkulert tilslag 10-20 mm ”blandet masse” og naturlig tilslag 8-12 mm.
- I Demonstrasjonsprosjekt-2 VA-grøft Oslo kommune, Dalsnaret ble det benyttet resirkulert tilslag 10-20 mm og 20-38 mm ”blandede masser” samt naturlig tilslag 8-22 mm og 22-63 mm.

Alt resirkulert tilslag er produsert og levert av BA Gjenvinning på Grønmo i Oslo. 8-12 mm sorteringen er fra produksjon februar 1999, mens 10-20 mm sorteringene er produsert januar/februar 2000.

6.2 Materialprøving og deklarasjon

I forbindelse med materialprøvingen ble det i mangel av retningslinjer for resirkulert tilslag for ubunden bruk, tatt utgangspunkt i anbefalinger gitt av RILEM i 1994 for resirkulert tilslag til betongproduksjon¹⁶.

6.2.1 *Materialsammensetning*

Metoden som ble benyttet for dokumentasjon av materialsammensetning er i grove trekk i samsvar med metoden som senere er beskrevet i utkast til europeisk standard, prEN 933-11¹⁷.

6.2.2 *Kornfordeling*

Dokumentasjon av tilslagets kornfordeling er utført i henhold til prøvemethode beskrevet av Kontrollrådet for betongprodukter¹⁸. Dette er i overensstemmelse med NS-EN 933-1, uten vasking.

6.2.3 *Densitet og vannabsorpsjon*

Overflatetørr partikkeldensitet (ρ_{ssd}), og vannabsorpsjon ble bestemt i henhold til prøvemethode beskrevet av Kontrollrådet for betongprodukter¹⁸. Metoden er i overensstemmelse med metode beskrevet i NS-EN 1097-6¹⁹. Ovnstørr partikkeldensitet (ρ_{rd}), er bestemt i henhold til NS-EN 1097-6¹⁹.

Bulkdensitet (komprimert og ukomprimert) ble målt etter en ikke standardisert prøvemethode. Tilslaget ble fylt i en beholder med kjent volum og veid før beholderen ble vibrert (forenklet komprimering) i 60 sekunder og setningene målt. Basert på disse målingene ble bulkdensitet, volumendring og hulromsprosent beregnet.

6.2.4 Frostbestandighet

I forbindelse med Fullskalaforsøk-1 ble det gjennomført frostprøving av det resirkulerte tilslaget. Prøvingen ble gjennomført i henhold til prEN1367-1, denne standarden er senere kommet i endelig utgave^{20, 21}.

Tørking av tilslaget ved 105°C i 24 timer før prøvestart som beskrevet i standarden, ble vurdert å være for tøft for det resirkulerte tilslaget²². Det ble derfor gjennomført parallelle forsøk der tilslaget ikke er fortørket ved 105°C. Standardprøvingen spesifiserer også at tilslaget skal være neddykket i vann ved prøving. Dette ble vurdert å ikke være særlig representativt for normale eksponeringsbetingelser i en VA-grøft. Det ble derfor også gjennomført parallelle forsøk der tilslaget ikke er neddykket i vann, men vannmettet og overflatevåt, noe som ble vurdert å være en mer realistisk eksponering.

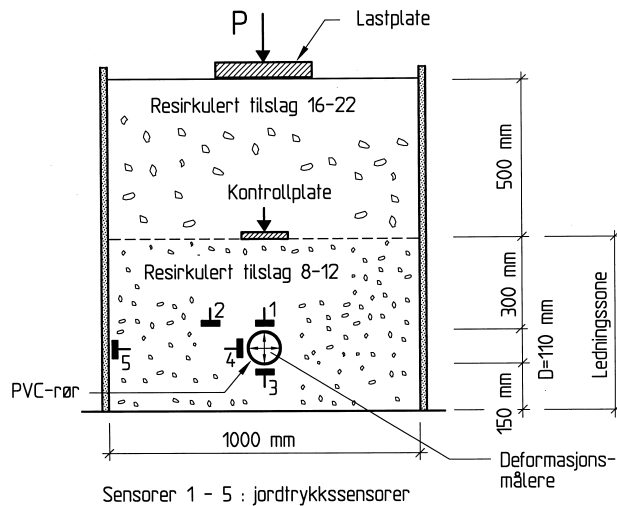
6.3 Fullskalaforsøk-1: Mekanisk belastning av grunne ledningsgrøfter

Med finansiering fra ØkoBygg gjennomførte BA Gjenvinning og Norges byggforskningsinstitutt (NBI) i 1998-1999 et forprosjekt²². Det ble i forprosjektet blant annet gjennomført innledende prøving av resirkulert tilslag med tanke på bruk i ledningssonen i VA-grøfter²³. Prøvingen inkluderte:

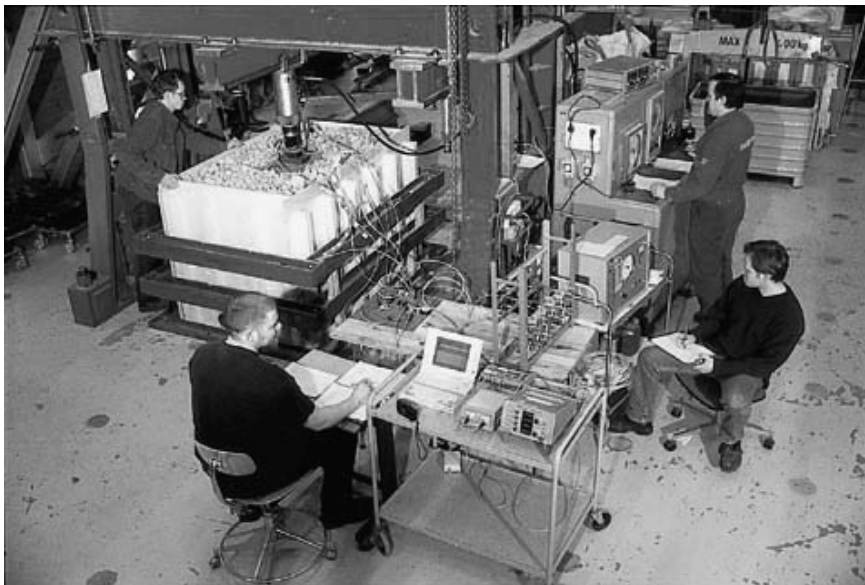
- Materialprøving og deklarasjon av det resirkulerte tilslaget
- Fullskala laboratorieforsøk med simulert bruk av tilslaget i ledningssonen i grunne ledningsgrøfter med fleksible rør.

Grunne ledningsgrøfter er et interessant bruksområde for resirkulert tilslag men ikke den viktigste årsaken til at nettopp dette bruksområdet ble undersøkt i forprosjektet. I perioden 1975-1979 ble det ved NBI gjennomført et stort antall fullskalaforsøk der man så på lastfordelende egenskaper og deformasjon av fleksible rør i grunne ledningsgrøfter med naturlig tilslag²⁴. Fra disse forsøkene finnes det et godt beskrevet prøveoppsett og god tilgang på prøvedata. Med begrensede ressurser var det derfor mulig å få en god sammenligning av viktige egenskaper for resirkulert og naturlig tilslag i ubunden bruk.

Fullskalaforsøket som ble gjennomført ved NBI i 1999 var en reproduksjon av prøveoppstilling som ble brukt på 70-tallet med resirkulert tilslag som eneste nye variabel. I ledningssonen ble det benyttet resirkulert tilslag 8-12 mm. Prøveoppstillingen for fullskalaforsøket er vist i Figur 2 og Figur 3.



Figur 2. Tverrsnitt av prøvekasse (grøft) for fullskalaforsøk ved NBI med grunn ledningsgrøft



Figur 3. Fullskalaforsøk ved NBI med resirkulert tilslag i VA-grøft

I prøvekassen vist i Figur 2 ble det lagt et PVC rør med diameter 110 mm. Røret ble boret ut på hver kortsida av kassen 150 mm over bunnen. I røret ble det montert to laserbaserte deformasjonsmålere for å måle vertikal og horisontal deformasjon i røret ved belastning. Deformasjonen er målt i forhold til midlere innvendig nominell diameter etter avsluttet gjenfylling i samsvar med NS 3420 H73. Beregnede verdier Vertikalt målt til 103,1 mm, horisontalt målt til 103,0 mm. I henhold til NS 3420 H61.3, 1986 er $d_{i \min}$ minste målte innvendige diameter av ferdig lagt ledning, det vil si etter tilbakefylling.

Det resirkulerte tilslaget ble lagt ut i henhold til beskrivelse fra tidligere utførte forsøk. Komprimering av de ulike lagene ble utført med tre ganger fottråkking. Under utleggingen av resirkulert tilslag ble det montert fem jordtrykksmålere som vist i Figur 2, for å registrere lastspredning. Over ledningssonen ble det lagt 500 mm

med resirkulert tilslag 16-22 mm. En lastplate (0,3 x 0,5 m) ble brukt for å simulere utbredelsen av et hjultrykk. Det ble montert deformasjonsmåler på lastplaten for å registrere totale deformasjoner i tilslaget. I tillegg ble det nivellert inn en kontrollplate på toppen av ledningssonen som vist i Figur 2, for å måle den totale deformasjonene i tilslaget i ledningssonen.

Lastplaten ble belastet til 100 kN og avlastet igjen i 10 lastsykler. Etter 10 lastsykler ble maksimallasten økt til 250 kN og lastplaten ble belastet og avlastet totalt i seks lastsykler. Rørdeformasjon (vertikalt og horisontalt), total deformasjon på toppen av lastplaten og jordtrykk ble registrert fortløpende.

Jordtrykksmålingene ble brukt til å beregne lastfordelingsvinkel for det resirkulerte tilslaget ved å ta utgangspunkt i faktisk overfyllingshøyde ved den belastningen der jordtrykksføler nr. 5 (se Figur 2) først ga utslag. Samtidig ble resultater fra jordtrykksmålingene benyttet for å vurdere belastningen på og rundt røret.

6.4 Fullskalaforsøk-2: Vanngjennomgang og mekanisk belastning

For å videreføre undersøkelsene fra forprosjektet med bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter ble i det i RESIBA-prosjektet utarbeidet et utvidet prøveopplegg²⁵. Prøvingen inkluderte:

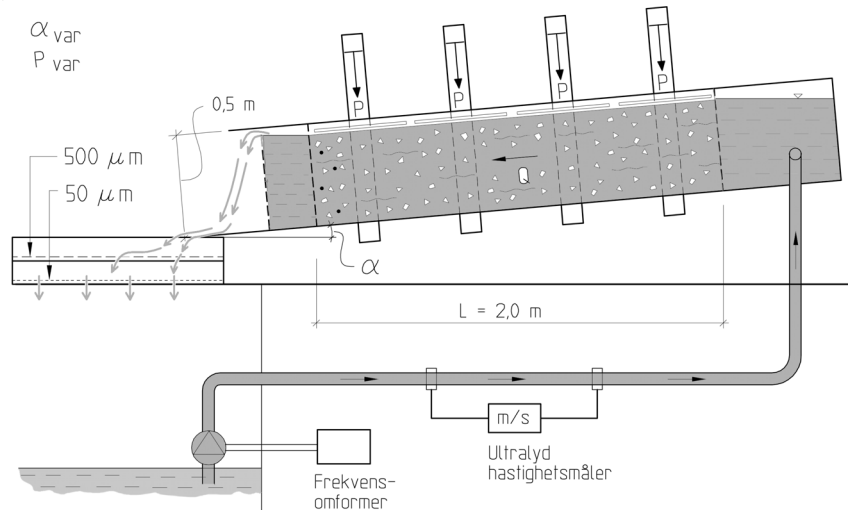
- Materialprøving og deklarasjon av tilslaget
- Fullskala laboratorieforsøk

Formålet med disse fullskalaforsøkene var å gjøre en vurdering av mekanisk stabilitet og drenerende egenskaper sammenlignet med naturlig tilslag. Dette ble vurdert som viktige undersøkelser for å kunne igangsette demonstrasjonsprosjekter.

Det ble utarbeidet et forslag til prøveprogram og prøveoppstilling som blant annet ble diskutert med Oslo kommune VAV. En prøverigg som skjematisk er vist i Figur 4, ble bygget hos NBI. Prøveriggen besto av en prøvekasse av stål, $l = 3000$ mm, $b = 600$ mm og $h = 500$ mm. Prøvekassen var inndelt med gitterrister i 3 kammer som vist i Figur 4:

- Forkammer og endekammer, begge ca. 500 mm lange, som ble brukt for å justere vannspeilet ved en gitt helning på prøvekasen. Vannet ble pumpet fra en ca. 1000 liter stor vanntank inn i forkammeret og tilslutt sluppet tilbake ut over et regulerbart overløp i endekammeret.
- Hovedkammer, ca. 2000 mm langt, som ble fylt med ukomprimert tilslag i en høyde på 450 mm. Prøvelengden skulle simulere et vilkårlig utsnitt av en VA-grøft med et gitt fall.

Ved overløpet ble vannet drenert tilbake i vanntanken over to filterduker med maskevidde på henholdsvis 500 μ m og 50 μ m som fanget opp utvasket finstoff. Dette prinsippet er vist nedenfor i Figur 4. Over hovedkammeret i kassen var det sveiset på fire stålbjelker for mothold for hydraulikksylindere som ble brukt for å belaste tilslaget i prøvekasen. Lastplater av stål, $l = 450$ mm og $b = 500$ mm ble lagt på tilslaget under hver av hydraulikksylindrene.



Figur 4. Lengdesnitt av prøveoppstilling for undersøkelse av mekanisk stabilitet og drenerende egenskaper.

Forsøket inkluderte følgende variabler:

- Vinkelen, α , på prøvekassen ble satt til henholdsvis 2,5%, 4,5% og 6,5%
- Mekanisk belastning, hvor tilslaget var henholdsvis ubelastet (tilslaget løst utlagt), komprimert og statisk belastet
- Tilslagstype med resirkulert tilslag, henholdsvis blandet masse og ren betong i sorteringen 10-20 mm, samt naturlig tilslag i sorteringen 8-12 mm

Tilslaget ble belastet med komprimering og statisk last sammen med vanngjennomgang for å måle deformasjoner fra eventuell nedknusning og utvasking av finstoff. Tilslaget ble komprimert med fire overfarter med en 198 kg tung vibroplate i henhold til NS 3420-H. Mekanisk last ble påført trinnvis med 15, 30 og 50 kN pr. lastplate (fire stk.). Disse lasttrinnene representerer en enkel lastmodell med hjultrykksbelastning basert på lasttype V1 (105 kN pr. hjul) iht. Statens vegvesens Lastforskrifter for bruer og fergekaier²⁶. Hjullasten er omregnet til statisk kraft pr. kraftsyylinder, P_{γ} , med en lastfordeling 2:1 i henhold til resultater fra forprosjektet (omtalt i kapittel 6.3) og varierende tilbakefylling over ledningssonen på hhv. 0,5, 1,0 og 1,5 m. Basert på erfaringene fra forprosjektet der 80% av de permanente deformasjonene i røret kom etter første pålastning, ble tilslaget først belastet til 50 kN, avlastet og så belastet til 50 kN igjen. For å vurdere om tilslaget var stabilt med relativt liten gjenfylling og høy belastning, ble lasten etter andre pålastning holdt konstant i 120 min. og deformasjoner i tilslaget registrert løpende.

Det ble gjennomført totalt fire komplette prøver med resirkulert tilslag, to med 10 - 20 mm ren betong og to med 10 - 20 mm blandet masse. I tillegg ble det gjennomført en referanseprøve med bruk av naturlig tilslag 8-12 mm. Prøveprosedyre for laboratoriegrøften er gitt i Tabell 1. Oppstilling under prøving er vist i Figur 5.



Figur 5 Prøveoppstilling med prøvekasse sett forfra ved overløp

Følgende ble målt og registrert ved prøving:

- Vanngjennomgang Q (l/s). Basert på akkumulert vannmengde ved stabilt vannspeil målt over 5 min.
- Utvasket masse finstoff ved varierende mekanisk belastning
- Deformasjoner på grunn av utvasking, komprimering og mekanisk belastning
- Endring av pH i vannet.

Tabell 1. Prøveprosedyre for laboratoriegrøft

Belastning	Fall (%)	Varighet (min.)	Registrert
Ubelastet	6,5	90	Vannmengde, utvasket masse (ved 30, 60, 90 min.), deformasjoner, pH
Ubelastet	4,5	10	Vannmengde
Ubelastet	2,5	10	Vannmengde
Komprimert	4,5	120	Vannmengde, utvasket masse (ved 30, 60, 90, 120 min.), deformasjoner, pH
Mekanisk 1. pålastning	4,5	15	Vannmengde, deformasjoner (ved 15, 30, 50 kN pr. lastplate), pH
Mekanisk 2. pålastning	4,5	120	Vannmengde, utvasket masse (ved 30, 60, 90, 120 min.), deformasjoner (ved 15, 30, 50 kN pr. lastplate og for 50 kN konstant last etter 30, 60, 90, 120 min.), pH

Darcys lov, $v = k * i$, gjelder laminær strømning og forutsetter korndiameter mindre enn ca. 1,0 mm. For tilslag med større kornstørrelser kan turbulent strømningstilstand oppstå²⁷. Tilslagetts permeabilitetskoeffisient ble beregnet med Darcys lov modifisert for turbulent strømningstilstand som gitt i litteraturen²⁷.

$$k = \frac{Q}{\left(\frac{\Delta h}{l}\right)^\varphi * A * t}$$

- k = Permeabilitetskoeffisient (m/s)
 Q = Vannmengde (l/s)
 Δh = Potensialforskjell (m)
 l = Lengde av fylt tilslag (2,043 m)
 φ = Eksperimentell verdi for turbulent strømningsstilstand, ligger vanligvis mellom 0,65 og 1,0, der 1,0 er lineær strømnings²⁷.
 A = Tverrsnittsareal av laboratoriegrøften (m²)
 t = Tid (s)

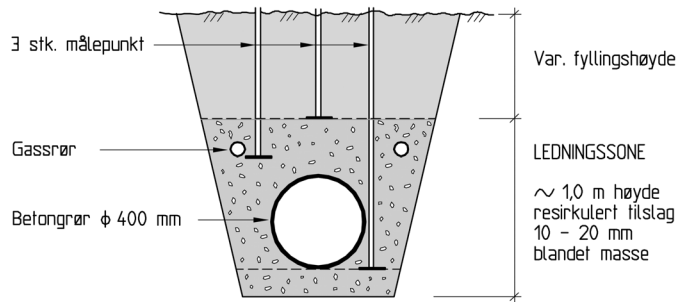
Kurvetilpasning ga φ = 0,65 for alle tilslagstypene som ble testet.

6.5 Demonstrasjonsprosjekt-1: VA-grøft Asker kommune, Yggeset Avfallspark

Asker kommune valgte i forbindelse med oppgradering av Yggeset Avfallspark å benytte resirkulert tilslag istedenfor naturlig tilslag som fundament og omfylling i en overvannsgrøft²⁸. Overvannsledningen var planlagt lagt i en ca. 515 m lang grøft langs kanten på deponiet. Grøftetraseen gikk i hovedsak i fjellgrunn men også i løsmasser på enkelte strekk. På et kortere stykke ble ledningen lagt over gammel fylling. Grøftas plassering og topografien i området vil sannsynligvis føre til innlekking av både sigevann og deponigass i overvannsgrøfta. Grøfta for overvannsledningen ble gravet med en gjennomsnittlig dybde på 2,5-3,0 m og opptil 4,5 m på det dypeste. Høyden på ledningssonen var ca. 1,0 m. Det ble lagt en 400 mm betongledning for overvann. I samme grøft ble det lagt 1 - 4 PE gassledninger Ø 50 mm for opptak og transport av deponigass.

Til bruk for fundament og omfylling rundt rør var det i utgangspunktet planlagt å benytte naturlig tilslag (vanlig pukk) 8-12 mm komprimert til 95 % standard proctor i henhold til Asker kommunes forskrifter for hovedledningsanlegg. Resirkulert tilslag ble først vurdert etter tilbud fra BA Gjenvinning. Pris i kombinasjon med miljøhensyn gjorde det resirkulerte tilslaget til et attraktivt produkt. Basert på resultater fra laboratorieforsøk ved NBI besluttet Asker kommune å bruke resirkulert tilslag blandet masse 10-20 mm fra BA Gjenvinning. Det ble i tillegg inngått et samarbeid med RESIBA-prosjektet om oppfølging. Arbeidet med overvannsledningen ble påbegynt i mars, og avsluttet juni 2000. Totalt ca. 1000 tonn resirkulert tilslag ble brukt i prosjektet.

Den største faren for funksjonaliteten av både overvannsledningen og gassledningene er setninger, og det ble derfor besluttet å utarbeide et måleprogram for grøften der nivået på de ulike rørene følges opp over tid. Totalt ble det etablert 15 målepunkter. Disse fordelte seg på fem ulike tverrsnitt langs grøftetraseen. Tre av disse tverrsnittene ble lagt i resirkulert tilslag. To av tverrsnittene ble lagt midt i hvert sitt 10 m lange kontrollfelt der det ble brukt naturlig tilslag 8-12 mm. I hvert av de fem tverrsnittene ble det montert tre PE rør Ø 50 mm med påmontert stålplate ca. 100 x 100 mm nederst. Typisk grøftetverrsnitt med målepunkter er vist i Figur 6.



Figur 6. Tverrsnitt av VA-grøft med målepunkter, Yggeset Avfallspark

Måletverrsnitt-1 og 2 er lagt nedstrøms i grøften, der fyllingshøyden er størst. De to måletverrsnittene ligger ca. 10 m fra hverandre. Måletverrsnitt-3 er lagt i den midtre delen av grøften mens måletverrsnitt-4 og 5 er lagt oppstrøms ca. 10 m fra hverandre.

Målepunktene i måletverrsnitt-1, 3, og 4 ligger i resirkulert tilslag mens målepunktene i måletverrsnitt-2 og 5 ligger i kontrollsoner med naturlig tilslag

6.6 Demonstrasjonsprosjekt-2: VA-grøft Oslo kommune, Dalsnaret

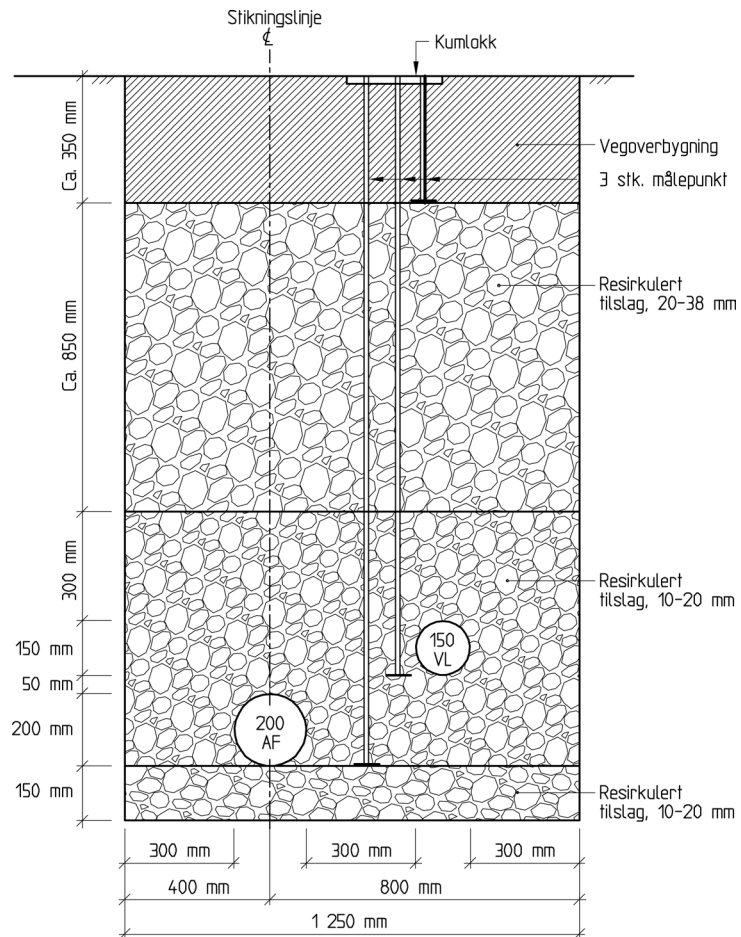
I innledende møter var Oslo kommune, Vann- og avløpsverket (VAV) i utgangspunktet positive til bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter. Imidlertid var det en viss usikkerhet omkring tilslaget tekniske egenskaper i forhold til setninger, korrosjon mot ledningene, renhet, utlekking, drenerende evne, osv. I følge "Instruks for gravearbeider i Oslos gater og veier" skal det brukes rene knuste steinmaterialer i oppbygging av veien etter at grøften er gravet og rørene lagt¹⁵. Samferdselsetaten har imidlertid åpnet for bruk av resirkulert tilslag på visse vilkår^{29,30}. Etter innsyn i resultater fra laboratorieforsøk utført i RESIBA-prosjektet, foreslo VAV et prøveprosjekt i Dalsnaret. Strekingen ble valgt av VAV for å prøve ut bruk av resirkulert tilslag som fundament for rør, som omfylling, og som gjenfylling over ledningssonen. Prosjektet passet tidsmessig godt i forhold til RESIBA-prosjektet. I tillegg ligger Dalsnaret geografisk relativt nær BA Gjenvinning.

Dalsnaret er en liten stikkvei i et villastrøk på Nordstrand i Oslo. Byggherre Oslo kommune VAV har skiftet ut et kumstreck på ca. 100 m i veien. Arbeidene er utført i egenregi. I grøfta ligger vannledning (duktilt støpejernrør med diameter 150 mm) og fellesledning for spillvann og overvann (PVC rør med diameter 200 mm), se Figur 7. Grøftetverrsnittet vil bli utsatt for lett trafikkbelastning. Følgende masser er brukt i oppbyggingen av grøftetverrsnittet:

- Fundament og omfylling: 10-20 mm resirkulert tilslag blandede masser
- Gjenfylling over ledningssonen: 20-38 mm resirkulert tilslag blandede masser
- Bærelag i vegoverbyggingen: 0 – 60 mm naturlige masser
- Asfaltering: 50 mm Agb16

Kravene til tilslaget ved utlegging var normal komprimering iht. NS 3420. Det er ellers ikke stilt spesielle krav til det resirkulerte tilslaget og det ble heller ikke gjennomført spesielle laboratorieprøver før gjennomføring.

En referansestrekning på ca. 14 m ble også etablert der det er brukt naturlige tilslag. Det er satt ut målepunkter i tre måletverrsnitt, to i resirkulert tilslag og ett i kontrollsonen med naturlig tilslag. I hvert måletverrsnitt ble det satt ut tre målepunkter i hvert tverrsnitt, som vist nedenfor i Figur 7. To av målepunktene er satt ut i overkant fundament for henholdsvis overvanns- og vannledning, mens det tredje målepunktet er satt ut i overkant av det resirkulerte tilslaget. I vegbanen ligger målepunktene beskyttet med en kumramme. De siste målepunktene ble satt ut i januar 2001. Utlekking av resirkulert tilslag i VA-grøft i Dalsnaret er vist i Figur 8.



Figur 7. Tverrsnitt av VA-grøft med målepunkter, Dalsnaret



Figur 8. Utlegging av resirkulert tilslag i VA-grøft i Dalsnaret

6.7 Andre demonstrasjonsprosjekter

Det er også gjennomført enkelte prosjekter uavhengig av RESIBA der resirkulert tilslag er brukt som drenerende masser. Nedenfor er noen av disse prosjektene kort beskrevet. Ingen av disse prosjektene er fulgt opp i RESIBA-prosjektet.

6.7.1 Kabelgrøfter for bredbåndkabler, strekningen Klemetsrud – Ytre Enebakk

Sommeren 2001 gravde Veidekke ASA grøfter for bredbåndskabler, lagt i 40 mm trekkerør, langs riksveg 155 for Svenska Vägverket. På strekningen fra Klemetsrud til Ytre Enebakk, ca. 30 km, ble det brukt resirkulerte tilslag, blandede masser sortering 0-10 mm fra BA Gjenvinning som fundament og omfylling rundt trekkerøret. Kablegrøften hadde dybde og bredde på ca. 700 mm. Resirkulert tilslag ble valgt istedenfor naturlig tilslag av økonomiske grunner. Entreprenøren fikk muntlig aksept fra byggherren til å bruke resirkulert tilslag, og det ble ikke stilt spesielle krav til det resirkulerte tilslaget³¹.

6.7.2 Kabelgrøft langs E18 ved Frognerkilen i Oslo

Statens vegvesen Oslo la sommeren 2000 ut ca 2,5 km kabelgrøft med kabelrør i ny gang- og sykkelvei langs E18 ved Frognerkilen, se Figur 9. Kabelrøret ble omfyllt med resirkulerte tilslag, ren betong sortering 0-10 mm fra BA Gjenvinning. Tilslaget er forventet å gi god beskyttelse på grunn av en viss "etterbinding" av den knuste betongen. Grøftedybden var ca. 900 mm. Fordi kabelgrøften ligger rett ved sjøen ble det ikke vurdert å være telefare. Det ble ikke stilt spesielle krav til det resirkulerte tilslaget³².



Figur 9. Kabelgrøft Frognerkilen i Oslo

6.7.3 *Tilbakefylling mot spunt, Inkognitogaten, Oslo*

Veidekke ASA brukte ca. 700 m³ resirkulert tilslag ved tilbakefylling og oppfylling mellom spuntvegger for eksisterende gamle bygninger og nye støpte betongvegger for et nytt parkeringshus i Inkognitogaten i Oslo, se . Det ble brukt blandede masser sortering 20-38 mm fra BA Gjenvinning. Arbeidene ble utført i februar-mars 2001. Tilslaget ble fraktet inn fra gaten og fylt ned bak spunten ved hjelp av kran og tobb. Løsningen med bruk av resirkulert tilslag mot spunt var et alternativ til bruk av magerbetong eller naturlig tilslag, og ble valgt av økonomiske/praktiske grunner.



Figur 10. Tilbakefylling av resirkulert tilslag mot spunt i Inkognitogaten i Oslo

Resirkulert tilslag sortering 0–10 mm ville vært et enda rimeligere alternativ. Imidlertid ville pakking og klumpdannelse av tilslaget på grunn av fuktig vinter vær

sannsynligvis ført til vanskeligheter med å tømme tobben og det ble derfor bestemt å ikke benytte denne sorteringen³³.

6.7.4 Kapillærbrytende lag under gulv på grunn

I forbindelse med demonstrasjonsprosjektet på Sørumsand videregående skole er det blant annet benyttet resirkulert tilslag, blandede masser 20-38 mm fra BA Gjenvinning som kapillærbrytende sjikt under gulv på grunnen, se Figur 11. Dette er et samarbeid mellom RESIBA-prosjektet, Akershus fylkeskommune som byggherre og Veidekke ASA som entreprenør. På grunn av liten tilgjengelighet av 20-38 mm fra leverandøren ble tilslaget i perioder iblandet noe ren knust betong i sortering 10-20 mm. Det kapillærbrytende sjiktet ble lagt ut på en fiberduk over leire og siltholdige masser i en tykkelse på ca. 200 mm. Arbeidene ble utført høsten 2001 og det ble benyttet ca 800m³ resirkulert tilslag. Det ble ikke stilt spesielle krav til det



Figur 11. Bruk av resirkulert tilslag som kapillærbrytende sjikt under gulv

resirkulerte tilslaget. Det ble tatt ut noen prøver fra dette tilslaget og resultatene er gitt i RESIBA Prosjektrapport 03/2002 Materialeegenskaper for resirkulert tilslag³⁴.

I et egenregiprojekt der Veidekke ASA høsten 2001 har bygget boliger på Vestre Voksen i Oslo er det brukt resirkulerte masser som kapillærbrytende sjikt under gulv på grunn på tilsvarende måte som på Sørumsand Videregående skole³⁵.

7. UTFØRTE UNDERSØKELSER - RESULTATER OG VURDERINGER

7.1 Utførte undersøkelser

En oversikt over de undersøkelser som er utført i de to fullskalaforsøkene og de to demonstrasjonsprosjektene i regi av RESIBA-prosjektet, er vist nedenfor i Tabell 2.

Tabell 2. Utførte undersøkelser og målinger i fullskalaforsøk og demonstrasjonsprosjekter

Undersøkelser og målinger	Fullskalaforsøk-1	Fullskalaforsøk-2	Demonstrasjonsprosjekt-1	Demonstrasjonsprosjekt-2
Materialsammensetning (Korntelling)	X	X		
Kornfordeling	X	X	X	
Part. densitet	X	X		
Bulk densitet	X	X		
Absorpsjon	X	X		
Frostbestandighet	X			
Setninger	X	X	X	X
Rør deform.	X			X
Utvasking		X		
pH – vann		X		
Permeabilitet		X		

Følgende forkortelser er benyttet i resultatpresentasjonen:

- BM: Blandede masser, resirkulert tilslag
- RB: Ren betong, resirkulert tilslag
- NT: Naturlig tilslag

7.2 Resultater materialprøving og deklarasjon

7.2.1 Materialsammensetning

Tabell 3 og Tabell 4 viser gjennomsnittlig materialsammensetning (korntelling) av det resirkulerte tilslaget.

Tabell 3. Gjennomsnittlig materialsammensetning (korntelling) av resirkulert tilslag type "ren betong", alle prosentandeler i vekt-%

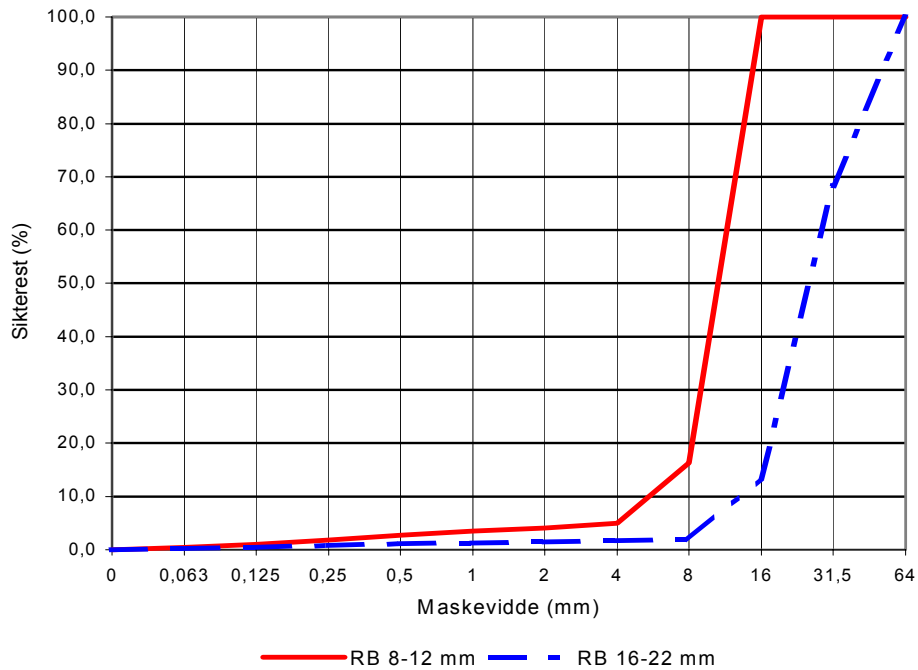
Sortering	Ren stein	Stein & pasta	Lettklinker	Asfalt	Tegl	Glass	Tre	Sum
RB 8-12 mm	35,6%	62,0%	1,5%	0,2%	0,7%	0,0%	0,0%	100%
RB 10-20 mm	43,8%	49,5%	0,2%	3,1%	3,4%	0,0%	0,0%	100%

Tabell 4. Gjennomsnittlig materialsammensetning (korntelling) av resirkulert tilslag type "blandet masse", alle prosentandeler i vekt-%

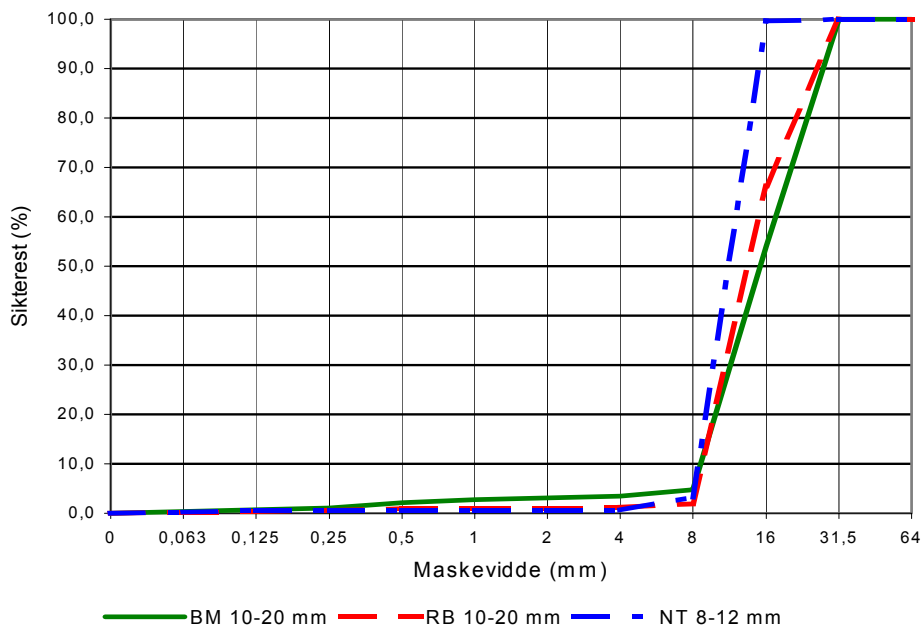
Sortering	Ren stein	Stein & pasta	Lettklinker	Asfalt	Tegl	Glass	Tre	Sum
BM 10-20 mm	36,8%	37,6%	2,3%	14,0%	9,2%	0,0%	0,1%	100%

7.2.2 Kornfordeling

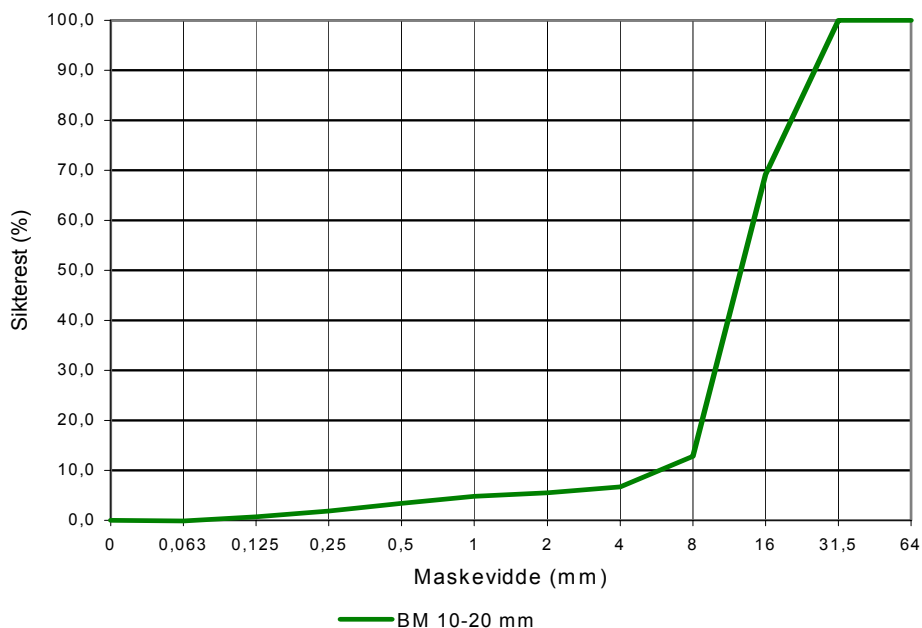
Gjennomsnittlige resultater fra kornfordelingsprøver, er gitt i Figur 12 - Figur 14.



Figur 12. Gjennomsnittlig kornfordeling for tilslag benyttet i Fullskalforsøk-1



Figur 13. Gjennomsnittlig kornfordeling for tilslag benyttet i Fullskalforsøk-2



Figur 14. Gjennomsnittlig kornfordeling for tilslag benyttet i Demonstrasjonsprosjekt-1

7.2.3 Densitet og vannabsorpsjon

Gjennomsnittlige resultater for partikkeldensitet, vannabsorpsjon, bulkdensitet og hulromsprosent er gitt i Tabell 5 og Tabell 6.

Tabell 5. Gjennomsnittlig partikkeldensitet og vannabsorpsjon

Tilslag	RB 8-12 mm	RB 10-20 mm	BM 10-20 mm	NT 8-12 mm
Overflatetørr ρ_{ssd} (g/cm ³)	2,39	2,49	2,43	2,84
Ovnstørr ρ_{rd} (g/cm ³)	2,28	2,37	2,31	2,80
Vannabsorpsjon (%)	5,28	5,04	5,58	1,34

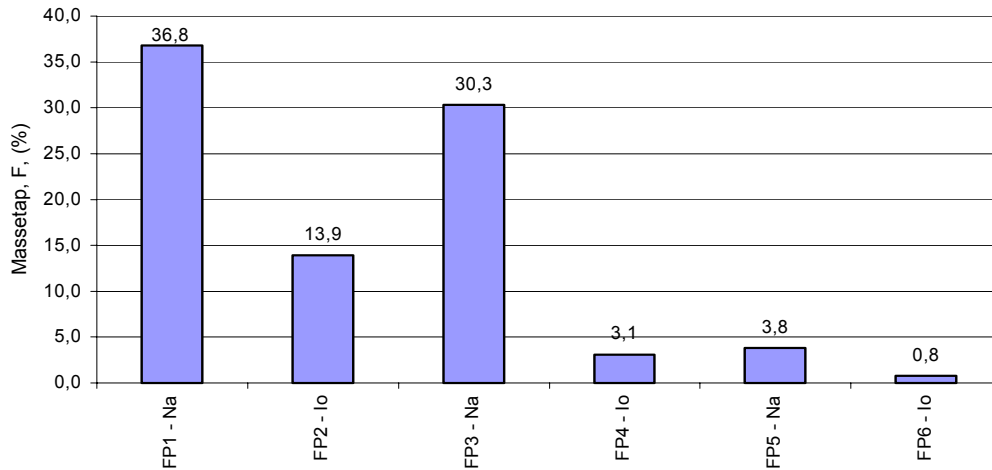
Tabell 6. Gjennomsnittlig bulkdensitet og hulromsprosent

Tilslag	RB		BM	NT	
	8-12 mm	10-20 mm	10-20 mm	8-11 mm ^{C)}	8-12 mm
Uvibrert ρ_1 (g/cm ³)	1,24	1,26	1,23	1,45	1,41
Hulrom (%) ^{A)}	48	49	49		50
Vibrert ρ_2 (g/cm ³)	1,41	1,37	1,31	1,59	1,59
Hulrom (%) ^{A)}	41	45	46		43
ΔV (%) ^{B)}	8,7	7,8	5,9	8,7	11,6

^{A)} Basert på overflatetørr partikkeldensitet. ^{B)} ΔV = endring av volum i % på grunn av vibrering. ^{C)} Naturlig tilslag benyttet i Fullskalaforsøk-1 for sammenligning av bulkdensitet

7.2.4 Frostbestandighet

Gjennomsnittlige resultater (3 parallelle prøver) fra frostprøving er vist i Figur 15.



Figur 15. Massetap, F, etter frostprøving RB 8-12 mm i henhold til prEN 1367-1.

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

7.3 Vurdering av resultater fra materialprøving og deklarasjon

7.3.1 Generelt

Det resirkulerte tilslaget har lavere densitet enn det naturlige tilslaget. Dette er gunstig f.eks. ved transport og håndtering. Resultatene fra forsøk med bulkdensitet indikerer også at komprimeringsbehovet for det resirkulerte tilslaget ikke er merkbart høyere enn det naturlige tilslaget. Det er liten forskjell på hulromsprosenten for de ulike sorteringene. Dette indikerer at det resirkulerte tilslaget har like gode drenerende egenskaper som det naturlige tilslaget.

7.3.2 Ren betong 8-12 mm

Tilslaget tilfredstiller anbefalte verdier med hensyn til materialsammensetning, minimum partikkeldensitet, og maksimum vannabsorpsjon for resirkulert tilslag Type II gitt av RILEM¹⁶. Tilslaget tilfredstiller også anbefalte verdier for resirkulert tilslag Type 1B for ubunden bruk gitt i vedlegg 2 i RESIBA-prosjektets forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag³⁶.

Tilslaget tilfredsstill alle krav til standardsorteringer (nærmeste handelsbetegnelse 8-11 mm) i forbindelse med ledninger i grunnen, gitt i NS 3420-H, tabell H2:1 med hensyn til kornfordeling⁷.

Resultatene fra frostprøvingen viser at massetapet (F) ligger i samme området som resultater fra forprosjektet²². Forsøkene viser som i tidligere undersøkelser, at tørking ved 105°C er for "tøft" da det i seg selv fører til betydelig reduksjon av frostbestandigheten²². Resultatene viser også at det har stor betydning om tilslaget prøves neddykket i vann eller vannmettet overflatevått. Det grove tilslaget har gode drenerende egenskaper, og eksponering med prøvene neddykket i vann ved frysing er derfor lite realistisk for tilslag i ledningssonen i en VA-grøft. Effekten av salt er stor når tilslaget utsettes for en kombinasjon av fortørking ved 105°C og prøving neddykket i vann, eller prøving med tilslaget neddykket i vann uten fortørking. I begge tilfeller går tilslaget nesten i oppløsning. Effekten av saltet avtar betydelig når tilslaget ikke prøves neddykket i vann.

I forprosjektet ble tillatt eksponeringsklasse for tilslaget vurdert å ligge på grensen mellom "*partial saturation no salt*" og "*frost free or dry situation*" i henhold til prEN 13242^{22,2}. Forløpig er det ikke gitt grenseverdier for frostbestandighet, og det er heller ikke avklart hvilken klimakategori det norske klima kommer inn under. Det er således ikke mulig å klassifisere tilslaget med tanke på frostbestandighet. Imidlertid indikerer resultatene at tilslaget bør brukes med varsomhet der tilslaget utsettes for frost i kombinasjon med tinesalter, spesielt der tilslaget også kan bli stående neddykket i vann. For de aller fleste VA-grøfter er dette ikke særlig realistisk eksponering av tilslaget i ledningssonen, og bør derfor ikke forhindre bruk.

7.3.3 *Ren betong 10-20 mm*

Tilslaget tilfredstiller anbefalte verdier med hensyn til materialsammensetning, minimum partikkeldensitet og maksimum vannabsorpsjon for resirkulert tilslag Type II gitt av RILEM, med unntak av asfaltinnholdet på 3,1%¹⁶. Anbefalingene fra RILEM er imidlertid utarbeidet for bruk av resirkulert tilslag i ny betong. For ubunden bruk i for eksempel VA-grøfter, vil et slikt asfaltinnhold sannsynligvis være akseptabelt. Tilslaget tilfredstiller anbefalte verdier for resirkulert tilslag Type 1B for ubunden bruk gitt i vedlegg 2 i RESIBA-prosjektets forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag³⁶.

For resirkulert tilslag 10-20 mm er nærmeste handelsbetegnelse 8-22 mm (NS 3420-H, tabell H2:1)⁷. Krav til understørrelser og maksimalt 5 % gjennomgang på 4 mm siktet er oppfylt. Krav til overstørrelser og 100 % gjennomgang på 26,5 mm siktet kan ikke vurderes da det ikke ble lagt inn sikt mellom 16 og 31,5 mm.

7.3.4 *Blandet masse 10-20 mm*

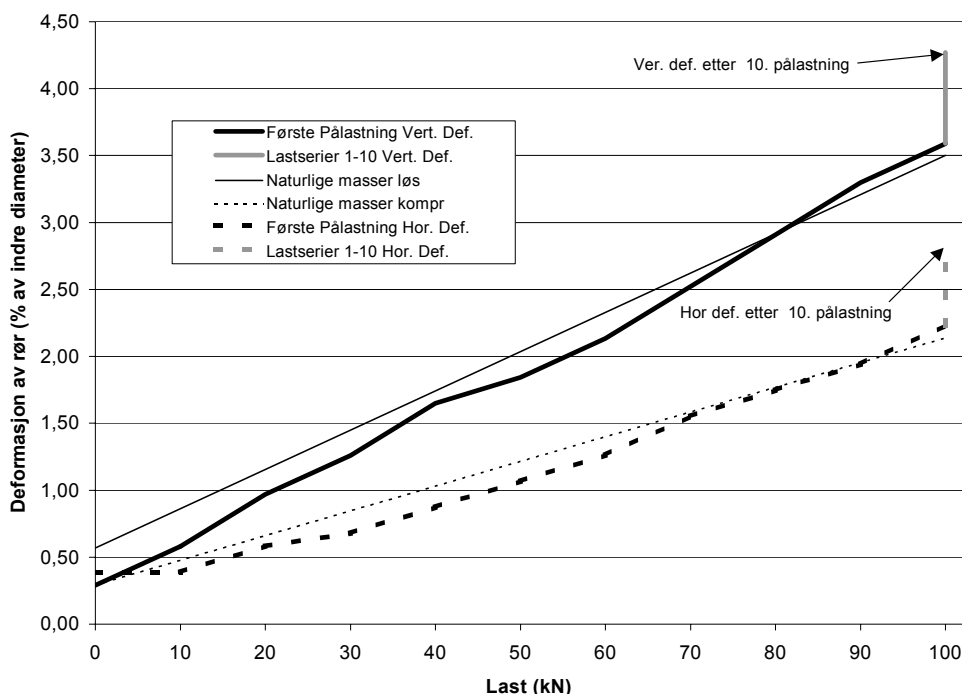
Tilslaget tilfredstiller anbefalte verdier med hensyn til minimum partikkeldensitet og maksimum vannabsorpsjon for resirkulert tilslag Type II gitt av RILEM. Imidlertid er asfaltinnholdet på 14,0 % vesentlig høyere enn kravene til Type II¹⁶. Men også her er det grunn til å være oppmerksom på at anbefalingene fra RILEM er utarbeidet for bruk av resirkulert tilslag i betong. For eksempel hos RGS 90 i Danmark er et av de viktigste produktene for ubunden bruk "Genbrugsstabil" som er en tilnærmet 50/50 blanding av knust betong og asfalt. I Norge er det imidlertid liten erfaring med høy asfaltinnblanding i det resirkulerte tilslaget. Med unntak av det høye asfaltinnholdet tilfredstiller tilslaget anbefalte verdier for resirkulert tilslag Type 2B for ubunden bruk gitt i vedlegg 2 i RESIBA-prosjektets forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag³⁶.

For resirkulert tilslag 10-20 mm er nærmeste handelsbetegnelse 8-22 mm (NS 3420-H, tabell H2:1) ⁷. Krav til understørrelser er oppfylt. Kravet om maksimalt 5 % gjennomgang på 4 mm siktet er derimot ikke oppfylt for tilslaget som ble benyttet i Demonstrasjonsprosjekt-1. Krav til overstørrelser og 100 % gjennomgang på 26,5 mm siktet kan ikke vurderes da det ikke ble lagt inn sikt mellom 16 og 31,5 mm.

7.4 Resultater fullskalaforsøk og demonstrasjonsprosjekter

7.4.1 Fullskalaforsøk-1: Mekanisk belastning av grunne ledningsgrøfter

Figur 16 viser horisontal- og vertikaldeformasjon i røret sammen med typiske verdier for fleksible rør med omfylling med naturlige masser (8-12 mm finpukk) med og uten komprimering ¹¹. Deformasjoner fra lastrepetisjonene er vist i Figur 16 som vertikale linjer.



Figur 16. Resultater fra NBIs laboratorium med måling av horisontal- og vertikal deformasjon i % av D_{indre} (103 mm) for fleksibelt plastrør med resirkulert tilslag (8-12 mm) som fundament og omfylling.

Beregninger basert på jordtrykks- og deformasjonsmålingene viste at lastfordeling i det resirkulerte tilslaget var tilnærmet 2:1. Beregningen tar ikke hensyn til eventuell forskjell i stivhet i de to sjiktene med resirkulert tilslag (8-12 mm og 16-22 mm), og fordelingen gjelder hele overfyllingen over røret.

Med ekstremlasten på 250 kN som ble påført tilslutt, økte deformasjonene i røret til ca. 9% av indre rørdiameter ved første pålastning. Akkumulert vertikaldeformasjon ved 6. pålastning var ca. 10 %, og ved avlastning var den permanente deformasjonen ca. 9%. Deformasjonene i tilbakefyllingsmassene på toppen (resirkulert tilslag 16-22 mm) var betydelige, spesielt ved pålastning opp til 250 kN. Dette skyldtes i første

rekke nedknusing av tilslaget rett under lastplaten. Imidlertid var det også etter 10 lastrepetisjoner opp til 100 kN allerede en permanent deformasjon av overfyllingen på ca. 75 mm.

Stålplaten som ble nivellert inn mellom de to tilslagssjiktene (se Figur 2), hadde etter fullført forsøk satt seg ca. 50 mm. Det ble ikke observert skader på PVC-røret etter at tilslaget var fjernet på tross av repeterte belastninger helt opp til 250 kN.

7.4.2 Fullskalaforsøk-2: Vanngjennomgang og mekanisk belastning

7.4.2.1 Permeabilitet og vanngjennomgang

Tabell 7 - Tabell 9 viser gjennomsnittlige resultater fra forsøk med registrering av vanngjennomgang og beregning av permeabilitet. Målt vanngjennomgang er et gjennomsnitt over en måleperiode på 5 minutter. For BM og RB er resultatene et gjennomsnitt av to parallelle forsøk. Permeabilitetskoeffisienten (k) er beregnet med Darcys lov modifisert for turbulent strømmingstilstand (kap. 6.4), $\phi = 0,65$. Tabellene viser også beregnet vanngjennomgang basert på permeabilitetskoeffisienten.

Tabell 7. Gjennomsnittsresultater for vanngjennomgang, Q , og permeabilitet, k , for ukomprimert tilslag.

Tilslag	Fall (%)	Q (l/s) målt	k (m/s) 10^{-3}	Q (l/s) beregnet
RB	2,5	3,23	129,5	3,04
	4,5	4,58		4,45
	6,5	5,28		5,65
BM	2,5	3,23	128,0	3,00
	4,5	4,38		4,40
	6,5	4,73		5,59
NT	2,5	2,63	104,0	2,44
	4,5	3,63		3,58
	6,5	4,43		4,54

Tabell 8. Gjennomsnittsresultater for vanngjennomgang, Q , og permeabilitet, k , for komprimert tilslag.

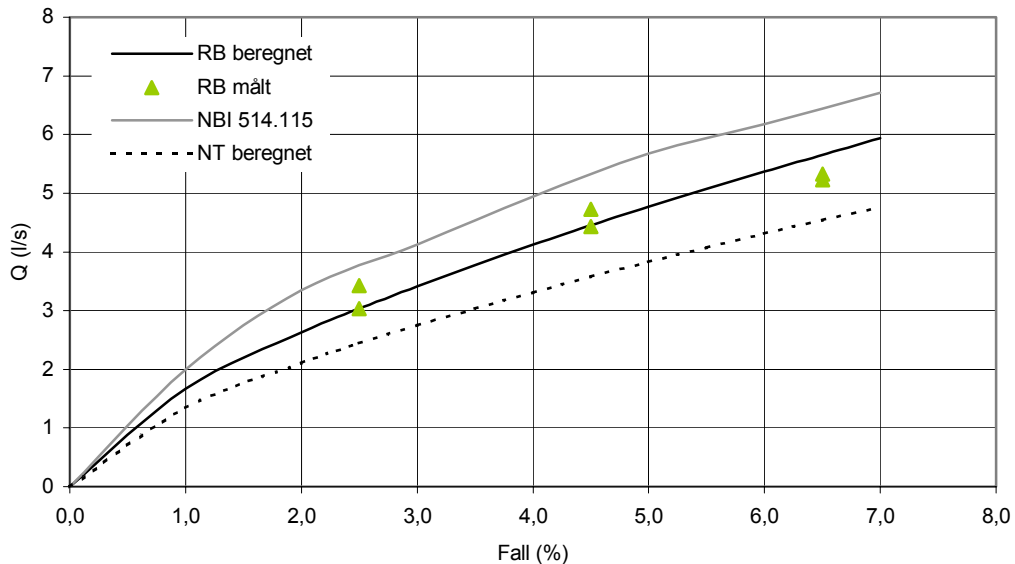
Tilslag	Fall (%)	Q (l/s) målt	k (m/s) 10^{-3}
RB	4,5	3,43	107,4
BM	4,5	3,58	112,0
NT	4,5	2,73	85,5

Tabell 9. Gjennomsnittsresultater for vanngjennomgang, Q , og permeabilitet, k , for komprimert og mekanisk belastet tilslag.

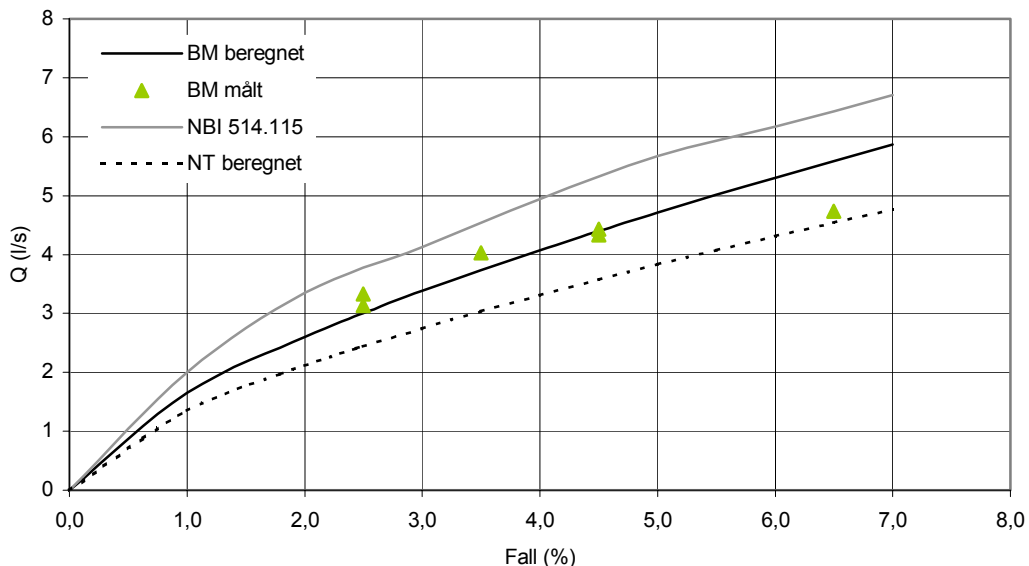
Tilslag	Fall (%)	Q (l/s) målt	k (m/s) 10^{-3}
RB	4,5	3,43	107,4
BM	4,5	3,45	108,0
NT	4,5	2,73	85,5

Figur 17 og Figur 18 viser vanngjennomgang for ukomprimert resirkulert tilslag med målte og beregnede verdier. I tillegg er beregnet vanngjennomgang for naturlig

tilslag NT 8-12 mm og referansedata for pukkgrofter fra NBI Byggedetaljer nr. 514.115 også vist i figurene³⁷. Vannhastigheten gjennom tilslaget som funksjon av fallet i pukkgrofter gitt i NBI Byggedetaljer nr. 514.115 er regnet om til vanngjennomgang med grøftetverrsnitt på 0,258 m² som i Fullskalaforsøk-2.



Figur 17. Vanngjennomgang, Q , målt og beregnet for ukomprimert resirkulert tilslag, RB 10-20 mm. Beregnede verdier for naturlig tilslag NT 8-12 mm. Referansedata fra NBI Byggedetaljer nr. 514.115 med grøftetverrsnitt på 0,258 m²³⁷.



Figur 18. Vanngjennomgang, Q , målt og beregnet for ukomprimert resirkulert tilslag, BM 10-20 mm. Beregnede verdier for naturlig tilslag NT 8-12 mm. Referansedata fra NBI Byggedetaljer nr. 514.115 med grøftetverrsnitt på 0,258 m²³⁷.

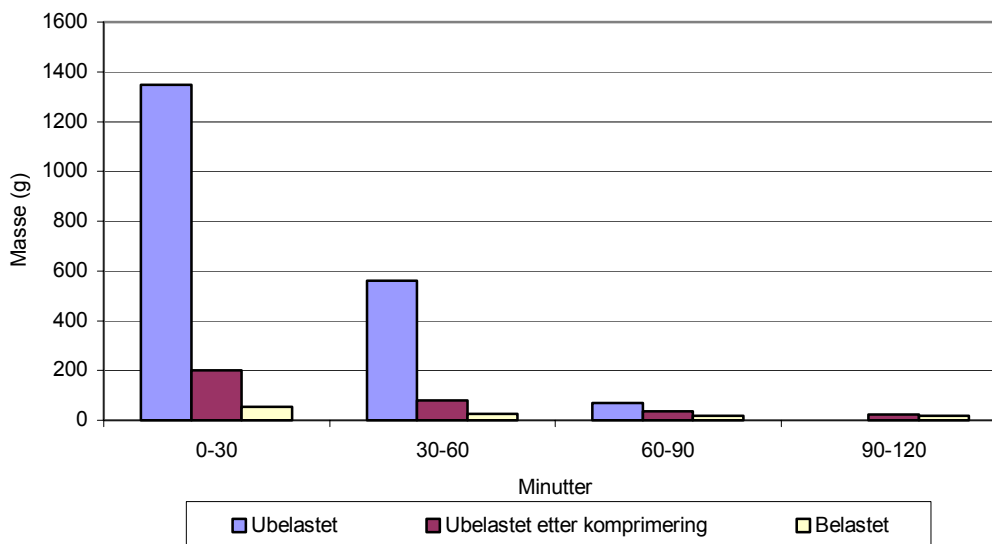
7.4.2.2 Utvasking av finstoff

Akkumulert mengde utvasket finstoff for de tre tilslagstypene er vist i Tabell 10. Verdiene for BM 10-20 mm er gjennomsnitt av to forsøk. På grunn av problemer med oppsamling av finstoff i først forsøk med BM 10-20 mm, er det kun vist resultater fra andre forsøk. Finstoffet ble samlet opp og målt hvert 30. minutt. Figur 19 - Figur 21 viser fordelingen av utvasket finstoff for de ulike belastningsbetingelsene. En stor andel av det utvaskede finstoffet for ubelastet BM ble som Figur 20 viser, ikke fanget opp før i andre tidsintervall (30-60 min.). Dette skyldes feil prosedyre ved oppsamling av finstoff i første tidsintervall (0-30 min.), men akkumulerte verdier som vist i Tabell 10 ble ikke påvirket. Korrekt utført prosedyre ville vist største mengde utvasket finstoff i første tidsintervall også for BM.

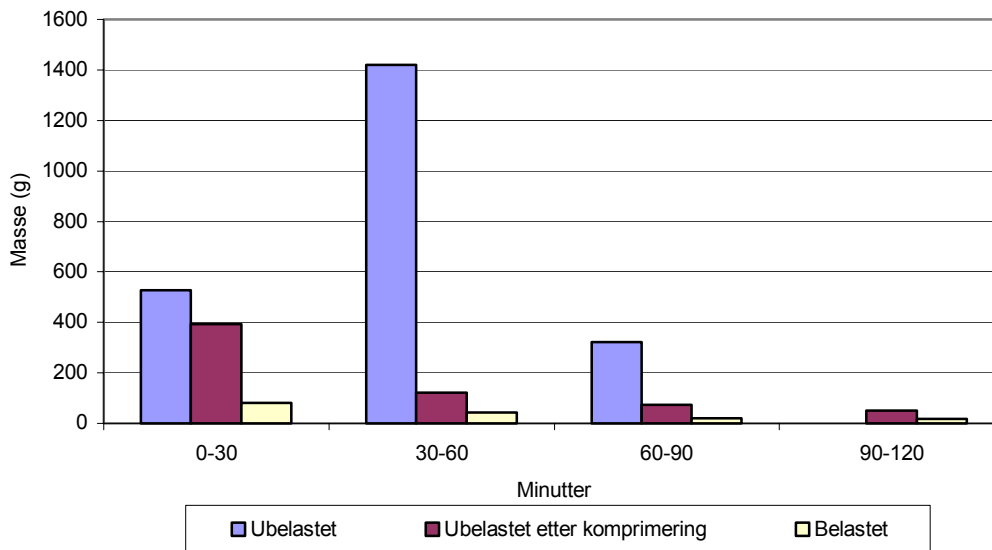
Sedimentert slam i vanntanken, som observert når vannet ble skiftet, viste at det i tillegg til det oppsamlede finstoffet også var en del partikler finere enn 50 μm som ble vasket ut.

Tabell 10. Akkumulert utvasket finstoff (> 50 μm) for hver av de tre belastningsbetingelsene.

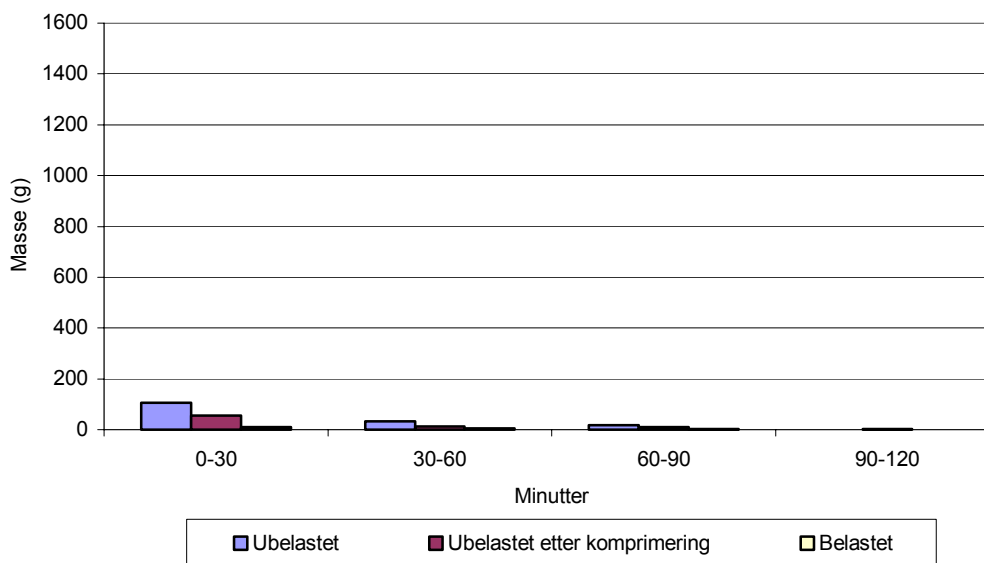
	Masse (g)		
	Ubelastet (90 min. 6,5% fall)	Komprimert (120 min. 4,5% fall)	Belastet (120 min. 4,5% fall)
RB	1978	342	114
BM	2271	639	160
NT	159	81	16



Figur 19. Utvasket finstoff for resirkulert tilslag RB 10-20 mm ved ulike belastningsbetingelser.



Figur 20. Utvasket finstoff for resirkulert tilslag BM 10-20 mm ved ulike belastningsbetingelser.



Figur 21. Utvasket finstoff for resirkulert tilslag NT 8-12 mm ved ulike belastningsbetingelser.

7.4.2.3 Deformasjoner

Med belastning kun fra vanngjennomgang, før komprimering og uten mekanisk belastning, var det ingen målbare deformasjoner for noen av tilslagstypene.

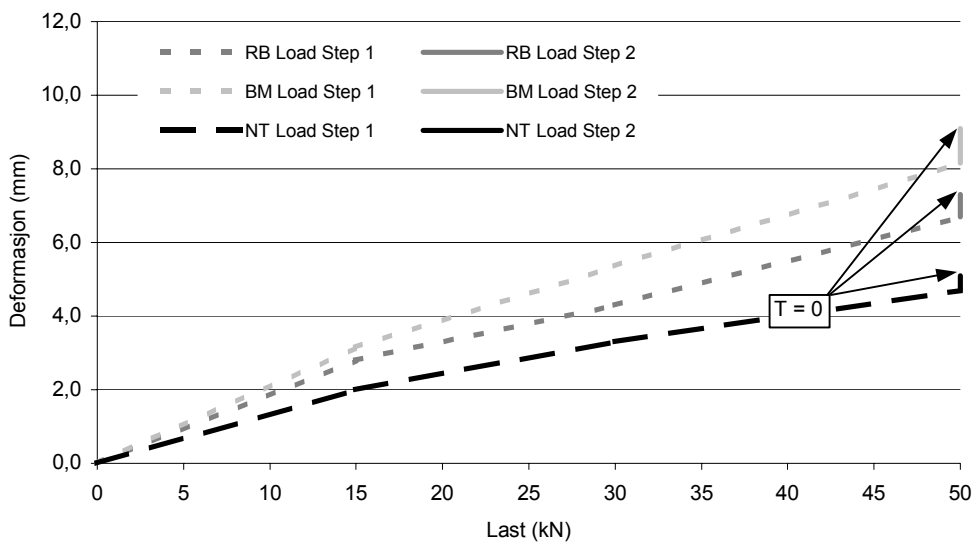
Tabell 11 viser gjennomsnittsverdier for permanente deformasjoner (etter avlastning), etter komprimering, første pålastning og andre pålastning (se beskrivelse av lastbetingelser i kapittel 6.4). Tabellen viser gjennomsnittlig deformatjon under

de to midtre lastplatene. Deformasjon målt under lastplaten i hver ende er ikke inkludert da det ikke var mulig å bruke komprimeringsutstyret helt ut til endene på laboratoriegrøften.

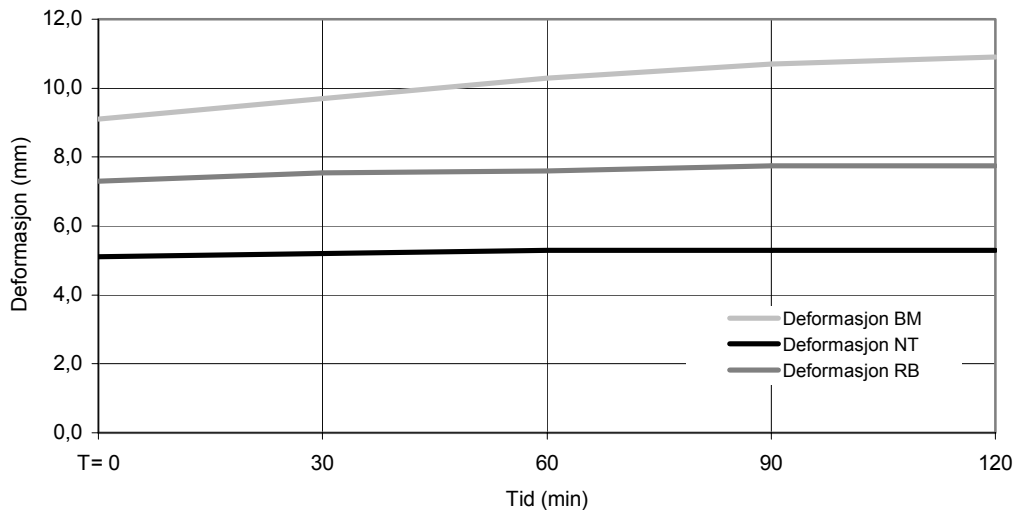
Tabell 11. Gjennomsnittlig permanent deformasjon (etter avlastning).

Tilslag	Deformasjon (mm) Komprimering	Deformasjon (mm) 1. pålastn.	Deformasjon (mm) 2. pålastn. 120 min	Tot. def. (mm)
RB	30,4	4,6	1,1	36,1
BM	34,4	6,1	2,7	43,2
NT	30,0	2,8	0,4	33,2

Typisk deformasjonsforløp for tilslaget ved mekanisk belastning er vist i Figur 22 og Figur 23. I den første figuren er deformasjon av tilslaget for første og andre lasttrinn vist. For det resirkulerte tilslaget ble ca. 70% av deformasjonen som ble målt ved 50 kN last, første pålastning, målt som permanent deformasjon når tilslaget ble avlastet. For det naturlige tilslaget var andelen permanent deformasjon ca. 60%.



Figur 22. Gjennomsnittlig deformasjon i tilslaget med mekanisk belastning. Akkumulert deformasjon ved 2. pålastning definert som $T = 0$ (benyttes i Figur 23).



Figur 23. Gjennomsnittlig deformasjonsforløp ved konstant mekanisk belastning (50 kN pr. lastplate) i 120 minutter for BM 10-20 mm og NT 8-12 mm. (T=0 definert i Figur 22).

Etter avlastning var den permanente deformasjonen fra 60% (NT) til 79% (BM) av maksimal deformasjonen. Resultatene viste også at fra 70% (BM) til 88% (NT) av den permanente deformasjonen etter to pålastninger til 50 kN (pr. lastplate) og 120 minutter konstant last (50 kN), oppsto i forbindelse med den første pålastningen. Resultatene for RB ligger omtrent midt i mellom resultatene for NT og BM. Beregninger viser at både RB, BM og NT har en hulromsprosent etter siste avlastning (komprimering og mekanisk belastning) i området 44% - 46%. Beregningene av hulromsprosent er basert på overflatetørr partikkeldensitet (se Tabell 5), bulkdensitet for uvibrert tilslag (se Tabell 6), akkumulert deformasjon (se Tabell 11) og et tverrsnittsareal for det resirkulerte tilslaget løst utlagt i prøvekasen på 0,258 m².

7.4.2.4 Endring i pH i vannet

Resultatene viser, ikke overraskende, at vannet som ble sirkulert gjennom tilslagsorteringen RB 10-20 mm, hadde størst økning i pH. Dette skyldes at betong i utgangspunktet er et svært basisk materiale med pH i betongens porevann helt opp i 12,5-14,0. Vannet ble byttet før oppstart av hvert forsøk samt før komprimering og før mekanisk belastning. For RB tilslaget økte pH-verdien fra 5,5 til maksimalt 10,0. For tilslagene BM og NT var maksimale verdier for pH henholdsvis 9,0 og 6,5.

7.4.3 Demonstrasjonsprosjekt-1: VA-grøft Asker kommune, Yggeset Avfallspark

7.4.3.1 Praktiske erfaringer

I følge entreprenør Kaare Mortensen AS var erfaringene med bruk av resirkulert tilslag i VA-grøften på Yggeset totalt sett meget gode. Følgende positive erfaringer ble nevnt av entreprenøren²⁸:

- Det resirkulerte tilslaget var generelt enkelt å legge ut og lett å arbeide med
- Det resirkulerte tilslaget hadde en høy grad av selvkomprimering og virket å være lettere å komprimere enn naturlig tilslag

- I fuktig tilstand nærmest ”limer” det resirkulerte tilslaget seg sammen og pakker seg godt rundt rørene.

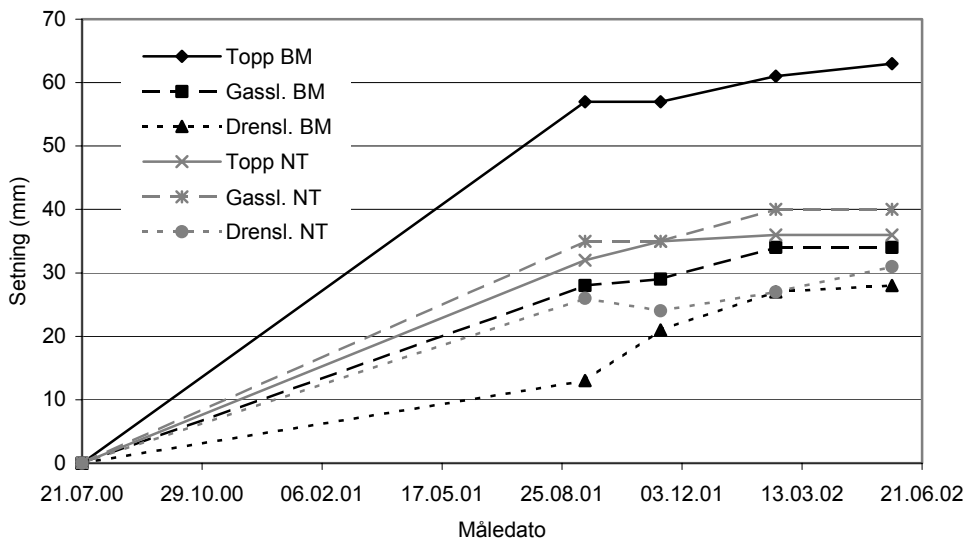
Da det etter utlegging av fundamentet ble kjørt over med en 90 kg vibroplate for komprimering, viste målinger utført av entreprenøren så å si ingen nivåendring på det utlagte tilslaget.

Entreprenøren hadde i perioder problemer med forsinkelser fra leverandør. I tillegg var det også enkelte lass som inneholdt overstørrelser, med vesentlig større stein enn sorteringen 10-20 mm som opprinnelig var bestilt. Dette førte til at entreprenøren måtte sortere ut de største steinene der hvor det resirkulerte tilslaget skulle benyttes som omfylling rundt de mer sårbare gassledningene. Forsinket leveranse og overstørrelser førte dog ikke til noen forsinkelser totalt sett på anlegget.

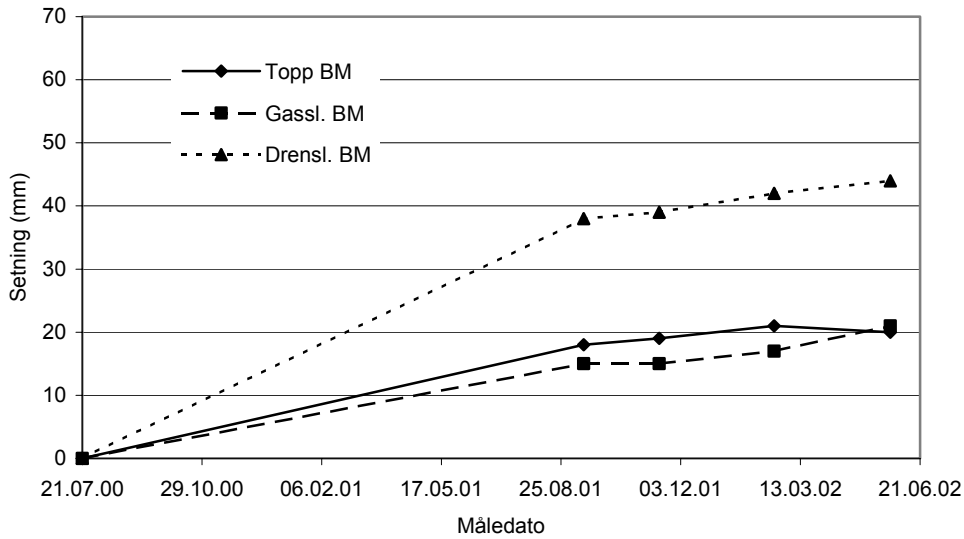
7.4.3.2 Setningsmålinger

Etter at prosjektet på Yggeset var ferdigstilt og referansemålingene gjort i juli 2000, ble det gjort en innmåling av målepunktene i oktober 2000. Deretter ble det ikke gjort nye målinger før nesten ett år senere i september 2001. Dette skyldes delvis at kontaktpersonen i Asker kommune sluttet, og at etaten i kommune omorganiserte landmålingsvirksomheten sin ved årsskiftet 2000/2001. I tillegg var en viktig faktor at RESIBA-prosjektet første halvår 2001 måtte redusere aktiviteten i prosjektet til et absolutt minimum, på grunn av problemer med finansieringen.

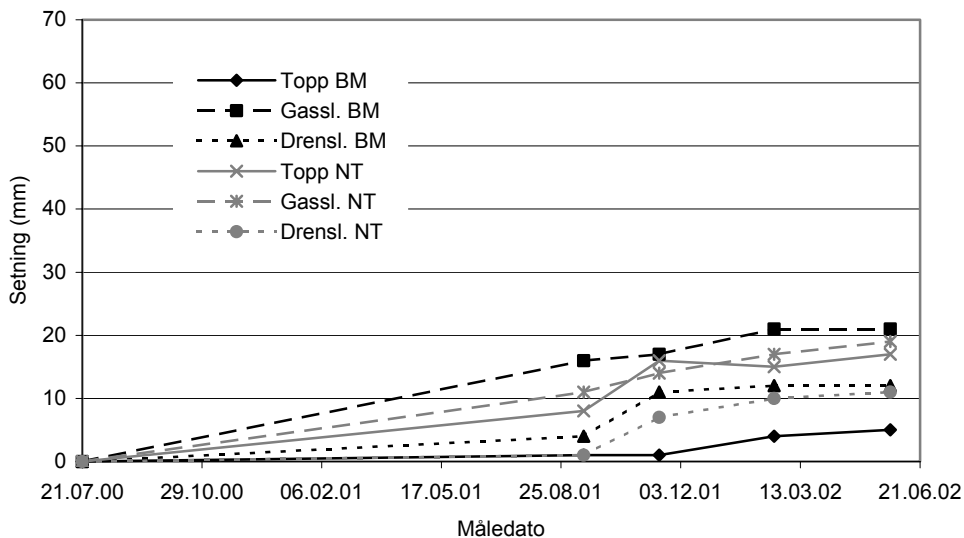
Målinger som er gjort fra september 2001 viser også at målingene som ble utført av Asker kommune i oktober 2000 sannsynligvis ikke er riktige. Ved målingene oktober 2000 ble høyden på målepunktene oppgitt å være helt identisk med referansemålingene mens senere målinger viser at det har vært en del bevegelse. Det er ikke mulig å sjekke dette nærmere, og disse målingene er derfor ikke inkludert. Resultater fra setningsmålingene er vist i Figur 24 - Figur 26. Plassering av målepunktene i hvert tverrsnitt er vist i Figur 6 i kapittel 6.5.



Figur 24. Setninger i måletverrsnitt-1 med resirkulert tilslag (BM) og måletverrsnitt-2 med naturlig tilslag (NT).



Figur 25. Setninger i måletverrsnitt-3 med resirkulert tilslag (BM)



Figur 26. Setninger i måletverrsnitt-4 med resirkulert tilslag (BM) og måletverrsnitt-5 med naturlig tilslag (NT).

7.4.4 Demonstrasjonsprosjekt-2: VA-grøft Oslo kommune, Dalsnaret

7.4.4.1 Praktiske erfaringer

Prosjektet er utført i egenregi av Oslo kommune VAV. Entreprenørens erfaringer med bruk av resirkulert tilslag i VA-grøften i Dalsnaret var gjennomgående meget gode. I følge anleggsarbeiderne var det positivt at det resirkulerte tilslaget har lavere bulkdensitet enn naturlig tilslag. Det gjorde at tilslaget var lettere og greiere å jobbe med, både med gravemaskinen og ved manuell håndtering. En liten ulempe var i følge entreprenøren at tilslaget ble leirete og klebelig å jobbe med når det ble vått. I tillegg hadde også dette prosjektet problemer med noe forsinkelser fra leverandøren.

Det resirkulerte tilslaget ble vurdert å ha tilnærmet det samme komprimeringsbehovet som naturlig tilslag.

7.4.4.2 Setningsmålinger

På grunn av problemer med finansieringen av RESIBA-prosjektet våren 2001 var det ikke mulig å gjennomføre referansemålinger umiddelbart etter at Oslo kommune VAV hadde fullført prosjektet i Dalsnaret. Da referansemålingene endelig skulle gjøres høsten 2001 viste det seg dessverre at det var asfaltert over alle kummene som beskytter målepunktene. Innmålingen ble derfor utsatt nok en gang og kummene med målepunkter måtte lokaliseres og graves opp. Endelig innmåling av referansehøyder har først vært mulig å gjennomføre i midten av februar 2002, ca. ett år etter at prosjektet var ferdigstilt. Det foreligger derfor ingen resultater fra målinger av setninger i Dalsnaret. Det vil imidlertid bli etablert et måleprogram i forbindelse med avslutningen av RESIBA-prosjektet. Dermed blir det mulig å følge stabiliteten av målepunktene videre etter avslutning av RESIBA-prosjektet. I følge Oslo kommune VAV viser kontroll med kamera rett etter at prosjektet ble fullført at rørledningene ligger riktig.

7.5 Vurderinger av resultater fra fullskalaforsøk og demonstrasjonsprosjekter

7.5.1 Lastfordeling

I NBI arbeidsrapport 25 fra 1979 der prøveoppstillingen benyttet i Fullskalaforsøk-1 er beskrevet, heter det at:

"NBI har de senere årene utført en rekke forsøk og erfaringene viser at med finpukk i omfyllingen blir deformasjoner i plastrør meget små til tross for meget små overdekninger og store hjullaster.

Bruker man dårlige jordmaterialer rundt plastrørene viser forsøk at man kan få store deformasjoner" ²⁴.

Finpukk (naturlig tilslag 8-12 mm) blir i rapporten fra 1979 vurdert å være det best egnede materialet for bruk i ledningssonen i grunne ledningsgrøfter. En sammenligning mellom resirkulert og naturlig tilslag i denne sorteringen er derfor svært interessant.

Resultatene fra Fullskalaforsøk-1 viser at det resirkulerte tilslaget virker lastfordelende ved mekanisk belastning på samme måte som naturlig tilslag. Bruk av resirkulert tilslag som fundament for og omfylling rundt PVC-røret ga deformasjoner av røret i samme størrelsesområde som det som er rimelig å forvente ved bruk av naturlig tilslag. Med en overdekning over røret på 0,8 m og 10 lastrepetisjoner til 100 kN var målt rørdeformasjon godt under 8 % av indre rørdiameter, som er maksimalt tillatt deformasjon for PVC-rør i henhold til NS 3420-H ⁷.

Forsøkene viste at rørdeformasjonen raskt nærmet seg en asymptotisk verdi, med 70 - 80% av den permanente rørdeformasjonen allerede etter én pålastning. Det er rimelig å anta et tilsvarende deformasjonsforløp for tilslaget i ledningssonen, men dette ble ikke målt i Fullskalaforsøk -1.

Tilslaget ble i dette forsøket kun komprimert lett (tre ganger fottråkking). Permanent deformasjon av tilslaget i ledningssonen var 50 mm etter endt forsøk med 10 lastrepetisjoner til 100 kN og seks lastrepetisjoner til 250 kN. Tyngre komprimering ville sannsynligvis ført til mindre deformasjoner av tilslaget i ledningssonen ved mekanisk belastning og dermed også bedre kontroll med både fundamentnivået for rørledningen og deformasjonsstabiliteten av overbygningen. Dette ville sannsynligvis også gitt bedre støtte til røret og dermed muligens bedre deformasjonsstabilitet over tid.

Jordtrykkmålingene og beregningene viser at det resirkulerte tilslaget har en lastfordeling på tilnærmet 2:1. Dette stemmer godt med naturlig tilslag. Teoretiske beregninger av rørdeformasjon gitt i rapporten fra 1979 for naturlig tilslag 8-12 mm, viste at en enkel lastmodell med en 2:1 fordeling stemte godt med resultater fra laboratiormålinger²⁴. Dersom tilslaget hadde vært komprimert mer og med tyngre utstyr vill muligens lastfordelingen endret seg noe. Økt komprimering vil imidlertid gi et stivere sjikt i ledningssonen og bruk av 2:1 som lastfordeling vil sannsynligvis være konservativt.

Deformasjonsmålingene i PVC-røret bekrefter at lastfordelingen i resirkulert tilslag er omtrent den samme som for naturlig tilslag. Målingene tyder på at røret blir utsatt for omtrent den samme belastningen, og får samme støtte fra tilslaget i sidefylling og øvre fundament, uavhengig av om det blir brukt naturlig eller resirkulert tilslag.

7.5.2 Permeabilitet

Målinger og beregninger av vanngjennomgang i Fullskalaforsøk-2 viser at resirkulert og naturlig tilslag har omtrent samme hulromsprosent, og dermed også omtrent samme permeabilitet. Beregnet vannmengde gjennom et gitt grøftetverrsnitt viser noe lavere verdier for både resirkulert tilslag og naturlig tilslag undersøkt i forsøket enn for referanseverdier, for naturlig tilslag fra NBI Byggdetaljer³⁷. Dette skyldes trolig variasjoner i prøvematerialet, prøveoppsett og målemetoder. I Fullskalaforsøk-2 synes derimot permeabiliteten, og dermed vanngjennomgangen, i det naturlige tilslaget å være noe lavere enn for de to resirkulerte tilslagssorteringene. Dette kan delvis forklares med at korngraderingen for det naturlige tilslaget er noe annerledes enn det resirkulerte tilslaget, men samtidig er det en del variasjoner i de enkelte måleresultatene for alle tilslagstypene.

Felles for alle tilslagstypene var at komprimeringen førte til en viss reduksjon av hulromsprosenten og dermed også permeabilitet og vanngjennomgang. Mekanisk belastning etter komprimering hadde derimot liten effekt på permeabiliteten. Resultater fra Fullskalaforsøk-2 viser at det er rimelig å anta en hulromsprosent etter komprimering og mekanisk belastning for resirkulert tilslaget i sortering 10-20 mm, på ca. 40 - 45%. Dette er hulromsprosent i samme område som målt for naturlig tilslag i sortering 8-12 mm.

Resultatene fra Fullskalaforsøk-2 viser at det er rimelig å anta en permeabilitetskoeffisient for resirkulert tilslag som for naturlig tilslag i samme sortering. For resirkulert tilslag, 10-20 mm, er permeabilitetskoeffisienten, k , ca. 130×10^{-3} m/s når tilslaget er løst utlagt og ca. 110×10^{-3} m/s etter komprimering. Permeabilitetskoeffisienten vil imidlertid variere en del, og det er sannsynlig at

forhold som for eksempel korngradering og utførelse ved utlegging har større betydning enn tilslagstype.

7.5.3 *Utvasking av finstoff*

Resultatene viser tydelig at utvasking av finstoff ($>50 \mu\text{m}$) ikke fører til problemer med deformasjoner av det resirkulerte tilslag. Knuseprosessen fører til at det resirkulerte tilslaget inneholder mer finstoff enn det naturlige tilslaget. En del av dette finstoffet blir ved vanngjennomgang vasket ut. Resultatene viser at utvasket finstoff (vekt) fra et gitt volum tilslag er i størrelsesorden ti ganger større for resirkulert tilslag enn for naturlig tilslag. Utvasket finstoff utgjør allikevel en liten andel av den totale tilslagsmengden. Maksimal akkumulert utvasket masse (fra BM 10-20 mm) utgjør mindre enn 0,5 vekt-% av den totale tilslagsmengden i prøvegrøfta.

Samtidig viser resultatene også at den største mengden (70-80 %) ble vasket ut før komprimering, og derfor ikke skyldes nedknusing av tilslaget verken fra komprimering eller mekanisk belastning. Dette betyr også at det meste av finstoffet som vaskes ut, kunne vært fjernet dersom tilslaget hadde gått gjennom en vaskeprosess ved produksjon.

Ved belastning med vanngjennomgang alene (før komprimering) når utvasket mengde finstoff var størst, var det ikke målbare deformasjoner i tilslaget. Utvasket finstoff ble samlet opp hvert 30. minutt, og målingene viser at mengdene avtar raskt. Komprimering og mekanisk belastning gir en liten økning av utvasket finstoff de første 30 minuttene for så å bli neglisjerbart. Økningen av pH viser imidlertid at det er komponenter i det resirkulerte tilslaget som vaskes ut og løses opp i vannet, men det er ikke gjort akselererte målinger som gjør det mulig å vurdere hvilken effekt dette har på tilslagets egenskaper over tid.

7.5.4 *Deformasjoner fra vanngjennomgang og mekanisk belastning*

7.5.4.1 Fullskalaprojekt-2

Det er som nevnt i foregående kapittel ingen målbare deformasjoner fra belastning med vanngjennomgang alene. De største volumendringene oppsto ved komprimering av tilslaget og var, som resultatene viser, relativt like og uavhengige av tilslagstype. Dette stemmer godt med erfaringene fra demonstrasjonsprosjektene, som viser at det resirkulerte tilslaget ikke har større komprimeringsbehov eller er vanskeligere å komprimere enn naturlig tilslag.

Resultatene fra målinger med konstant last viser at det resirkulerte tilslaget er deformasjonsstabil, men med noe høyere deformasjoner enn det naturlige tilslaget. Det er som forventet ut fra erfaringer i andre RESIBA demonstrasjonsprosjekter, som viser at resirkulert tilslag har noe lavere stivhet enn naturlig tilslag.

Permanente deformasjoner ved mekanisk belastning tilsvarende trafikklast og 0,5 m gjenfylling over ledningssonen (50 kN pr. lastplate) var mindre enn 10 mm (fyllingshøyde ca. 400 mm i prøvegrøfta etter komprimering) for alle tilslagstypene. Resultatene viser også at 70-90 % av de permanente deformasjonene fra mekanisk belastning kom ved første pålastning. Dette stemmer godt med erfaringene med permanent rørdetformasjon fra Fullskalaforsøk-1.

7.5.4.2 Demonstrasjonsprosjekt-1

Resultater fra deformasjonsmålinger i Demonstrasjonsprosjekt-1 på Yggeset Avfallspark i Asker viser så langt at det ikke er vesentlige forskjeller mellom naturlig og resirkulert tilslag. Det er betydelig større deformasjoner i samtlige målepunkter i den nedre delen av grøftetraseen (måletverrsnitt-1 og 2), der fyllingshøyden er størst, sammenlignet med den øvre delen av grøftetraseen (måletverrsnitt-4 og 5). Dette er imidlertid, som resultatene tydelig viser, uavhengig av tilslagstype.

I måletverrsnitt-1 med resirkulert tilslag, er det registrert forholdsvis store deformasjoner for målepunktet på toppen av ledningssonen sammenlignet med alle de øvrige målepunktene i måletverrsnitt-1 og 2. Samtidig viser resultatene at deformasjonene i samme tverrsnitt er vesentlig mindre dypere i grøfta. Trolig skyldes de relativt store deformasjoner for dette målepunktet derfor dårlig komprimering på toppen av ledningssonen, eller feil ved første innmåling.

I måletverrsnitt-3 med resirkulert tilslag er trolig referansemålingen for målepunktet i overkant av fundament for drensledningen ikke riktig. Det er ikke sannsynlig at dette punktet har en større deformasjon enn overliggende målepunkt på toppen av ledningssonen. Målingene som er gjort etter dette viser imidlertid samme trend som de øvrige målepunktene i tverrsnittet.

7.5.5 *Praktiske erfaringer*

Praktiske erfaringer fra demonstrasjonsprosjektene på Yggeset i Asker og Dalsnaret i Oslo viser at det resirkulerte tilslaget ikke krever mer komprimering eller er vanskeligere å komprimere enn naturlig tilslag. Erfaringene fra begge demonstrasjonsprosjektene viser dessuten at lavere bulkdensitet for resirkulert tilslag gjør at det er lettere å håndtere og legge ut, sammenlignet med naturlig tilslag. Bruk av resirkulert tilslag i de to demonstrasjonsprosjektene førte ikke til merarbeid i forbindelse med utførelse. Det eneste unntaket var på Yggeset der det var problemer med overstørrelser som måtte sorteres ut for enkelte av leveransene. I begge prosjektene var det problemer med forsinket leveranse av resirkulert tilslag fra leverandør.

8. ØKONOMI

8.1 Generelt

8.1.1 *Pris fra produsent*

Prisen fra produsent av resirkulert tilslag på alle aktuelle sorteringer er per dato lavere enn for tilsvarende naturlige rene knuste masser. Tabell 12 viser en sammenligning av listepriiser innhentet fra leverandører i midten av februar 2002. Prisene på resirkulert tilslag er fra BA Gjenvinning, mens prisen på naturlig tilslag er fra en av leverandørene i Østlandsområdet. Sammenligningen viser at det med de prisene som er gitt her, er under halv pris på resirkulert tilslag i forhold til naturlig tilslag.

Tabell 12. Listepriiser på resirkulert og naturlig tilslag fra verk, februar 2002

Varetype	Sortering (mm)	Tilslagspriser (kr/tonn)		Differanse	
		Resirkulert	Naturlig	kr / tonn	% av naturlig
Subbus	0-10 / 0-4	10,-	99,-	89,-	10%
	0-20	35,-	98,-	63,-	36%
Sams / pukkk	0 - 60	39,-	106,-	67,-	37%
Pukkk	4 - 10 / 4 - 8	55,-	149,-	94,-	37%
	10-20 / 11-16	56,-	147,-	91,-	38%
	20-38 / 22-32	46,-	115,-	69,-	40%
Maskinkult	38-120 / 20-120	27,-	84,-	57,-	32%

8.1.2 *Transport*

Avstand fra produsent til det sted der massene skal brukes får stor betydning på grunn av transportkostnadene. Mobile knuseverk kan endre dette forholdet ved knusing av et eller flere riveobjekt på stedet for å bruke tilslaget i samme område. Kravet til dokumentasjon av tilslagets egenskaper og kvalitet kan i så fall bli avgjørende for om dette er mulig. Dessuten må det innhentes tillatelse til å knuse på plassen. Dette kan være vanskelig på grunn av krav om begrensning av støv og støyplager for beboere i nærheten.

Transportkostnadene pr. km er de samme enten steinmaterialene er naturlige eller resirkulerte, men egenvekten på resirkulerte masser er lavere (ca. 1,25 tonn/m³ mot ca. 1,43 tonn/m³), og transportøren kan derfor ta med seg mer på hvert lass. Således blir transportkostnadene lavere for resirkulert tilslag forutsatt at det er lik avstand som for naturlige tilslag. I praksis vil den reelle transportavstand bli avgjørende, og gitt at det resirkulerte tilslaget har en lavere egenvekt og koster mindre enn naturlig tilslag vil det ut i fra en ren økonomisk betraktning være mulig å transportere resirkulert tilslag lengre. Basert på tilslagets egenvekt, prisene og kostnader for transport pr. m³ er det mulig å regne ut hvor mye lengre man kan transportere resirkulert tilslag. Priser for fyllmassekjøring for februar 2002 fra Transportsentralen i Asker og Bærum er gitt i Tabell 13.

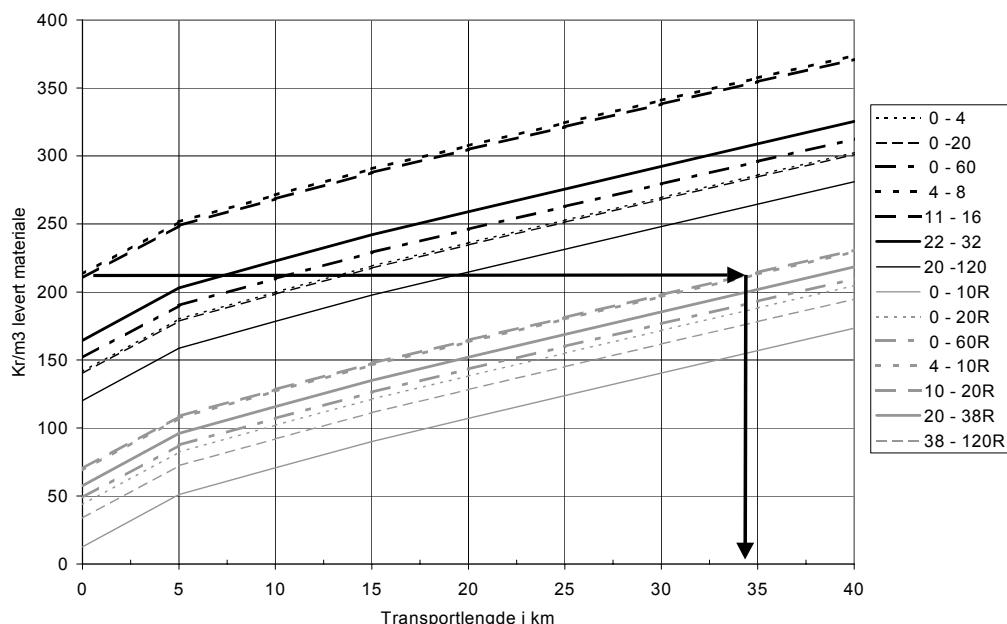
Tabell 13. Transportkostnader for fyllmassekjøring pr. m³ og transportlengde fra Transportsentralen i Asker og Bærum pr. februar 2002.

Distanse (km)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Kr / m³	23,5	27,1	31,0	34,7	38,5	42,4	46,4	50,4	54,2	58,2
Distanse (km)	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0
Kr / m³	62,0	65,8	69,6	72,0	77,5	78,4	82,2	85,9	89,6	94,5
Distanse (km)	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	30,0
Kr / m³	97,1	100,7	104,4	106,9	111,2	114,7	118,0	121,3	124,6	127,9
Distanse (km)	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0	38,0	39,0	40,0
Kr / m³	131,2	134,5	137,8	141,1	144,4	147,7	151,0	154,3	157,6	160,9

Et beregningseksempel viser mulighetene. I et prosjekt er det et behov for 10 m³ tilslag 11-16 mm eller alternativt 10-20 mm til bruk i ledningssonen i en grøft. Forskjellen i pris blir da:

Pris på naturlig tilslag 11-16 mm:	kr 10 x 1,43 x 147	= kr 2 102,-
Pris på resirkulerte tilslag 10-20 mm:	kr 10 x 1,25 x 56	= kr 700,-
Differanse		= kr 1.402,-

For denne differanse kan man som transportprisene i Tabell 13 viser, kjøre inntil 34 km lenger for å hente resirkulert tilslag. Alle avstandsforskjeller mindre enn dette vil medføre en kostnadsbesparelse for prosjektet. Forutsetningen er da at en ikke regner med eventuell ventetid, og at tilslaget ellers er likeverdig. Denne vurderingen tar heller ikke hensyn til miljøkonsekvensene av lengre transport. Figur 27 viser denne sammenhengen for ulike sorteringer av resirkulert og naturlig tilslag levert. Prisen på resirkulert pukk 10-20 mm transportert 34 km er som vi kan se rimeligere enn naturlig tilslag 11-16 mm fra verk.



Figur 27. Transportkostnader (kr/m³) for ulike standard sorteringer av resirkulert tilslag og naturlig tilslag

Dersom transportøren har kjøring f.eks. til BA Gjenvinning og kan hente resirkulert tilslag som returlass, kan det imidlertid lønne seg økonomisk å bruke dette selv om avstanden skulle være betydelig lenger enn til nærmeste pukkverk. Det samme vil naturligvis gjelde for naturlig tilslag.

8.1.3 *Håndteringskostnader*

Resirkulert tilslag er lettere enn naturlig steinmaterialer. Dette betyr at det også er lettere og raskere å håndtere i forhold til utlegging, krafning og spaing i VA-grøfta. Dette vil være med på å redusere kostnadene. Praktiske erfaringer fra RESIBA-prosjektet viser at komprimeringsbehovet er likt eller noe høyere.

Urenheter i massene kan forekomme. For eksempel kan rester av armeringsjern skape problemer for PVC-rør og må plukkes ut. Dette øker tidsforbruket og driver kostnaden opp. I verste fall kan skarpe gjenstander som f.eks. rester av armeringsjern forårsake punktering for lastebiler og andre maskiner som selvsagt øker kostnaden. Trebiter og andre større urenheter bør også plukkes ut, og vil føre til økte håndteringskostnader. Det er derfor viktig å presisere overfor produsenten at leveransen skal være fri for urenheter som må plukkes ut. I demonstrasjonsprosjektet på Yggeset i Asker hadde entreprenøren også problemer med overstørrelser i noen av leveransene. Manuell utplukking av overstørrelser slik det ble gjort der, vil øke håndteringskostnadene.

Det er høyere finstoffinnhold i resirkulerte materialer enn i det naturlige tilslaget. For eksempel i forbindelse med komprimering vil det derfor lett bli mer grisete å jobbe med når det er vått. Dette kan muligens øke håndteringskostnadene noe.

8.1.4 *Leveringsdyktighet*

Enkelte sorteringer er mye etterspurt nettopp på grunn av sin anvendelighet og lave pris. Erfaringen fra RESIBA er at etterspørselen i perioder overstiger produksjons- og lagerkapasiteten hos BA Gjenvinning, og leveransene til anlegget blir forsinket. Det er svært dårlig økonomi å vente på tilslag, eller rett og slett kjøre bomtur, og naturlig tilslag vil således bli valgt. Sannsynligvis vil etterspørselen også bidra til å presse opp prisene på de mest etterspurte sorteringene av resirkulert tilslag, for eksempel 10-20 mm og 20-38 mm.

8.1.5 *Dokumentasjon*

8.1.5.1 Dokumentasjon fra produsent.

Dersom produsentene blir pålagt et omfattende kvalitetsikringssystem og krav til dokumentasjon, slik som for eksempel deklarasjonsordningen for resirkulert tilslag foreslått av RESIBA, så vil dette føre til økte kostnader. Dette vil antakelig medføre noe høyere pris på de resirkulerte materialene. Men man vil da til gjengjeld være sikrere på at det resirkulerte tilslaget holder en jevn og god kvalitet.

8.1.5.2 Dokumentasjon fra entreprenørene

På grunn av generell usikkerhet til lite prøvde produkter vil entreprenører som tar resirkulerte materialer i bruk kunne bli pålagt strengere krav til dokumentasjon, prøvetaking og oppfølging fra de aktuelle byggherrer. Dette avstedkommer økte

kostnader, men man må forvente at slike kostnader vil avta etter hvert som flere får erfaring med bruk av resirkulert tilslag.

8.2 Demonstrasjonsprosjekt-1 VA-grøft Asker kommune, Yggeset Avfallspark

Demonstrasjonsprosjektet på Yggeset Avfallspark er beskrevet i kapittel 6.5.

Tabell 14 viser beregnede kostnader for tilslag levert til anleggsplassen.

Merkostnader med håndtering, levering og dokumentasjon er også vist i Tabell 14.

De ulike kostnaden kommenteres i tillegg under tabellen.

Tabell 14. Kostnader for pukk til VA-grøft på Yggeset Avfallspark

Sortering	Mengde		Pris		Transp. kr/m ³	Håndt. kr/t	Levering RS	Dokument. RS	Totalt
	tonn	m ³	kr/t	kr/m ³					
11-16mm	1 144	800	147	210	66	0	0	0	220 808
10-20mmR	1 000	800	56	70	175	0	5 000	29 400	230 320

Følgende forutsetninger er lagt til grunn for kostnadsberegningene:

- Avstand Yggeset – BA Gjenvinning = 44 km
- Avstand Yggeset – nærmeste pukkverk = 12 km
- Listepriiser gitt i Tabell 12 er brukt i beregningen. I praksis oppnås 10-20% rabatt på disse.
- Egenvekt for resirkulert tilslag er satt til 1,25 tonn/m³, mens egenvekt for naturlig tilslag er satt til 1,43 tonn/m³.
- Etter samtale med anleggsleder hos Kaare Mortensen AS er problemer med levering anslått til en rund sum (RS) på 5 000,-.
- Dokumentasjonskostnader på 29 400,- for dokumentasjon er tatt fra RESIBAs regnskap for 2001. Dette er ekstraordinære kostnader og tas ikke med ved sammenlikning av alternativene med hensyn til pris.

8.2.1 Vurdering

Korrigert for dokumentasjonskostnader er alternativet med bruk av resirkulert tilslag i grøfta 31 318,-. billigere enn alternativet med naturlig tilslag, på tross av en del lengre transport. Entreprenøren forhandlet fram en gunstigere priser på transporten, og med de virkelige prisene har det blitt enda noe billigere, med en besparelse på i overkant av 40 000,-. Resultater fra setningsmålinger vil vise om de resirkulerte massene holder mål kvalitetsmessig. Foreløpige målinger tyder på det, hvilket er en forutsetning for totaløkonomien i prosjektet.

8.3 Demonstrasjonsprosjekt-2 VA-grøft Oslo kommune, Dalsnaret

Demonstrasjonsprosjektet på i Dalsnaret er beskrevet i kapittel 6.6. Tabell 15 viser beregnede kostnader for pukk levert til anleggsplassen. Merkostnader med håndtering, levering og dokumentasjon er også vist i Tabell 15. De ulike kostnaden kommenteres i tillegg under tabellen.

Tabell 15. Kostnader for pukk til VA-grøft i Dalsnaret

Sortering	Mengde		Pris		Transp. kr/m ³	Håndt. kr/t	Levering RS	Dokument. RS	Total
	tonn	m ³	kr/t	kr/m ³					
11-16mm	131	91	147	210	46	0	0	0	23 454
22-32mm	131	91	115	164	46	0	0	0	19 272
10-20mmR	114	91	56	70	46	0	2 000	13 548	26 187
20-38mmR	114	91	46	58	46	0	5 000	13 548	28 044

Følgende forutsetninger er lagt til grunn for kostnadsberegningene:

- Avstand Dalsnaret – BA Gjenvinning = ca. 7 km
- Avstand Dalsnaret – nærmeste pukkverk = ca. 7 km
- Listepriiser gitt i Tabell 12 er brukt i beregningen. I praksis oppnås 10-20% rabatt på disse.
- Egenvekt for resirkulert tilslag er satt til 1,25 tonn/m³, mens egenvekt for naturlig tilslag er satt til 1,43 tonn/m³.
- Etter samtale med Oslo kommune VAV er problemer med levering anslått til en rund sum (RS) på 5 000,-. Dette inkluderer ventetid for gravemaskin og to mann samt ekstra tid på lastebil.
- Dokumentasjonskostnader på kr 27 096 (2 x 13.548) for dokumentasjon er tatt fra RESIBAs regnskap for 2001. Dette er ekstraordinære kostnader og tas ikke med ved sammenlikning av alternativene med hensyn til pris.

8.3.1 Vurdering

Korrigert for dokumentasjonskostnader er alternativet med bruk av resirkulert tilslag i grøfta 18 489,- billigere enn alternativet med naturlig tilslag. VAV oppnådde gunstige priser på tilslaget og benyttet egen bil til transport, og med de virkelige prisene har det blitt enda noe billigere, med en besparelse på i overkant av 25 000,-. Resultater fra setningsmålinger vil vise om de resirkulerte massene holder mål kvalitetsmessig.

8.4 Øvrige prosjekter

8.4.1 Kabelgrøfter for bredbåndkabler, strekningen Klemetsrud – Ytre Enebakk

Prosjektet er beskrevet i kapittel 6.7.1. På grunn av prosjektets nærhet til BA Gjenvinning, og svært billige tilslagspriser, førte bruk av resirkulert tilslag til betydelige kostnadsbesparelser. Det er brukt ca. 6 300 m³ tilslag (30 000 m grøft med et tverrsnitt på ca. 0,7 x 0,3 m). Anslått besparelse er 50 kr/m³ => 6 300,- x 50 = kr 315 000,- totalt for prosjektet. Prosjektet er ikke kontrollert eller fulgt opp av RESIBA. Det er en viss usikkerhet med hensyn til mulig utvasking av 0-sorteringen over tid. Dette vil eventuelt forstyrre totaløkonomien i prosjektet.

8.4.2 Kabelgrøft langs E18 ved Frognerkilen i Oslo

Prosjektet er beskrevet i kapittel 6.7.2. Kostnadsbesparelsene for dette prosjektet med bruk av ca. 1 000 m³ resirkulert tilslag fra BA Gjenvinning gir en anslått besparelse på 35 kr/m³ => 1 000 x 35 = kr 35 000,- totalt for prosjektet.

8.4.3 *Tilbakefylling mot spunt, Inkognitogt, Oslo*

Prosjektet er beskrevet i kapittel 6.7.3. Beregnet volum av fyllingen er 700 m³. Beregnet besparelse for prosjektet er ca. 35 000,- i forhold til bruk av naturlig tilslag 8-12 mm. Bruk av resirkulert tilslag til tilbakefylling mot spunten vurderes å være en fullgod teknisk løsningen, og således ikke beheftet med særlig usikkerhet for kostnadene. Prosjektet følges ikke opp av RESIBA.

8.4.4 *Kapillærbrytende lag under gulv på grunn, Sørumsand videregående skole*

Prosjektet er beskrevet i kapittel 6.7.4. Det er brukt ca. 800 m³ (ca. 1000 tonn) resirkulert tilslag som kapillærbrytende sjikt i dette prosjektet. Kostnadene er:

Pris fra prisliste BA Gjenvinning:	46 kr/t
Transportpris fra liste:	128 kr/m ³ eller 102,40 kr/t
Faktiske priser med rabatter	36,80 kr/t + 50 kr/t = 87 kr/t
Total kostnad for resirkulert tilslaget levert:	<u>87 000,-</u>
Pris for tilsvarende naturlig tilslag :	107 kr/tonn levert byggeplass
Total kostnad for naturlig tilslag (1144 tonn):	<u>122 408,-</u>

Leveringen av 20-38 mm blandet masse var noe ustabil. Dette ble delvis løst med innblanding av ren knust betong 10 – 20 mm som var tilgjengelig. Dette har forårsaket noen ulemper, men gir ikke grunnlag for å ta med økte kostnader her. Håndterings- og dokumentasjonskostnader har ikke vært høyere enn for naturlig tilslag. Den totale differansen er kr 35 408,-.

9. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

9.1 Generelt

Resultater og erfaringer fra RESIBA-prosjektet med bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter er gode. Gjeldende standarder og regelverk forhindrer heller ikke bruk av resirkulert tilslag, og VA-grøfter bør kunne bli et viktig bruksområde. Imidlertid bør det i fremtiden stilles krav om at resirkulert tilslag som skal benyttes i VA-grøfter er dokumentert i henhold til for eksempel forslag til deklarasjonsordning fra RESIBA-prosjektet eller tilsvarende³⁶.

9.2 Tekniske egenskaper

Fullskalaforsøk og demonstrasjonsprosjektene utført i RESIBA har vist at bruk av enten naturlig tilslag (8-12 mm) eller resirkulert tilslag (10-20 mm) i ledningssonen har liten betydning for viktige funksjonsegenskaper som for eksempel drenering, deformasjonsstabilitet osv. Dette på tross av at det er en del forskjeller i materialegenskaper for de to tilslagstypene. For de aller fleste normale forhold vil resirkulert tilslag sannsynligvis være et fullgodt teknisk alternativ til bruk i ledningssonen i VA-grøfter. Konkrete tekniske resultater og erfaringer fra RESIBA i forhold til bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter for de tilslagstypene og sorteringene som er undersøkt er:

- Det har ingen praktisk betydning om det benyttes resirkulert tilslag i kvalitetene "ren betong" eller "blandet masse" i ledningssonen i VA-grøfter.
- For tilslaget som er undersøkt er det dokumentert til dels store variasjoner i materialsammensetning, spesielt for blandet masse.
- Bulkdensitet for det resirkulerte tilslaget løst utlagt er ca. 1250 kg/m³. Dette er vesentlig lavere enn naturlig tilslag.
- Vannabsorpsjonen for det resirkulerte tilslaget er 5-6 %. Dette er vesentlig høyere enn for naturlig tilslag.
- Laboratorieprøving av frostbestandighet viser at kondisjonering av prøver og eksponeringsbetingelsene for det resirkulerte tilslaget er avgjørende. Resultatene viser at det resirkulerte tilslaget ikke bør brukes der det kan bli stående neddykket i vann med tinesalter ved frysing. For de aller fleste VA-grøfter vil dette ikke være et problem. Det er imidlertid behov for mer omfattende dokumentasjon av frostbestandighet av resirkulert tilslag.
- Resirkulert tilslag virker lastfordelende og gir støtte for rørledningen i ledningssonen på samme måte som naturlig tilslag. Lastfordeling i det resirkulerte tilslaget er ca. 2:1.
- Resirkulert tilslag har omtrent samme hulromsprosent og permeabilitet (dvs. drenerende evne) som naturlig tilslag. Hulromsprosent for det resirkulerte tilslaget etter komprimering og mekanisk belastning er ca. 40–45 %. Permeabilitetskoeffisienten, k , for det resirkulerte tilslaget er ca. 130×10^{-3} m/s når tilslaget er løst utlagt og ca. 110×10^{-3} m/s etter komprimering. Vanngjennomgang (dreneringskapasitet) i tilslaget kan beregnes med $\phi = 0,65$.
- Resultater fra fullskalaforsøk med mekanisk belastning og demonstrasjonsprosjekter indikerer at resirkulert tilslag i ledningssonen i VA

grøfter med normal belastning og gjenfylling, ikke er mer utsatt for deformasjoner enn naturlig tilslag. Fullskalaforsøk viser at det vaskes ut mer finstoff fra resirkulert tilslag enn fra naturlig tilslag, men det avtar raskt, og fører ikke til økte deformasjoner i det resirkulerte tilslaget.

- Økning av pH i vannet viser at det vaskes ut vannløselige komponenter til vannet. Det er ikke gjort undersøkelser for å se om dette avtar over tid, eller hvordan dette over lang tid eventuelt påvirker tilslagets materialeegenskaper.
- Det er ikke gjort undersøkelser med tilslag eksponert i spesielt aggressive miljø. Det er sannsynlig at surt miljø kan virke nedbrytende på betongen i det resirkulerte tilslaget over tid. Inntil det finnes bedre dokumentasjon bør man unngå bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen der det er sannsynlig at tilslaget blir eksponert for et spesielt surt miljø.

9.3 Praktisk bruk

Praktiske erfaringer med bruk av resirkulert tilslag i ledningssonen er gjennomgående positive. De viktigste konklusjonene er:

- Fordi resirkulert tilslag har lavere egenvekt er det merkbart enklere å legge ut med maskinelt utstyr og å håndtere manuelt med krafse, spade og annen håndredskap. For øvrig er resirkulert tilslag veldig likt naturlig tilslag å jobbe med.
- Både i Dalsnaret og på Yggeset mente entreprenøren at det resirkulerte tilslaget ikke trenger mer komprimering enn naturlig tilslag. Dette stemmer godt overens med resultater fra målinger av deformasjon, der resirkulert tilslag er usatt for samme komprimering og belastning som naturlig tilslag.
- I forbindelse med begge demonstrasjonsprosjektene og prosjektet på Sørumsand har det vært problemer med forsinket leveranse av resirkulert tilslag.

9.4 Økonomi

Det viser seg at det generelt kan være god økonomi å bruke resirkulert tilslag i ledningssonen i VA-grøfter. Alle prosjekter som er gjennomgått i RESIBA med bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter eller kabelgrøfter, førte til reduserte kostnader. Beregningene inkluderer ikke kostnader med oppfølging, prøving, måling og rapportering utført som en del av RESIBA-prosjektet. De viktigste erfaringer og konklusjoner vedrørende økonomi er:

- Listepreisen på resirkulert tilslag fra februar 2002 er ca. 30-40 % av prisen på tilsvarende sorteringer med naturlig tilslag.
- Lavere bulkdensitet for resirkulert tilslag gir en kostnadsbesparelse ved at det er mulig å fylle opp et større volum i en grøft med samme tonnasje tilslag. Lavere bulkdensitet gjør at resirkulerte tilslaget er lettere å håndtere på anleggsplassen, og dette vil sannsynligvis også redusere kostnadene noe. For øvrig vil det resirkulerte tilslaget være veldig likt naturlig tilslag å arbeide med, og ikke føre til økte håndteringskostnader.
- De økonomiske begrensningene for bruk av resirkulert tilslag, er stort sett knyttet til transportavstanden.

9.5 Miljøpåvirkning

Tilslaget som er benyttet i fullskalaforsøk og demonstrasjonsprosjekter presentert i denne rapporten er ikke undersøkt spesielt med tanke på miljøpåvirkning. Dette er et viktig område som er behandlet i RESIBA Prosjektrapport 03/2002³⁴. Basert på undersøkelser med hensyn til miljøpåvirkning gjort i RESIBA-prosjektet, er risiko for utlekking av miljøskadelige stoffer i forbindelse med demonstrasjonsprosjektene vurdert å være neglisjerbare.

10. REFERANSER

- 1 prEN 13285: 1998, Unbound mixtures, CEN/TC 227.
- 2 prEN 13242: 1998 Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction, CEN/TC 154.
- 3 Forslag til terminologi knyttet til resirkulert tilslag, Høringsutkast, Pukk- og Grusleverandørenes Gjenvinningsforum, juni 2001.
- 4 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/>).
- 5 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.
- 6 ØkoByggs Internettider <http://www.grip.no/okobygg>.
- 7 NS 3420-H:1999, Beskrivelsestekster for bygg, anlegg, installasjoner. Del H: Grøfter, rørledninger, kummer og brønner.
- 8 Falkenberg, J. og Faldager, I.: Arbeidsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 41 1993, "Anvendelse av knust tegl og betong som fyll i ledningsgrave", I. Danmark 1993.
- 9 Statens vegvesen, Håndbok 018 Vegbygging, 1999.
- 10 NBI Byggdetaljer 515.004 Lett kommunalteknikk. Hovedprinsipper, 1992.
- 11 Gundersen, P.: Grunne ledninger - lett kommunalteknikk, NBI og TI, Oslo 1996.
- 12 NS-EN 1610:1998, Utførelse og prøving av avløpsledninger.
- 13 prEN 1046: Plastic piping and ducting systems - Systems outside building structures for the conveyance of water or sewage - Practices for installation above or below ground.
- 14 NS-EN 805:2000, Vannforsyning: Krav til systemer og komponenter utenfor bygninger.
- 15 Instruks for gravearbeider i Oslos gater og veier, Oslo kommune Samferdselsetaten og Statens vegvesen i Oslo, desember 1997.
- 16 RILEM TC 121-DRG: Specifications for concrete with recycled aggregates , Materials and Structures, 1994, 27, pp 557-559.
- 17 prEN 933-11: 2001, Tests for geometrical properties of aggregates. Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate, CEN/TC 154, Task Group 11.
- 18 Kontrollrådet for betongprodukter, Klasse P Betongtilslag, Metoder for prøving av betongtilslag, oktober 1998.
- 19 NS-EN 1097-6: Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag. Del 6: Bestemmelse av komdensitet og vannabsorpsjon.
- 20 prEN 1367: 1998, Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing.
- 21 NS-EN 1367-1: 2000, Prøvningsmetoder for termiske egenskaper og forvittringsmotstand for tilslag. Del 1: Bestemmelse av motstand mot frysing og tining.
- 22 Jacobsen S.: Deklarasjon av egenskaper for resirkulert tilslag – forprosjekt 1998 (foreløpig rapport pr. 10.12.98), rapport E 7753, 6 s./6 appendiks, NBI, Oslo 1998.
- 23 Kleiva, F., Forseth, S., Klevengen, H.: Hovedoppgave: Resirkulerte masser i ubunden bruk, NBI og HiO-IU, 1999.
- 24 Jonsson E.: Ytre belastning på nedgravde fleksible rør, arbeidsrapport 25, NBI, 1979.
- 25 Mastrup, A. L., og Sundbye, T. A.: Hovedoppgave: Resirkulert tilslag som fundament og omfylling i VA-grøfter NBI og HiO-IU, 2000.
- 26 Statens vegvesen, Håndbok 184 Lastforskrifter for bruer og ferjekaier i det offentlige vegnett, 1995.
- 27 Aarhaug, O, E.: Geoteknikk og fundamenteringslære 2, NKL-forlaget, Oslo 1994.
- 28 Ingebrigtsvold, A., Mehus J.: Bruk av resirkulert tilslag i overvannsgrøft i Asker - et økonomisk, miljøeffektivt og samtidig teknisk godt alternativt. Kommunalteknikk nr. 11 2000, s. 38-40.
- 29 Brev fra Oslo kommune, Samferdselsetaten til Oslo kommune, VAV 09.07.99.
- 30 Møte med Oslo kommune, Vann- og Avløpsverket og Samferdselsetaten 08.02.00.
- 31 Kåre Ertnes og Jan Furuvoold , Veidekke ASA, personlig kommunikasjon med Lars Skaare, januar 2001.
- 32 Gordana Petkovic, Vegdirektoratet, personlig kommunikasjon med Lars Skaare, januar 2001.
- 33 Opplysninger fra byggelder Skaare, L. Veidekke ASA Parkkvartalet
- 34 Engelsen, C., Hansen, E., Hansesveen, H.: Miljøpåvirkning ved bruk av resirkulert tilslag, RESIBA Prosjektrapport 03/2002, under utgivelse.
- 35 Øyvind Trydal Veidekke ASA, personlig kommunikasjon med Lars Skaare, januar 2001.

-
- 36 Karlsen J., Petkovic, G., Lahus, O.: Forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag, RESIBA Prosjektrapport 04/2002, NBI prosjektrapport 328.
- 37 NBI Byggedetaljer 515.115 Lokal overvannshåndtering i boligområder, 1989.

