

Miljøprojekt nr. 157

1990

Anvendelse af nedknust beton i ny beton

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Miljøprojekt

- Nr. 62 : Luftforurening med kvælstofoxider i Danmark
- Nr. 63 : Anvendelse af analyseresultater ved vandkontrol
- Nr. 64 : Kosmetik - bivirkninger
- Nr. 65 : Miljøfremmede stoffer i kommunalt spildevand
- Nr. 66 : Undersøgelser af blødt aggressivt vand
- Nr. 67 : Kilder til grundvandsforurening
- Nr. 68 : Overflade aktiveret iltning af ferrojern i vand fra Hvidmosen
- Nr. 69 : Forbrug og forurening med chlorphenoler
- Nr. 70 : Organiske opløsningsmidler
- Nr. 71 : Kviksølv i havneslam
- Nr. 72 : Organic solvents
- Nr. 73 : Arealanvendelse og geologi - nitrat i grundvand
- Nr. 74 : Kviksølv i danske ferskvandsøkosystemer
- Nr. 75 : Forureningstilstanden i danske svømmebade
- Nr. 76 : Nitrat og pH i drikkevand
- Nr. 77 : Kviksølv i jord
- Nr. 78 : Drænvandskvalitet fra pyritholdige arealer
- Nr. 79 : Leptospira-bakterier i rotter ved dambrug og landbrug
- Nr. 80 : Svømmebade og sygdomsrisiko
- Nr. 81 : Lokale forureninger og helbredseffekter
- Nr. 82 : QSAR og toksikologi - en ny strategi i kemikalievurdering
- Nr. 83 : Forurening fra gamle affaldsdepoter uden kemikalieaffald
- Nr. 84 : Alternativ lossepladsteknologi - en litteraturgennemgang
- Nr. 85 : Tilførsel af næringsstoffer til vandløb
- Nr. 86 : Genanvendelse af tekstilaffald
- Nr. 87 : Substitution af PVC-plast med andre plastmaterialer
- Nr. 88 : Emballage til mælk og juice
- Nr. 89 : Vandressourcerne og klimasvingninger
- Nr. 90 : Nikkelafgivelse fra metallegeringer
- Nr. 91 : Algetoksicitetstest
- Nr. 92 : CFC-forbrugsmønster i Danmark
- Nr. 93 : Mikrobiel nedbrydning af miljøfremmede stoffer i grundvand
- Nr. 94 : Genanvendelse af madaffald fra storkøkkener i København
- Nr. 95 : Bundfaunaundersøgelser som redskab til overvågning
- Nr. 96 : Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger
- Nr. 97 : Renere teknologi i fiskeindustrien
- Nr. 98 : Renere teknologi i træ- og møbelbranchen
- Nr. 99 : Kompostering af haveaffald i Frederiksborg amt
- Nr. 100 : Hazard Assessment of 1,1,1-Trichloroethane
- Nr. 101 : Organiske opløsningsmidler i husholdningsprodukter
- Nr. 102 : Fuglefaunaen på konventionelle og økologiske landbrug
- Nr. 103 : Sprøjtefri randzoner i kornmarker
- Nr. 104 : Miljøforbedring ved hovedseparation i rejepilleindustrien
- Nr. 105 : Forbrug af og forurening med bly i Danmark
- Nr. 106 : Haloner - forbrugsmønster i Danmark
- Nr. 107 : Galvanisk overfladebelægning uden affald og spildevand
- Nr. 108 : Madaffald fra storkøkkener - organisation af indsamling og oparbejdning
- Nr. 109 : Erstatningsstoffer for fosfat - spredning og effekter i miljøet
- Nr. 110 :olie/kemikalieaffald - en spørgeskemaundersøgelse
- Nr. 111 : Undersøgelser af vejledende pyritgrænseværdier
- Nr. 112 : Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept
- Nr. 113 : Storskrald og haveaffald
- Nr. 114 : Papirindsamling via specialcontainere og genbrugsstation
- Nr. 115 : Vandmiljøplanens overvågningsprogram
- Nr. 116 : Renere teknologi i svine- og kreaturslagteribranchen

Miljøprojekt

- Nr. 117 : Dioxinmission ved affaldsforbrænding
- Nr. 118 : Klorkilders betydning for dioxindannelse ved forbrænding
- Nr. 119 : Okkerrensning i forbindelse med landbrugsmæssig dræning
- Nr. 120 : Kontrol af køretøjer med katalysator
- Nr. 121 : Forurenede industrigrunde
- Nr. 122 : Indsamling af papir og pap fra erhvervsvirksomheder
- Nr. 123 : Risikovurdering af forurenede grunde
- Nr. 124 : Vedligeholdelse af køle-smøremidler
- Nr. 125 : Fugleføde i kornmarker – insekter og vilde planter
- Nr. 126 : Miljøvenlige malematerialer i jernindustrien
- Nr. 127 : Miljøfremmede, organiske stoffer i kommunalt spildevand
- Nr. 128 : Nedsivning fra byggeaffald
- Nr. 129 : Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald – del 1
- Nr. 130 : Forureningsfri galvanomaskiner til værkstedsbrug
- Nr. 131 : Miljøvurdering af PVC og udvalgte alternative materialer
- Nr. 132 : PVC i kontorartikler, sundhedssektor, m.v.
- Nr. 133 : PVC i byggeri og anlæg
- Nr. 134 : PVC i emballage
- Nr. 135 : Hjemmekompostering
- Nr. 136 : Bearbejdning af danske måledata af regn og afstrømning
- Nr. 137 : Regulering af forurening fra afløbssystemer under regn
- Nr. 138 : Renere teknologi på energiområdet
- Nr. 139 : Afvask af trykpresser med sojaolie
- Nr. 140 : Vandige malematerialer til korrosionsbeskyttelse
- Nr. 141 : Det grønne affaldssystem i AFAV
- Nr. 142 : Det grønne affaldssystem i Høng
- Nr. 143 : Katodisk elektrodypemaling
- Nr. 144 : Reparationsmaling af automobiler
- Nr. 145 : Genanvendelse af nedknust tegl
- Nr. 146 : Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding 1
- Nr. 147 : Blæserensningsmetoder
- Nr. 148 : Storskraldsordninger med genanvendelse
- Nr. 149 : Emissionsundersøgelse for pejse og brændeovne
- Nr. 150 : Prognose for bygge- og anlægsaffald – hovedrapport
- Nr. 151 : Prognose for bygge- og anlægsaffald – bilagsdel
- Nr. 152 : Kemikalier i husholdningen
- Nr. 153 : Danmarks udledning af industrielt spildevand
- Nr. 154 : Miljømærkning af produkter
- Nr. 155 : Spredning af forurening i moræner
- Nr. 156 : Drikkevandskvalitet i Danmark
- Nr. 157 : Anvendelse af nedknust beton i ny beton

Anvendelse af nedknust beton i ny beton

Rapporten beskriver et projekt, hvor bygge- og anlægsaffald fra 2 betonbroer genanvendes til fremstilling af ny beton samt giver en teknisk og økonomisk vurdering af genanvendelsesforløbet. Ansvarsforhold og priser for selektiv nedrivning, knusning og sortering, materialekontrol, betonprøvning og -fremstilling samt udstøbning beskrives.

Projektet viser, at det er økonomisk fordelagtigt og teknisk forsvarligt at erstatte højkvalitative stenressourcer til betontilslag med nedknust betonaffald.

Miljøministeriet

Miljøstyrelsen

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 70.- inkl. 22% moms

ISSN nr. 0105-3094

ISBN nr. 87-503-8724-3

Miljøprojekt nr. 157

1990

Anvendelse af nedknust beton i ny beton

Axel Nielsen as
Rådgivende Ingeniører FRI

**Miljøministeriet
Miljøstyrelsen**

Rapporten er udgivet med tilskud fra Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

Det skal bemærkes, at de fremsatte synspunkter ikke nødvendigvis dækkes af Rådet eller Miljøstyrelsen.

<u>Indhold</u>		Side
<u>1</u>	<u>Indledning</u>	5
1.1	Baggrund	5
1.2	Projektbeskrivelse	5
1.3	Projektorganisation	7
<u>2</u>	<u>Resultater og konklusioner</u>	10
2.1	Projektets resultater	10
	2.1.1 Erfaringer med genanvendelses-	
	materialer i ny beton	10
	2.1.2 Reduktion af miljøbelastning	14
	2.1.3 Etablering af informations-	
	materiale	14
2.2	Konklusioner	14
2.3	Fremtidig udvikling	16
<u>3</u>	<u>Resume af Dansk Betonforenings</u>	
	<u>Anvisning for genanvendelsesmaterialer</u>	
	<u>i beton til passiv miljøklasse</u>	18
3.1	Generelt	18
3.2	Gyldighedsområde	18
3.3	Materialer	18
3.4	Beregning og konstruktion	19
3.5	Betonproportionering	19
3.6	Produktion	19
3.7	Kontrol	20
3.8	Litteratur	20
<u>4</u>	<u>Projektets enkeltaktiviteter</u>	21
4.1	Nedrivning	21
	4.1.1 Projektering	21
	4.1.2 Aftalebetingelser	22
	4.1.3 Metode og gennemførelse	22
	4.1.4 Økonomi	25
4.2	Knusning og sortering	25
	4.2.1 Aftalebetingelser	25
	4.2.2 Metode og gennemførelse	26
	4.2.3 Materialer	27
	4.2.4 Økonomi	29

4.3	Betonleverancen	30
	4.3.1 Aftalebetingelser	30
	4.3.2 Blandeanlæg	30
	4.3.3 Recepter og prøveprogram	31
	4.3.4 Økonomi	37
4.4	Udstøbning	38
	4.4.1 Generelt	38
	4.4.2 Beskrivelse af byggerierne, hvor materialet udstøbes	38
	4.4.3 Aftalebetingelser	39
	4.4.4 Udførelse og prøvning	39
	4.4.5 Økonomi	41
<u>5</u>	<u>Opfølgning</u>	42
<u>6</u>	<u>Litteraturliste</u>	44
Bilag:		
	1 Aktivitetsoversigt med ansvars- fordeling	45
	2 Betonkvalitet af de nedrevne byg- værker	46
	3 Aftalegrundlag for nedrivnings- entrepriserne	48
	4 Aftalegrundlag for knuseentre- prenøren	49
	5 Aftalegrundlag for betonleveran- døren	52
	6 Bygherrenotat vedr.: Beton med tilslag af nedknuste genanvendelsesmaterialer	57

1 INDLEDNING

1.1 Baggrund

Dansk Betonforening udgav i 1989 en anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse (i det følgende benævnt: DBF's anvisning).

Baggrunden for udgivelsen var, at der i Danmark skønsmæssigt produceres ca. 1,5 mio. t byggeaffald om året, og at ca. halvdelen ville kunne oparbejdes til gruslignende materialer, der bl.a. kan anvendes som tilslagsmaterialer i beton.

Under det forberedende arbejde med DBF's anvisning opstod ønske om, at der samtidig med publiceringen af anvisningen fremkom dokumenterede erfaringer - udførelsesmæssige og økonomiske - fra et fuldskalaforsøg med anvendelse af nedknust beton.

Genanvendelse forudsætter tilpassede nedrivningsmetoder, knusning af materialet samt betonprøvnings- og blandemetoder, som ikke er normale i dagens danske byggeproces. I 1989 blev udgifterne til disse særlige aktiviteter ikke dækket af de alternative udgifter til deponering af bygge- og anlægsaffaldet. Men med støtte af midler fra Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi kunne der dog igangsættes et fuldt genanvendelsesforløb, idet materialet fra nedrivning af 2 betonbroer blev bearbejdet og anvendt som tilslag i ny beton til passiv miljøklasse. Tildeling af støtte var også begrundet med, at projektet ville reducere belastningen af de fynske lossepladser.

1.2 Projektbeskrivelse

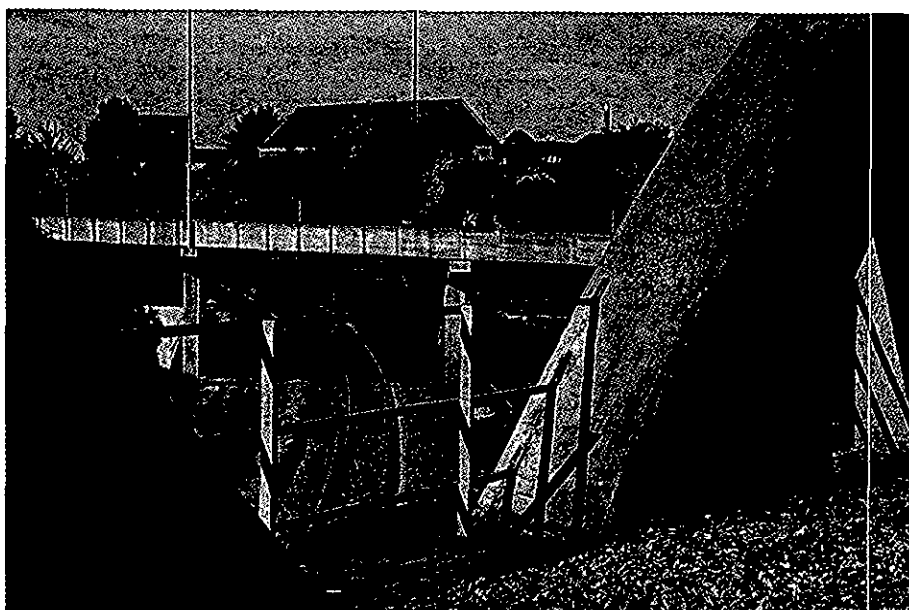
I sommeren 1989 lod DSB 2 ældre betonbroer nedrive; det ville have resulteret i ca. 5000 t byggeaffald, hvoraf hovedparten var beton.

Bro 1 var en karakteristisk skæv buebro fra 1912, som førte et rangerspor hen over DSB's hovedbane ved den vestlige ende af Odense Station; den havde for lille frihøjde, da DSB skulle gennemføre elektrificering, og var iøvrigt blevet overflødig.



Figur 1.1
DSB's karakteristiske rangerbro ved Odense Station (bro 1)

Bro 2 førte en trafikeret gade - Åløkke Allé - over DSB's hovedspor; også den havde for lille frihøjde i forbindelse med DSB's elektrificering, og betonens tilstand var ret dårlig. Broen var oprindeligt opført i 1913 som en jordfyldt buebro og udvidet i 1940 og 1964, sidst med en bjælkesøjlekonstruktion.



Figur 1.2
Åløkke Allés overføring over DSB's hovedspor ved Odense Station (bro 2)

Nedrivningsentrepriserne blev planlagt og udbudt med 2 alternative nedrivningsmetoder

1. Normal nedrivning med affaldsdeponering
2. Selektiv nedrivning med leverance af rene betonbrokker til et knuseanlæg

Begge metoder var tilpasset DSB Standardbetingelser for nedrivning ved sporarealer.

Knusningen blev foretaget på et mobilt knuseanlæg med en hammermølleknuser, som midlertidigt blev opstillet i en grusgrav på Midtfyn. Der var i 1989 ikke permanente knuseanlæg for byggeaffald på Fyn. Betonbrokkerne skulle knuses ned til materiale med en maksimal kornstørrelse på 32 mm og med et minimum af materiale under 4 mm, idet denne fine fraktion i ht. DBF's anvisning ikke kan genanvendes i betonfremstilling.

Det anvendelige materiale blev sorteret i fraktionerne 4-16 mm og 16-32 mm og transporteret til en idriftværende betonblandestation for færdigblandet beton.

Betonleverandøren havde ansvaret for, at den leverede beton opfyldte alle kvalitetskrav - normale og specielle for genanvendelsesbeton. Leverandøren gennemførte derfor et prøveprogram, som omfattede både de knuste materialer og de producerede betontyper.

Undervejs i projektet opstod nogle uforudsete forhold, som reducerede mængden af anvendeligt tilslag til ca. 400 t, hvilket var tilstrækkeligt til at fremstille og levere beton til 2 nybyggerier, dels et boligbyggeri underlagt de normale krav til statsstøttet byggeri, dels en privatfinansieret parkeringskælder.

Betonfremstillingen og -leverancen forløb som forventet, idet genanvendelsesmaterialernes relativt store vandabsorption krævede en meget omhyggelig overvågning af blandeprocessen.

Udstøbningen forløb som ved anvendelse af traditionel beton.

1.3 Projektorganisation

Projektet er iværksat og ledet af Axel Nielsen as, Rådgivende Ingeniørér FRI, Odense, som dels har været involveret i udarbejdelsen af DBF's anvisning og dels løbende forestår projekter, som muliggør, at man kan koordinere et helt genanvendelsesforløb. Civilingeniør Erik Bitsch Olsen har været projektleder.

Den bevilgede støtte fra Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi blev administreret af Miljøstyrelsens kontor for genanvendelse og renere teknologi.

Der blev etableret en følgegruppe med repræsentanter fra Miljøstyrelsen, DSB, Odense Kommune, Kommuneforeningen i Fyns Amt, Dansk Betonforenings arbejdsgruppe vedrørende udarbejdelse af anvisning om genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse og RILEM's tekniske komite TC 121 DRG vedr. "Guidance for demolition and reuse of concrete and masonry".

De udpegede personer til følgegruppen var:

Lars Søborg, Miljøstyrelsen - formand
Jørn Schmidt, DSB
Bent Schou, DSB - indtil 31. dec. 1989
Peter Kristensen, DSB, efter 1. jan. 1990
Uffe Nielsen, Odense Kommune og
repræsentant for Kommuneforeningen
Palle Matzen, Fyns Amt
Anders Henriksen, DBF's arbejdsgruppe
Erik K. Lauritzen, RILEM' TC 121 DRG

I udførelsen af projektet har følgende parter været involveret:

Bygherre, nedrivningsentrepriser:
DSB

Bygherrer, nybygningsentrepriser:
Odense AndelsBoligforening
Islef Odense A/S

Rådgivere, nedrivning:
Gimsing & Madsen A/S, Horsens
Axel Nielsen as, Odense

Rådgivere, nybyggeri:
Axel Nielsen as, Odense

Hovedentreprenører, nedrivning:
Jord & Beton A.m.b.A., Kolding
Arthur & Bjarne Jensen I/S, Odense

Underentreprenører, nedrivning:
Carl & Villy Sørensen I/S, Lystrup
Kingo Karlsen, Silkeborg

Entreprenører, nybyggeri:
Ove Pedersen Ferritslev A/S
Højgaard & Schultz Vest A/S

Knusning:
Tarup Sten & Grus A/S
Alf Gregersen A/S

Betonleverance og -prøvning:
4K Beton

Formålet med projektet var bl.a. at vurdere omkostningerne af en omfattende genanvendelse ved nedrivning af bygninger og anlæg. Derfor har hovedforudsætningen ved planlægningen og koordineringen været, at projektet var opdelt på aktiviteter, som enten indgår naturligt hos byggeriets parter, eller kan varetages af parter i en fremtidig genanvendelsesproces. En oversigt over aktiviteterne, dels i et traditionelt byggesagsforløb og dels i et genanvendelsesforløb, er angivet i bilag 1. Ansvar for kvalitet, udførelse, økonomi og tidsforbrug er fordelt hos de parter, som må forventes fremover at påtage sig dette ansvar.

Ansvar for, at projektet er planlagt, koordineret og rapporteret i h.t. betingelserne for projektstøtten ligger dog hos projektledelsen.

2. Resultater og konklusioner

2.1 Projektets resultater

Pilotprojektet har haft 3 formål:

1. Der skulle indhentes og offentliggøres tekniske og økonomiske erfaringer fra fuldskala-forsøg med genanvendelsesmaterialer som tilslag i ny beton.
2. Materialet fra nedrivning af et par store betonbroer skulle ikke belaste de fynske lossepladser. Samtidig skulle der spares en tilsvarende mængde naturlige ressourcer som tilslag i beton til passiv miljøklasse.
3. Projektet skulle være grundlag for etablering af visuelt informationsmateriale om genanvendelse.

De indhentede erfaringer resumeres i dette kapitel og omtales mere detaljeret i kapitel 4.

2.1.1

Erfaringer med genanvendelsesmaterialer i ny beton

I dette kombinerede nedrivnings-, knusnings-, betonproduktions- og betonstøbeprojekt er gennemført et fuldt genanvendelsesforløb for bygge- og anlægsaffald. Desuden er det tilstræbt, at den etablerede ansvarsopdeling, jfr. bilag 1, var så nært sammenfaldende med den traditionelle ansvarsfordeling i byggebranchen som muligt.

Teknisk resultat

Nedrivningsentrepriserne blev udført helt traditionelt ved hjælp af wiremaskiner med kugler samt hydrauliske hamre. Metoden er ikke velegnet, når der skal gennemføres selektiv nedrivning til fremme af den videre genanvendelse, men de tidsmæssigt meget pressede betingelser, som nedrivning i jernbanedriftens sporsparingsperioder giver, tillader ikke eksperimenter. Når tidsplaner skal overholdes, må alle involverede være fortrolige med deres opgaver. Nye metoder, som er mere orienteret mod materialesortering, må indarbejdes, inden de tages i anvendelse ved nedrivning af DSB-broer.

I øvrigt var det ikke alene nedrivningsmetoden, som reducerede den genanvendelige mængde. Under forberedelserne til en natlig nedrivning over et hovedspor blev det opdaget,

at den ældste del af bro 2 mod forventning var beskyttet af en tyk asfaltmembran. Under nedrivningen blev membranen blandet op i store mængder brokker; de blev herved forurenede af fald, som ikke kunne genanvendes.

Nedrivningsentreprenørerne leverede i alt ca. 1400 t brokker neddelt i krævede størrelser hos knuseentreprenøren.

Knusningen blev gennemført i 2 omgange; en prøvek nusning og en hovedknusning. Prøveknusningen foregik i 2 trin på et igangværende stenknuseværk, hvor forknuseren var en separat kæbeknuser, og den sekundære knusning skete på stenknuseanlægget. Prøveknusningen forløb ikke hensigtsmæssigt. Hovedknusningen blev derfor foretaget på et mobilt knuseanlæg med en hammermølleknuser og recirkulation af fraktioner større end 32 mm. Såvel spild som andelen af materiale med kornstørrelse < 4 mm, (der ikke kan genanvendes i beton), var meget stor, så den resulterende mængde af genanvendeligt nedknust materiale blev kun 376 t fordelt med 140 t i fraktionen 16-32 mm og 236 t i fraktionen 4-16 mm. Knuseleverandøren leverede dette materiale til betonproducenten.

Al materialekontrol, betonforprøvning og kontrol af betonleverancer blev udført af betonproducenten. Materialerne svarede til klasse GP1 i DBF's anvisning og var meget velegnede til betonfremstilling. Der var ikke clorid i materialerne; indholdet af lette korn var meget begrænset, se figur 4.10, og kornformen var kubisk og kantrundet. Under knusningen blev mange af de oprindelige tilslagssten adskilt fra mørtelen. Absorptionskoefficienten var relativt stor. Ved den senere betonblanding blev værdierne angivet i figur 2.1 forudsat:

Fraktion	Absorptionskoefficient
4-16 mm	4,5 %
16-32 mm	3,7 %

Figur 2.1

Absorptionskoefficient for genanvendelsesmateriale af beton

Betonfremstilling af tilslag, som havde denne store absorptionskoefficient, krævede stor opmærksomhed.

Ved forprøvning blev recepten for betonkvalitet: $f_{ck} = 20 \text{ MN/m}^2$ bestemt. Den er sammenstillet med recepten for en tilsvarende beton med traditionelle materialer i figur 2.2 (svarer til figur 4.8).

Recept		Referencebeton: Standardbeton i passiv miljøkl. 20 MN/m ²	Genanven- delses- beton 20 MN/m ²
Cement	kg/m ³	200	198
Flyveaske	kg/m ³	80	77
Sand 0-4 mm	kg/m ³	787	680
Sten 4-16 mm	kg/m ³	550	555
Sten 16-32 mm	kg/m ³	500	525
Vand	kg/m ³	145	151
v/c-tal		0,60	0,64
Luftindhold	%	4	4
Sætmål	mm	100	100
Trykstyrke:			
- gnm.v. 7 dg.	MN/m ²		21,2
- gnm.v. 28 dg.	MN/m ²	ca.26	31,2 ¹⁾
- sprdn. 28 dg.	MN/m ²		2,4 ¹⁾
Kontroltal	MN/m ²	23,9	21,0

Styrkeangivelser stammer fra produktionskontrol
1) Stikprøvestørrelse: 20 stk.

Figur 2.2

Blandingsrecepter med tilhørende trykstyrker for beton i passiv miljøklasse; karakteristisk trykstyrke: 20 MN/m².

Betonleverandøren leverede betonen med genanvendelsestilslag til bygningsentreprenøren i betonkanoner på sædvanlig måde.

Der blev under forsøget leveret ca. 350 m³ beton med genanvendelsestilslag til 2 byggepladser. Betonen blev leveret som bygherreleverance til samme pris som beton med traditionelle tilslag. Udstøbningen forløb fuldstændigt som for normal beton. Betonudstøberne nævnte, at beton med genanvendelsesmaterialer virkede mere klæbrig ved udjævning end normal beton. Det var dog næppe blevet bemærket, hvis der ikke havde været så megen opmærksomhed om disse støbninger.

Økonomiske erfaringer

Aktiviteterne nedrivning, transport og udstøbning af beton med genanvendelsestilslag er udført af entreprenører, som har afgivet priserne i en normal licitationskonkurrence. Priserne for knusning samt betonproduktion og -kontrol er fundet ved forhandling.

Da dette er et pilotprojekt, er der prissat og betalt nogle opstartomkostninger og "lærepenge", som er specifikke for dette projekt, men som gerne skulle blive tjent ind igen med offentliggørelsen af denne rapport. Disse omkostninger har ikke almen interesse og anføres ikke i rapporten.

I figur 2.3 er opstillet en aktivitetsopdelt oversigt over ekstraomkostninger for et totalt genanvendelsesforløb i forhold til et traditionelt byggesagsforløb; ekstraomkostningerne for de enkelte aktiviteter er indhentet i forbindelse med det begrænsede og partielle genanvendelsesforløb, som er gennemført i dette projekt. Totalberegningen er udført for mængder svarende til, at 90 % af betonmaterialerne kunne genanvendes som tilslag i ny beton, mens 10% antages deponeret på grund af lokal forurening og lignende. Det skønnes, at denne fordeling er realistisk her, hvis nedrivningen var forløbet som planlagt.

Ved beregning af ekstraomkostningerne er deponering af uanvendeligt materiale og spild sat til 0 kr, idet omkostningerne antages at være ens i et genanvendelses- og et traditionelt forløb. Det forudsættes, at 0-4 mm fraktionen omkostningsfrit kan genanvendes til fyld eller afretning af grusveje, hvor det er meget velegnet.

Aktivitet	Mængde t	Enhedspris kr./t	Total 1000 kr.
Selektiv nedrivning	5200	8	42
Uanvendeligt materiale Mængde, ca. 10 % Deponering	500		0
Sparet deponering	4700	18	-84
Knusning og sortering	4700	60	282
Spild herfra - fraktion 0-4 mm Mængde ca. 30 % Anvendelse	1700		0
Erstatning af naturlige ressourcer ab grav (excl. råstofafgift)	2900	35	-102
Betonfremstilling mm. ca. 2800 m ³	3000	14	42
Udstøbning - ca. 2800 m ³	3000	0	0
Ekstraomkostninger i alt			180
Enhedsomkostninger på sparet deponering uden affaldsafgift	4700	38	180
Sparet affaldsafgift efter 1990	4700	130	-611
Sparet råstofafgift efter 1990: 1140 m ³			- 6
Besparelse på genanvendelse	4700	93	-437

Figur 2.3

Oversigt over ekstraomkostninger ved genanvendelse af eksisterende betonkonstruktioner. Genanvendelsesomfang: 90%. Priserne er excl. moms.

Når genanvendelsessystemer for bygge- og anlægsaffald er fuldt udbygget, vil nogle af omkostningerne kunne reduceres. Det gælder f.eks. ekstraomkostningerne til betonfremstilling. Det ses, at genanvendelse her giver ekstra omkostninger på 38 kr./t materiale, som ikke bliver tilført en fyldplads. Til gengæld spares fra 01.01.90 affaldsafgiften på 130 kr./t, og en råstofafgift på 5 kr./m³ ved indvinding af naturlige ressourcer.

Genanvendelse reducerer indvinding af naturlige ressourcer med 2900 t svarende til ca. 2800 m³ beton af kvalitet 20 MN/m². Ekstraomkostningerne ved genanvendelsesaktiviteter udgør 63 kr./m³ eller ca. 10 %, men tages der hensyn til deponeringsafgiften og råstofafgiften medfører genanvendelse en besparelse på ca. 156 kr./m³ eller ca. 25 %.

2.1.2

Reduktion af miljøbelastningen

Projektet skulle også medvirke til at reducere deponering på lossepladser og forbruget af naturlige grusressourcer.

Dette formål er ikke blevet opfyldt fuldt ud. Af de ca. 5000 t potentielle betonaffald i de to broer er kun ca. 1400 t blevet genanvendt; årsagen er beskrevet i 2.1.1. Ligeledes har besparelse i forbrugte naturlige ressourcer været tilsvarende utilfredsstillende.

2.1.3

Etablering af informationsmateriale

Under projektets udførelse er der løbende optaget video og diasskiver af alle aktiviteter. Samtidig med afrapporteringen af projektet sker der en redigering af materialet, så det samlede arbejde beskrives i en ca. 20 min. lang video og en diasserie, som overleveres til Miljøstyrelsen.

2.2 Konklusioner

Projektet har vist, at der ikke er tekniske eller ansvarsmæssige problemer ved at gennemføre genanvendelse af nedknust betonaffald.

Mængdemæssigt giver det heller ikke problemer, idet de her forudsatte samlede bygge- og anlægsaffaldsmængder på 1.5 mio m³ kun vil kunne erstatte nogle få procent af de naturlige ressourcer, som anvendes i bygge- og anlægsbranchen.

Efter indførelsen af råstof- og affaldsafgifterne d. 1. januar 1990 er der desuden en stor økonomisk fordel ved at genanvende nedrivningsmaterialer fra betonbygværker.

Den økonomiske fordel er oftest mindre ved nedrivning af andre bygværker, idet gennemførelse af selektiv nedrivning af f.eks. bygninger er mere ressourcekrævende. Men når fordelene er så store som her, ca. 100 kr./t, må det forventes, at genanvendelse fremover bliver det normale; kun undtagelsesvis bliver ekstraomkostninger eller tidsforbrug til selektiv nedrivning så store, at deponering - med tilhørende affaldsavgift - er fordelagtig.

I dette projekt har nedknust beton erstattet høj kvalitative naturlige grusmaterialer, hvilket har krævet en omhyggelig håndtering og omfattende kontrol med tilsvarende forholdsmæssige høje fremstillingsomkostninger. Nedknust beton og nedknust bygge- og anlægsaffald i det hele taget kan også bruges som almindeligt fyld og lignende, hvor der ikke stilles så store krav til materialekvaliteten, som DBF's anvisning angiver.

Skal bygge- og anlægsaffaldet erstatte de bedste naturlige materialer, som f.eks. betontilslag eller stabilt grus til vejbygning, skal der indføres en materialeklassificering, som svarer til den certificering, der er for naturlige råstoffer. Det er en løbende kontrol og dokumentation af materialets kvalitet - høj eller lav.

I dette projekt udførte betonleverandøren kontrollen af de knuste materialer; det kunne lige så godt - og nok mere hensigtsmæssigt - gøres af knuseentreprenøren.

En optimal produktion af høj kvalitative materialer er kun rentabel på knuseanlæg, som er sikret en stor årsproduktion (mindst 100.000 t), idet anlægget skal omfatte bedre knuse- og transportfaciliteter, end det er tilfældet på de nuværende danske knuseanlæg. Dertil hører større drifts- og anlægsomkostninger, som skal forrentes og afdrages.

Når der først er etableret en løbende produktion af nedknust bygge- og anlægsaffald, som opfylder kravene i DBF's anvisninger, vil betonproducenterne uden store problemer kunne anvende materialet. Det forudsætter nok, at de får en mindre andel af den økonomiske fordel, som opstår i nedrivningsleddet, ved at affaldsavgiften spares.

Byggeentreprenørerne, som skal anvende beton til passiv miljøklasse, vil næppe opdage, om den modtagne beton er med naturlige tilslag eller tilslag af nedknuste genanvendelsesmaterialer.

Endnu er betonens langtidsholdbarhed ikke vel-dokumenteret; de hidtidige erfaringer giver dog ikke anledning til at forvente problemer i passiv miljøklasse.

2.3 Fremtidig udvikling

Flere ting tyder på, at anvendelsen af nedknust bygge- og anlægsaffald som tilslag i beton får en langsom udvikling.

Den økonomiske, tekniske og myndighedsmæssige baggrund er til stede, men inden anvendelsen får et stort omfang, skal

- nedrivningsentreprenørerne have erfaring med omhyggelige selektiv nedrivning

og der skal

- etableres regionale knuseanlæg
- indhentes erfaring med genanvendelse af sædvanligt forekommende bygge- og anlægsaffald

Imens skal der indsamles viden om langtidsholdbarheden. I dette projekt vil der efter ca. 5 års forløb blive gennemført struktur- og luftporeanalyser af de bygningsdele, som er undersøgt i forbindelse med udførelsen. I boligbyggeri vil kvalitetsudviklingen blive registreret i forbindelse med 5 års-garantieeftersynene.

I øvrigt bør ejerne løbende følge bygningsdelenes tilstand, indtil der findes et større erfaringsgrundlag.

Etableres der tilstrækkeligt store knuseanlæg (jfr. afsnit 2.2), kan det på længere sigt forventes, at anvendelsen af nedknust bygge- og anlægsaffald som erstatning for højkvalitative naturlige ressourcer til betontilslag bliver stor. DBF's anvisning fastlægger, at selv nedknuste teglmaterialer - svarende til materialeklasse GP2 - kan anvendes til beton i passiv miljøklasse; dvs. i en betonkvalitet der produceres store mængder af. Derfor kan normalt forekommende bygge- og anlægsaffald erstatte værdifulde naturlige ressourcer her.

Endnu er der ikke etableret regler for anvendelse af nedknust bygge- og anlægsaffald i vejbyggeri, men her placeres højkvalitative materialer som stabilt grus i aggressivt miljø.

Det anses for sikkert, at kravene til et sådant materiale bliver langt mere restriktive end DBF's anvisning er, og omfanget af genanvendelse i vejbyggeri bliver tilsvarende mindre. Formentlig kommer kun rene betonmaterialer på tale.

3. Resume af Dansk Betonforenings Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse

3.1 Generelt

Kravene til kvaliteten af den beton, som skulle produceres i dette forsøg, er fastlagt på grundlag af DBF's anvisning, og den har således været styrende for kravene til alle aktiviteter i genanvendelsesprocessen. Anvisningen indgår ikke i rapporten, men den resumeres kort i det følgende.

Anvisningen kan erhverves hos Dansk Ingeniørforening.

3.2 Gyldighedsområde

Anvisningen er knyttet til Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner, DS 411, 1984, (Litt. 1) (herefter benævnt: Betonnormen), og skal anvendes sammen med denne og de dertil knyttede standarder.

Anvisningen vedrører beton i passiv miljøklasse, som i stenfraktionen indeholder genanvendte materialer, hvis hovedbestanddele er beton, murværk eller tegl.

Nedknuste materialer inddeles i 2 klasser: GP1 og GP2, som begge kan anvendes til såvel armeret som uarmeret beton. GP1 kan anvendes, hvor den karakteristiske betonstyrke maksimalt er 40 MN/m²; GP2, hvor den maksimalt er 20 MN/m².

Genanvendelsesmaterialer bør ikke anvendes i konstruktioner af høj sikkerhedsklasse.

3.3 Materialer

Et genanvendelsesmateriale er et oparbejdet, fraktioneret materiale fra bygge- og anlægsarbejder, hvor mindst 95 % af materialerne skal være beton, murværk eller tegl.

D.v.s. det accepteres, at op til 5 % er andre materialer, som dog ikke må være skadelige stoffer i henseende til såvel anvendelsestekniske som miljømæssige forhold.

Anvisningen nævner som acceptable bmaterialer: glas, metaller, træ, tjære/bitumen, natursten m.m.

Der stilles i øvrigt krav til materialernes densitet, som er differentieret på materialeklasserne GP1 og GP2.

3.4 Beregning og konstruktion

Beregningsmæssigt forårsager genanvendelsestilslag primært afvigelser fra normal beton i henseende af elasticitetsmodulen og i beregningsregler, hvor denne har indflydelse. Afvigelsernes indflydelse er angivet.

3.5 Betonproportionering

Det kræves, at enhver proportionering kontrolleres ved, at der gennemføres en forprøve i h.t. Betonnormen.

Det antages, at trykstyrken af beton, hvor genanvendelsesmateriale erstatter naturlige tilslag, er mindre. Som udgangspunkt for en receptproportionering angives, at

$$f_{c, \text{genanvendelse}} = K \cdot f_{c, \text{granit}}$$

hvor $K = 0,9$ for GP1-materialer og $K = 0,7$ for GP2-materialer.

Den væsentligste faktor, som har indflydelse på optimering af recepter er dog genanvendelsesmaterialernes store og varierende absorptionssevne.

3.6 Produktion

Også under blanding af betonen er genanvendelsesmaterialers store og varierende absorptionssevne den faktor, som man skal være mest opmærksom på, og som der løbende skal justeres for.

I øvrigt skal blanding og udstøbning udføres ud fra samme forudsætninger som beton med traditionelt tilslag.

3.7 Kontrol

Kontrol af tilslag, beton og efterbehandling skal opfylde de generelle krav, som er angivet i Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner, 1986 (Litt. 3) (herefter benævnt BBB) og Betonnormen.

Ved statistisk kontrol skal man være opmærksom på den begrænsede erfaring, man har med styrken af genanvendelsesbeton, samt på at det må forventes, at materialeegenskaberne varierer mere for genanvendelsesmaterialer end for traditionelle tilslag.

Derfor må man, indtil tilstrækkeligt erfaringsmateriale foreligger, bruge en beslutningsregel, som tager en ukendt variationskoefficient i regning.

En tilfredsstillende materialeegenskab bestemmes ved, at den statistiske middelværdi er større end kontroltallet $k_n \cdot f_{ck}$

hvor $k_n = \exp(k_n' \cdot x(s/m) - 0,1875)$

Her er

k_n'	:	Faktor fastlagt i h.t. "Regningslinier for last og sikkerhedsbestemmelser for bærende konstruktioner, NKB-skrift 55.
k_n	:	en tabelleret kontrolfaktor
m	:	middelværdien af stikprøven
s	:	spredning på stikprøven

3.8 Litteratur

Anvisningen henviser til både dansk og udenlandsk litteratur om emnet.

4 Projektets enkeltaktiviteter

4.1 Nedrivning

Nedrivningsaktiviteterne er opdelt på 2 entrepriser - en for hver bro. I begge tilfælde omfatter den nedrivning og transport af genanvendelige og ubrugelige materialer til henholdsvis knuseanlæg og losseplads.

4.1.1

Projektering

For hver af de to nedrivningsentrepriser er udarbejdet særskilte projekter og udbudsmaterialer på grundlag af bygherrens - DSB's - standardforudsætninger for arbejder ved benyttede sporarealer. Det er et meget omfattende materiale, hvoraf kun den lille del, som har indflydelse på genanvendelsesforsøget, omtales her.

Der har tidligere været foretaget undersøgelser af betonkvaliteten på begge broer; er resume af disse undersøgelser er angivet i bilag 2. En kort konklusion er, at nok forekommer der mange overfladeskader især på bro 2; men generelt er kvaliteten - herunder styrken og det begrænsede omfang af alkalikiselreaktioner - så tilfredsstillende, at betonen kan genanvendes i passiv miljøklasse.

En særeftersynsrapport for bro 2 angiver, at betonoverfladen er uisoleret, tør og klangfuld uden tegn på karbonatisering, og udbudsmaterialet indeholdt følgende oplysning: Fugtisolerung på brodelen fra 1913 kendes ikke i videre omfang. Ved en prøvegravning i 1986 fandtes denne uisoleret.

Denne oplysning, og dens påvirkning af en meget stram arbejds- og sporspæringsplan, fik væsentlig indflydelse på den mængde brokker, der blev til rådighed for genanvendelsesforsøget, som omtalt i afsnit 4.1.2. Her giver det anledning til at påpege, at en omhyggelig og fuldstændig forundersøgelse og planlægning er nødvendig, for at genanvendelsesaktiviteter kan styres og ofte for, at de kan gennemføres.

For bro 1 blev der indhentet tilbud på 3 alternative udførelser:

1. En traditionel nedrivning med fuld deponeering af affald.

2. Selektiv nedrivning uden krav til de genanvendelige brokkers maksimale størrelse. Disse brokker skulle transporteres til et permanent knuseanlæg for byggeaffald i Hedensted (Jylland).
3. Selektiv nedrivning med krav om, at de genanvendelige brokker maksimalt måtte være 3,0 x 0,9 x 0,6 m. Disse brokker skulle transporteres til et midlertidigt knuseanlæg på Fyn.

Høje transportomkostningerne i alternativ 2 viste sig at udelukke dette alternativ og for bro 2 blev dette alternativ ikke vurderet.

På grundlag af erfaringerne med en lille prøveknusning efter nedrivning af bro 1 stillede knuseentreprenøren krav om, at genanvendelige brokker maksimalt måtte være 0,6 x 0,6 x 0,9 m og dette krav blev indført ved bro 2. Der blev ikke stillet krav til nedrivningsmetode ved nogen af entrepriserne, men for bro 2 blev det foreslået at anvende "betonsakse", så nedrivning og neddeling til 0,6 x 0,6 x 0,9 m brokker kunne foretages i en arbejds gang. Ved bro 2 blev det desuden krævet, at nedrivningsentreprenøren i dagsrapporter registrerede: udførte aktiviteter, bemanding, anvendt materiel og tidsforbrug.

4.1.2

Aftalebetingelser for nedrivning

Efter licitationerne blev der ved begge nedrivninger truffet aftale om, at genanvendelsesalternativet skulle gennemføres, og at brokker med givne maksimumsmål skulle leveres på en plads på Midtfyn, hvor der kunne opstilles et midlertidigt knuseanlæg.

Aftalerne byggede på DSB's sædvanlige aftalekompleks med en række standardbetingelser. Hele komplekset er listet i Bilag 3. Dvs. at genanvendelsesaktiviteterne indgik på helt sædvanlig måde i aftalegrundlaget.

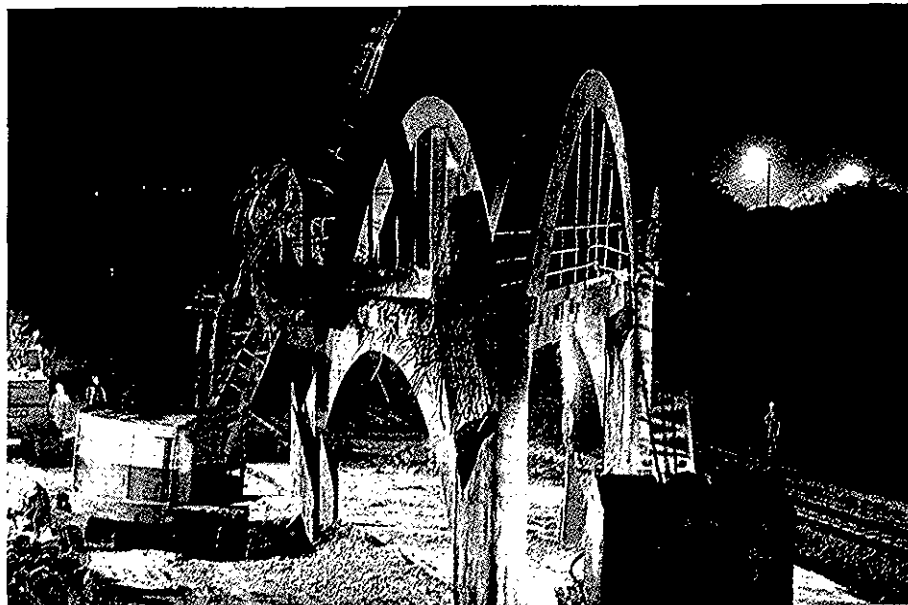
4.1.3

Metode og gennemførelse

Inden nedrivningen kunne igangsættes, skulle der fjernes en række sekundære elementer og fyld. Uden at det er indgået specielt i genanvendelsesalternativet, er rækværker, klinker og kantsten deponeret til senere genanvendelse.

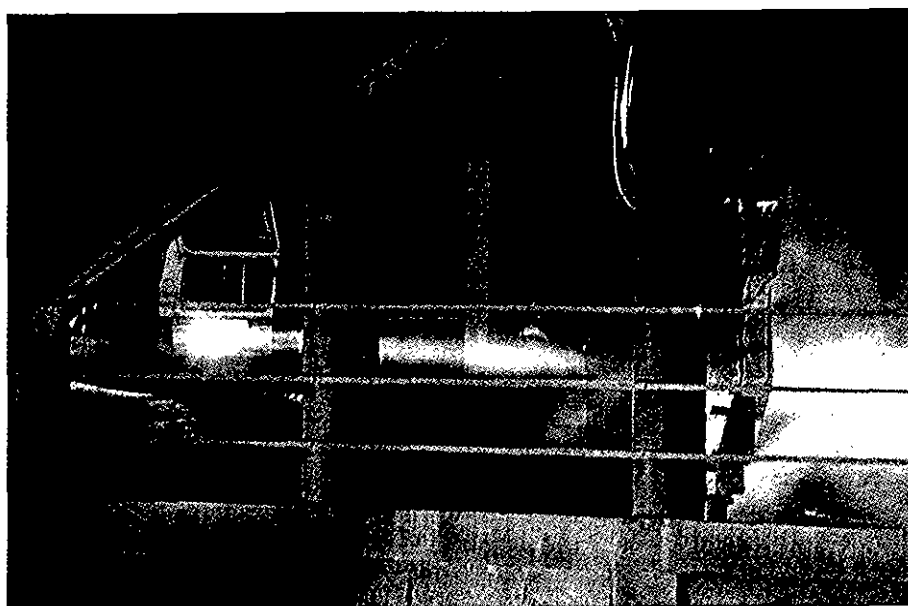
Begge broer blev revet ned med traditionelle maskiner - gravemaskiner påmonteret hydraulisk hamre og wiremaskiner med kugler. Det var maskiner, nedrivningsentreprenørerne havde og var vant til at bruge.

Forslag om at anvende "betonsakse" eller andre nyere udviklede metoder blev afvist med den begrundelse, at maskiner og udstyr med en kapacitet, som var nødvendig ved disse arbejder, ikke var tilgængelige i Danmark. De prissatte ekstraaktiviteter til rensning, neddeling osv. kunne ikke betale startomkostningerne ved at introducere nye metoder.



Figur 4.1
Nedrivning med wiremaskiner; bro 1

På forhånd forventede entreprenørerne i øvrigt ikke problemer med at opfylde betingelsernes krav i forbindelse med oparbejdning til genanvendelse.



Figur 4.2
Nedrivning med hydraulisk hammer på bro 1

Erfaringerne fra disse to arbejder viser dog, at selv ved så homogene konstruktioner, som der her er tale om, medfører den traditionelle metode med kuglenedrivning og efterfølgende maskinlæsning en opblanding af nedrivningsmaterialet - bl.a. en unødvendig opblanding med jord.



Figur 4.3
Gravemaskine rydder op, bro 2

Denne nedrivningsmetode medførte ved bro 2 desuden, at næsten alt nedrivningsmateriale blev blandet sammen med en tyk asfaltmembran, så store affaldsmængder måtte køres på losseplads; det skal dog ikke lægges metoden til last. Med bedre forundersøgelser og en tilpasset tidsplan kunne membranen have været fjernet, inden kuglemaskinen tog fat. Den meget stramme styring, som var bestemt af en presset totaltidsplan og sporspærringsintervaller udelukkede i dette tilfælde den mulighed. Her kunne de ekstra deponeringsomkostninger have betalt en omfattende forundersøgelse og fjernelse af membranen.

I øvrigt blev kendte asfaltmembraner på begge broer fjernet tilfredsstillende.

Fra affaldsbunkerne valgte begge entreprenører at maskinsortere betonbrokker til genanvendelse. Uanset størrelsen blev de transporteret til knusepladsen, hvor brokker, som var større end maksimalkravene, blev neddelt.

Ved bro 1 voldte det entreprenøren problemer at opfylde renheds- og størrelseskravene, hvilket forårsagede, at en unødvendig stor affaldsmængde uden projektledelsens viden blev kørt på fyldplads. Mængden på 862 t, som blev transporteret til knuseanlægget, udgjorde ca. 50 % af den potentielle mængde på ca. 1600 t.

Af affaldsbunken fra bro 2 udgjorde de genanvendte brokker også kun en begrænset del af den potentielle mængde på ca. 3600 t.

4.1.4

Økonomi - Nedrivning

Licitationsresultaterne viste, at det ikke betragtes som værende særligt omkostningskrævende at udføre den nødvendige rensning, sortering og neddeling, når arbejdet omfatter store homogene materialemasser som betonbroer.

De 3 billigste bydende på henholdsvis bro 1 og 2 tilbød aktiviteterne vedrørende selektiv nedrivning og neddeling udført for

Bro 1: kr. 28.000 - 42.000.

Antaget tilbud: kr. 42.000

Entreprisetilbud totalt: ca. 1,3 mio kr.

Bro 2: kr. 0 - 100.000

Antaget tilbud: kr. 0

Entreprisetilbud totalt: ca. 1,1 mio kr.

Tallene er angivet excl. moms

4.2 Knusning og sortering

4.2.1

Aftalebetingelser for knusning og sortering

Der var ikke etableret stationære anlæg til knusning af byggeaffald på Fyn, da projektet skulle gennemføres. I øens grusgrave stod anlæg, som knuste natursten til traditionelle grusmaterialer, men de var ikke umiddelbart egnede til at knuse byggeaffald. Ved enkelte større nedrivnings- og renoveringsopgaver har der i årenes løb været placeret mobile anlæg på byggepladserne.

Den mest nærliggende kontakt for dette projekt var at henvende sig til en vognmand, som havde indsendt godkendelsesansøgning for et anlæg til knusning af bygge- og anlægssaffald. Det viste sig, at godkendelsesansøgningen var stillet i bero, men i et samarbejde mellem vognmanden og ejeren af en grusgrav med stenknuseanlæg blev aftalt betingelser for knusning af projektets betonbrokker; de er angivet i bilag 4.

Aftalen blev indgået ud fra en forventning om, at der skulle tilføres ca. 4500 t brokker, og at det ville være muligt løbende at optimere processen, så fraktionsfordelingen i det knuste materiale var tilpasset den senere betonfremstilling.

Forventningen til tilførte mængder holdt - som tidligere omtalt - ikke, og aftalebetingelserne blev derfor kun retningsgivende for det videre forløb.

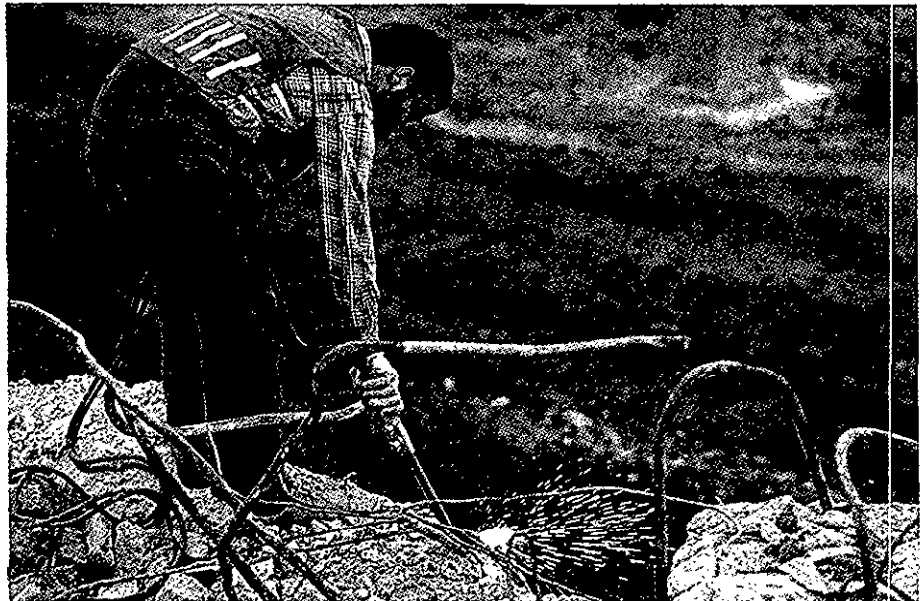
4.2.2

Gennemførelse af knusningen

Til betonfremstilling skal kun anvendes fraktionen 4-32 mm, som derfor bør være så stor som mulig, og kornene skal størrelsesmæssigt være jævnt fordelt over intervallet.

Entreprenøren foretog en prøveknusning i juni 1989. De neddelte betonbrokker blev forknust på en prøveopstillet kæbknuser; her blev fremstillet et ca. 0-100 mm materiale, hvor armeringen var fjernet; det forknuste materiale blev kørt igennem det forhåndenværende stenknu-seanlæg og nedknust til 0-16 mm materiale, som blev sorteret i 3 fraktioner - 0-5 mm, 5-8 mm og 8-16 mm.

Brokkerne fra bro 1 var krævet leveret med en maksimal længde på 3 m, og brokkernes indhold af lange kraftige armeringsstænger gjorde forknusningen meget besværlig. Desuden medførte noget indstøbt træ, som blev knust, en manuel sortering af det forknuste materiale med heraf følgende spild. Det indstøbte træ var normalt synligt i brokkerne, og en mere effektiv frasortering inden knusning (på nedrivningsstedet, eller ved fødnig af knuseren) kan gennemføres med et ganske begrænset ressourceforbrug; nedriverne skal blot etablere erfaring med og interesse for selektiv nedrivning.



Figur 4.4
Opdeling og rensning af betonbrokker

Den sekundære knuseproces, som resulterede i maksimale stenstørrelser på 16 mm, var så kraftig, at fraktionen 0-5 mm blev meget stor - over 50 %.

En materialeprøvning viste, at fraktionen 5-16 mm var velegnet som betontilslag, og den blev anvendt til de første prøvestøbninger.

Forløbet af prøveknusningen var ikke hensigtsmæssigt - heller ikke, hvis processen blev ændret til at producere 0-32 mm materiale ved den sekundære knusning. Problemerne lå primært i forknusning af de kraftigt armerede brokker; knuseentreprenøren stillede derfor krav om, at maksimalstørrelsen på brokker fra bro 2 var 0,6 x 0,6 x 0,9 m, hvilket blev indarbejdet i licitationsmaterialet for nedrivning.

På dette tidspunkt blev det også klart, at der ikke ville blive produceret så meget egnet materiale til knusning. Knuseentreprenøren, som primært var bundet af en økonomisk ramme og et krav om, at det nedknuste materiale skulle have en maksimalkornstørrelse på 32 mm, valgte at foretage knusningen på et mobilt hammermølleanlæg med én knuser og recirkulation af fraktionen over 32 mm. På den korte tid det tog at knuse den begrænsede mængde materiale, blev der ikke foretaget justeringer af knuseprocessen. Resultatet kunne konstateres ved efterkontrol.



Figur 4.5
Knusning af betonbrokker på et mobilt anlæg

4.2.3

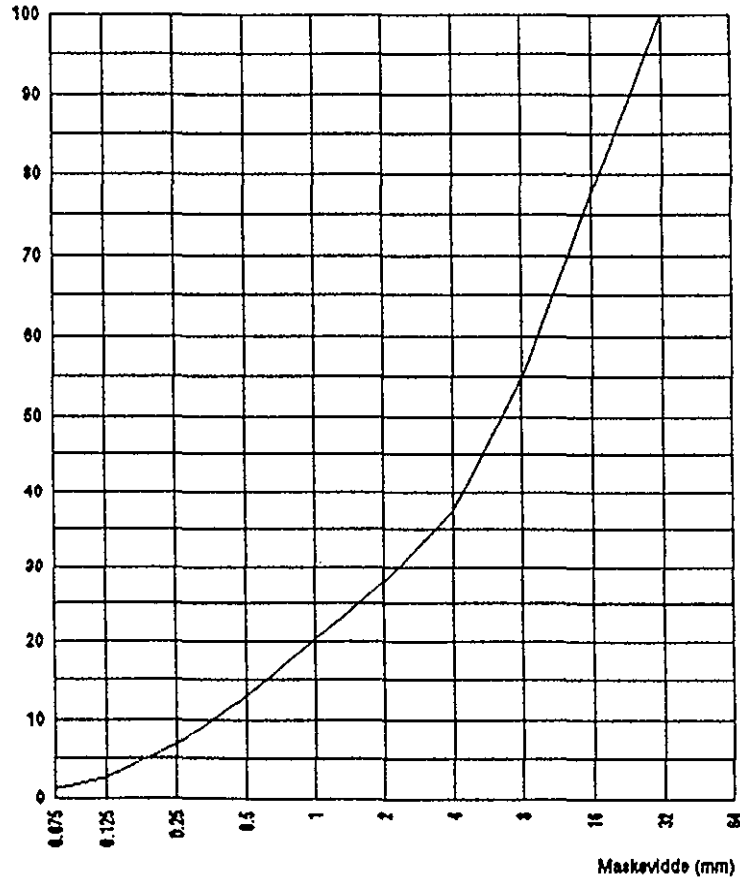
Materialer - Knusning

Knuseentreprenøren udtog en prøve af det knuste materiale, inden det blev sorteret. En sigteanalyse herfra er vist i figur 4.6.

DS 405.9 KORNSTØRRELSSEFORDELING:

SIGTE	0,075	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	TOTAL
% G.H.	1,2	2,4	6,4	13,1	29,3	37,6	37,6	54,8	77,7	100,0	100,0	100,0

Gennemfald (vægt %)



Figur 4.6
Nedknuste betonbrokker til genanvendelse.
Sigtekurve af materiale inden sortering.

Kornstørrelsesfordelingen er tilnærmelsesvis lig med den vejledende idealfordeling, som er angivet i Beton-Bogen, Aalborg Portland, 1985 (Litt. 2), men kun stenfraktionen - korn > 4 mm kan anvendes som betontilslag.

Ifølge den viste sigtekurve udgjorde den genanvendelige del ca. 60 % af materialet. I den samlede sortering udgjorde den genanvendelige del ca. 55 %. Denne andel bør i permanente anlæg kunne øges til 75-80 % ved at opbygge anlæggene med flere og/eller hensigtsmæssige knusere.

Som resultat af knusning og transport blev der indvejet 376 t betontilslag på betonblandestationen fordelt med 236 t 4-16 mm og 140 t 16-32 mm.

4.2.4

Økonomi - Knusning og sortering

Den aftalte pris for knusning, sortering og oplagring var 60 kr./t excl. moms. Oplagringen har i dette tilfælde næppe haft indflydelse på prisen.

Opstilling og andre engangsomkostninger (omstilling af sorteringsanlæg, organisation osv.) udgør ca. 25 % af omkostningerne, sortering ca. 3 % og knusningsprocessen knap 75 % svarende til 44 kr./t.

De rene knusnings- og sorteringsomkostninger må i et permanent anlæg kunne reduceres i forhold til de her aftalte. Til gengæld bør permanente anlæg have flere faciliteter og dermed være dyrere, hvilket økonomisk trækker i den modsatte retning.

Især må knusefunktion forbedres, så slutmaterialets fraktionsfordeling kan tilpasses efterspørgselsbehov, f.eks. optimal fremstilling af betontilslag. Men også materialetransport- og sorteringsystemerne skal forbedres og svare til de permanente stenknuseanlæg i grusgravene.

Antages at de højkvalitative materialer til for eksempel betontilslag kan afsættes til priser på 20 kr./t over gennemsnitsmaterialernes, og at et forbedret anlæg kan producere 20 % mere højkvalitativt materiale, vil anlæg med årsflow på 200.000 t/år indtjene 800.000 kr./år mere end simple anlæg; ved små anlæg med årsflow på 50.000 t/år er det tilsvarende tal 200.000 kr./år.

Dvs. at anlæg, hvor tilførslerne af bygge- og anlægsaffald er små (50.000 t/år), vil en investering i udstyr til at producere store andele af højkvalitativt materiale ikke være rentabel, mens investeringen i forbedret udstyr kan forventes godt ved anlæg med tilførsler på 150-200.000 t/år.

Hvis man ønsker at fremme produktionen af højkvalitative materialer som betontilslag, bør planlægningen sikre, at der etableres knuseanlæg med relativt store tilførsler.

4.3 Betonleverancen

4.3.1

Aftalebetingelser for betonleverancen

Betingelserne for betonleverancen skulle først og fremmest sikre, at en erfaren betonfabrikant påtog sig ansvaret for at levere en færdigblandet beton med genanvendelsestilslag, som opfyldte alle norm- og branchebestemte kvalitetskrav.

Der skulle gennemføres kontrol af det leverede nedknuste materiale, udføres forblandinger og forprøvninger samt tilrettelægges, gennemføres og leveres betonblandinger svarende til en bygherrebestemt tidsplan. Alle kvalitetskrav i Betonnormen, BBB og DBF's anvisning skulle være opfyldt. Aftalebetingelserne indgår som bilag 5.

Forberedelser til betonleverancen skulle startes op inden de endelige krav - f.eks. DBF's anvisning - var på plads. Derfor blev planlægningen og aftalen opstillet i dialog med en af Fyns betonfabrikanter, som tidligt havde vist positiv interesse for projektet, og som havde tilfredsstillende laboratoriefaciliteter til rådighed på Fyn.

Aftalen indeholdt desuden krav om, at der foretages nogle prøvninger af betonen, som ikke er nødvendige i normale projekter, men som gennemføres, fordi dette er et pilotprojekt. Prøveprogrammet omtales udførligt i afsnit 4.3.3.

Da mængden af tilført egnet materiale blev mindre end ventet, omfatter projektet kun betonkvalitet $f_{ck} = 20 \text{ MN/m}^2$.

4.3.2

Blandeanlæg

Prøveblandinger og betonleverancer blev alle produceret på et nyrenoveret anlæg med automatisk styring, og som sideløbende leverede en traditionel betonproduktion. Anlæggets kapacitet var $50 \text{ m}^3/\text{h}$.

Styresystemet tilførte komponenterne i h.t. standardrecepter eller individuelle recepter fra højtplacerede cement-/flyveaske- og 8 tilslagssiloer til en 3 m^3 fritfaldsblander, hvor batch'ens fugtindhold løbende blev målt, så v/c-tal/vandindhold kunne korrigeres.



Figur 4.7.
Blandestation

Dette er en væsentlig facilitet, når der skal blandes beton med genanvendelsestilslag. Med dette materiales store og varierende absorptionskoefficient kræves en tæt kontrol og løbende justering af vandindholdet.

Under projektforløbet opfyldte alle leverancer - undtagen en - bestilte konsistensegenskaber, selvom der ikke blev foretaget ekstraordinære foranstaltning for at opretholde en vandmættet overfladetør tilstand (VOT) i det oplagrede genanvendelsestilslag.

Ved opstart en mandag morgen, hvor genanvendelsestilslaget var lagret i siloen en weekend over, fungerede fugtkontrollen ikke tilfredsstillende, og resultatet var en leverance af alt for tør beton. Selv med helt moderne udstyr er det nødvendigt at være meget opmærksom ved blanding af genanvendelsestilslag.

4.3.3

Recepter og prøveprogram

Betonleverandøren gennemførte først en prøvning af det tilførte tilslagsmateriale; den viste, at materialet opfyldte kravene til materialeklasse GP1 i DBF's anvisning, samt at der ikke var målelige mængder af clorid. Absorptionskoefficienten blev målt til ca. 4 % for store korn (fraktion 16-32 mm) og 4,5 % for mindre korn (4-16 mm).

Herudfra startede leverandørens forprøvning af genanvendelsesbeton med en karakteristisk trykstyrke på 20 MN/m². Vejledet af DBF-anvisningens afsnit 4.2, opstilledes en recept med

større cementindhold end recepter for beton 20 med traditionelt tilslag. Også de strengere statistiske regler for fastlæggelse af karakteristisk trykstyrke for uprøvede betontyper medførte en forventning om, at cementindholdet skulle øges.

Da leverandøren i h.t. aftalen havde ansvaret for, at trykstyrken var overholdt, blev cementindholdet bestemt rigeligt sikkert. Der var i den første prøveblanding tilsat ca. 30 % mere cement end i en standardrecept underlagt løbende kontrol.

Allerede 7-døgns trykstyrkerne for denne blanding viste, at det var unødvendigt at forøge cementindholdet så meget. Gennem et par reduktionsskridt endte det med, at recepten for genanvendelsesbeton svarede til recepten for en standardbeton i passiv miljøklasse, se figur 4.8. I alle recepter er anvendt Portland Rapid Cement, og der er tilsat flyveaske i en mængde svarende til ca. 80 kg/m³ færdig beton. Recepten svarer til 1 m³ beton.

Referenceblandingen har et - for normalbetoner - meget højt kontroltal. Betonleverandøren tilskriver det indkøring af nye statistiske metoder i det renoverede blandedanlæg. Normalt vil kontroltal og cementindhold være lavere i standardblandinger.

Recept		Referencebeton: Standardbeton i passiv miljøkl. 20 MN/m ²	Genanvendelses- beton 20 MN/m ²
Cement	kg/m ³	200	198
Flyveaske	kg/m ³	80	77
Sand 0-4 mm	kg/m ³	787	680
Sten 4-16 mm	kg/m ³	550	555
Sten 16-32 mm	kg/m ³	500	525
Vand	kg/m ³	145	151
v/c-tal		0,60	0,64
Luftindhold	%	4	4
Sætmål	mm	100	100
Trykstyrke:			
- gnm.v. 7 dg.	MN/m ²		21,2
- gnm.v. 28 dg.	MN/m ²	ca.26	31,2 ¹⁾
- sprdn. 28 dg.	MN/m ²		2,4 ¹⁾
Kontroltal	MN/m ²	23,9	21,0

Styrkeangivelser stammer fra produktionskontrol
1) Stikprøvestørrelse: 20 stk.

Figur 4.8

Blandingsrecepter med tilhørende trykstyrker for beton i passiv miljøklasse; karakteristisk trykstyrke: 20 MN/m².

Sammenligningen viser, at beton med genanvendelsestilslag af den her benyttede kvalitet har styrker og kontroltal, som svarer til referencblandingen. Dvs. at genanvendelsestilslag af ren beton kan indgå på lige fod med naturlige tilslag i beton til passiv miljøklasse, når blandingen styres ud fra den noget højere absorptionskoefficient for genanvendelsesmaterialer.

I aftalen er der fastlagt et prøveprogram, som omfatter:

Materiale- prøvning:	Cloridindhold	(N)
	Lette korn	(N)
	Absorptionskoefficient	(N)
Betonfor- prøvning:	Trykstyrke	(N)
	v/c-tal	
	Konsistens (sætmål)	
	Luftindhold	
	Varmeudvikling	
Kontrol- prøvning:	Betonrecept incl. fugtindhold, v/c-tal, luftindhold og konsistens.	
	Trykstyrker; 10 pr. 100 m ³	(N)

(N) angiver, at kontrollen udføres i h.t. normkrav. De fleste af kontrollerne indgår som rutine i den computerstyrede blanding af beton.

Desuden er der på en prøvestøbning og på 4 udborede kerner af den pladsstøbte beton udført struktur- og luftporeanalyser.

Af særlig interesse er
Absorptionskoefficienten
Lette korn
Cloridindholdet
Trykstyrken
Varmeudviklingen
Struktur- og luftporeanalysen

De øvrige parametre svarede til eller blev styret til at svare til beton med traditionelt tilslag. Ud af en omfangsrig prøvedokumentation er trukket følgende karakteristiske egenskaber.

Absorptionskoefficienten er målt på 4 materia-lefraktion, som angivet i figur 4.9.

Fraktion mm	Absorptionskoefficient %
5-8 (fra forknusning)	4,5
8-16 (fra forknusning)	3,7
4-16	6,1
16-32	5,1

Prøvningsmetode i h.t. DS 405.2

Figur 4.9

Absorptionskoefficienter for nedknust betontilslag.

Resultatet af kontrol for lette korn er vist i figur 4.10.

Fraktion mm	Densitet; kg/m ³			
	> 2200	2200-1800	1800-1600	<1600
5-8	92	8	0,06	0
8-16	97,4	2,6	0	0
4-16	92,6	7,4	0	0
16-32	99,0	1,0	0	0

Prøvningsmetode i h.t. DS 405.4

Figur 4.10

Kontrol for lette korn i nedknust betontilslag.

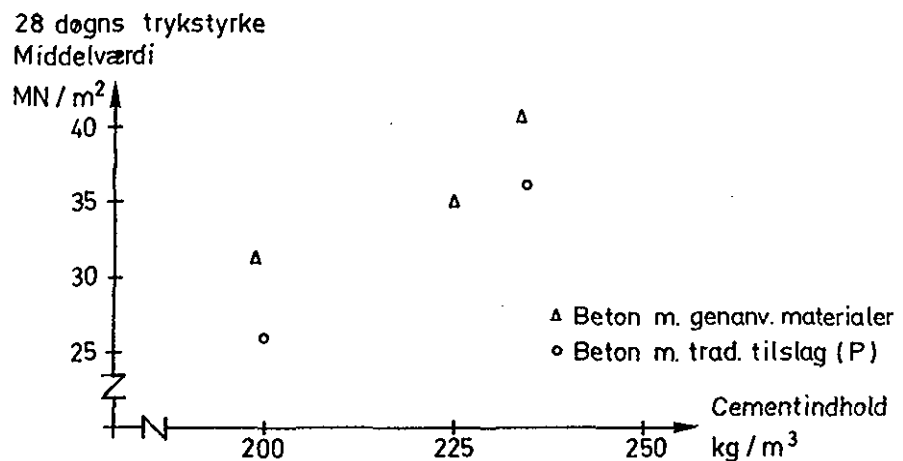
Der er foretaget 5 målinger af cloridindhold, 3 på materiale fra bro 1 og 2 fra bro 2, ingen af de 5 kontroller viste måleligt indhold af clorid i det knuste materiale. Prøvningen er udført i h.t. DS 423.19.

Trykstyrken af den anvendte beton er angivet i figur 4.8. Under forprøvningen er trykstyrken bestemt for varierende indhold af cement; resultatet er vist i figur 4.11.

Sammenhængen er som forventet og indikerer, at genanvendestilslag i klasse GP1 ikke i sig selv sætter en grænse for trykstyrken inden for gyldighedsområdet op til 40 MN/m².

Der er udført en adiabatisk måling af varmeudviklingen i 2 af forprøvningens blandinger med tilhørende referenceblandinger. Resultat for en blanding med ca. 230 kg cement pr. m³ er vist i figur 4.12.

Varmeudviklingen i beton med genanvendelsesmaterialer har samme principielle forløb som - men er større end - i referenceblandingen med traditionelle tilslag; især i starten er varmeudviklingen væsentlig større. Denne forskel er ikke undersøgt nærmere; en forklaring kunne være, at der i nedrivningsmaterialet findes ind-



Prøvningsmetoden i h.t. Betonnormen

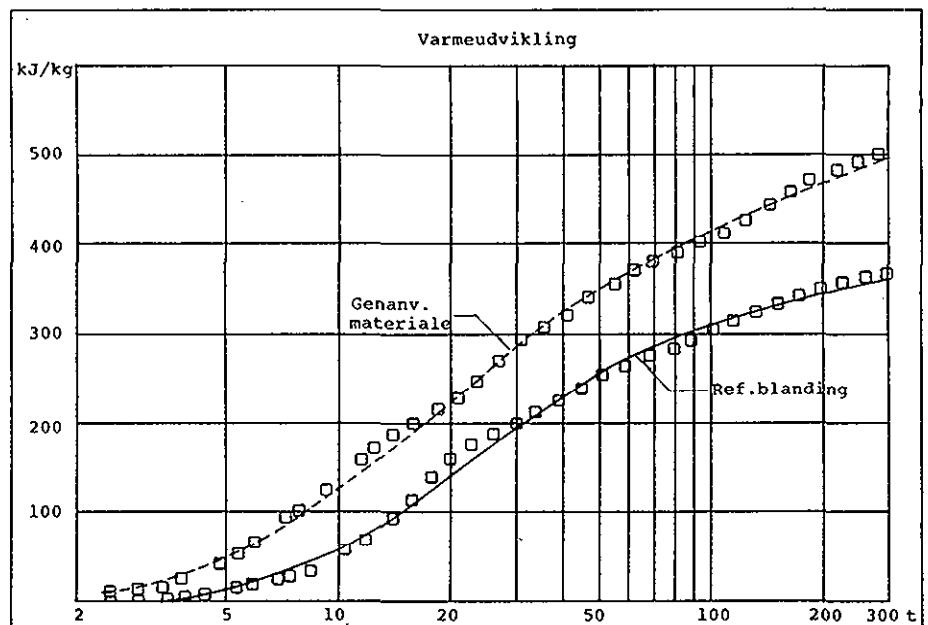
Figur 4.11

28 døgns trykstyrkens variation med cementindhold i beton med genanvendelsesmaterialer og tilsvarende referenceblandinger med traditionelt tilslag.

kapslede uhydratiserede cementpartikler, som eksponeres ved knusningen og herved bliver aktive igen. Hvis denne forklaring er rigtig, vil beton med nedknuste betonmaterialer indeholde mere aktivt cement, end recepten angiver. Det kunne også være en forklaring på, at det tidligere nævnte forventede behov for ekstra cement i beton med genanvendelsesmaterialer ikke har vist sig i dette projekt.

Struktur- og luftporeanalyser er udført på en forprøveblanding med 238 kg cement pr. m³, samt på 4 kerner boret ud af de færdige udstøbninger på byggepladsen. Der er ikke krav til resultatet af disse analyser på beton i passiv miljøklasse. Den væsentligste information kan først hentes, når der om ca. 5 år bores nye kerner ud i den samme beton, og egenskaberne herefter sammenlignes.

På nuværende tidspunkt foretages en sammenligning med kravene til beton i moderat miljøklasse, som er angivet i BBB jfr. figur 4.13. Luftporeanalysens resultater opfylder ikke helt BBB's krav til beton i moderat miljøklasse; specielt kan den kontrollerede beton med det lave kitmasseluftindhold ikke forventes at være frostsikker. Det er dog heller ikke nødvendigt og er ikke tilstræbt for beton i passiv miljøklasse.



Materialer	Type	Densitet kg/m ³	Ref. blanding		Genanv. matr.	
			Vægt kg/m ³	Rumfang m ³ /m ³	Vægt kg/m ³	Rumfang m ³ /m ³
Vand	Taphane	1000,0	104,3	0,104	102,2	0,102
Cement	PC(R/IS/MA/G)	3100,0	233,4	0,076	227,2	0,073
Min. tilsætning	Flyveaske	2200,0	86,1	0,039	85,7	0,039
Tilslag	Sand 3 kl.A	2575,0	242,0	0,094	238,5	0,093
	Sand 0-4 kl.P	2215,0	484,1	0,219	464,7	0,210
	Sten 4-8 kl.M	2570,0	215,1	0,084		
	Sten 8-16 kl.M	2575,0	376,5	0,146		
	Sten 16-32 kl.M	2590,0	537,9	0,208		
	4-16 Genanvm. P	2449,0			576,2	0,235
Luft	16-32 Genanvm. P	2477,0			542,2	0,219
				0,030		0,028
Kem.tilsætn.stof	Conplast 212	1170,0	1,2	0,001	1,0	0,001
	Conplast 316	1010,0	0,1	0,000	0,0	0,000
Beton	v/c-tal luftindhold			0,66 3,0 %		0,6 2,8 %
Lineær model	Q ₀ T ₀			130,7 kJ/kg 6,65 t		138,5 kJ/kg 3,94 t
Exp. model	Quen Te Alfa			394,6 kJ/kg 20,19 t 0,90		588,8 kJ/kg 18,85 t 0,64

Figur 4.12
Varmeudvikling i beton med hhv. traditionelt og genanvendelsestilslag.

	Strukturanalyse		Luftporeanalyse	
	Gene- relt	Karbon. dybde	Kitmasse luft	Specif. overfl.
Krav	BBB skema 6	-	> 10%	>25mm ⁻¹
Prøve:				
Forprøve	opfyldt	0 mm	12	26
Bellinge 1	opfyldt	0,6 mm	7	37
Bellinge 2	opfyldt	0,4 mm	17	21
Vesterport 1	opfyldt	0,7 mm	5	24
Vesterport 2	opfyldt	0,6 mm	16	11

Prøvningsmetode for strukturanalyser i henhold til TI-B 5(87) og for luftporeanalyse i henhold til TI-B 4.

Figur 4.13
Struktur- og luftporeanalyse på en forprøvebeton samt 4 udborede kerner af pladsstøbt beton med genanvendelsestilslag.

Den viste dybe karbonatisering er ikke gunstig, men er ikke overraskende i beton med det relativt høje v/c-tal på 0,64 udstøbt i byatmosfære. Karbonatiseringens indtrængen er ikke specielt knyttet til anvendelse af nedknust beton, men det er en af de faktorer, som skal registreres i forbindelse med efterkontrollen om ca. 5 år, og generelt ved iagttagelse af langtidsholdbarheden af beton med genanvendelsesmaterialer.

4.3.4

Økonomi

Betonleverancen incl. intern transport, blanding, ekstern transport er ikke forskellig fra de tilsvarende aktiviteter ved leverancer af beton med traditionelle tilslag. Blandemesteren skal hele tiden være meget opmærksom på genanvendelsestilslaget aktuelle fugtindhold; han kan på intet tidspunkt stole på tidligere målinger. Dette bør dog ikke have økonomiske konsekvenser.

Traditionelle tilslag leveres i dag med et certifikat fra grusgraven på, at de opfylder stillede krav til f.eks. tilslag i beton til passiv miljøklasse. På nuværende tidspunkt ligger der en ekstraomkostning i materialekontrol af genanvendelsesmateriale. Enhedsprisen for denne kontrol er meget afhængig af det omfang, produktion af genanvendelsestilslag får, og af hvilket omfang nedknusning af bygge- og anlægsaffald i det hele taget får. På store knuseanlæg er det muligt at gennemføre en kontrol og certificering af materialerne til priser, som svarer til grusgravens kontrol af naturlige grusmaterialer.

I h.t. DBF's anvisning skal der gennemføres forprøvning for hver leveret type beton med genanvendelsesmaterialer. Den her beskrevne meget omfattende forprøve har kostet kr. 15.000, hvilket dog næppe har dækket leverandørens indsats. Forprøvning på tilslagsmaterialer af rent nedknust beton kan på grundlag af de her refererede erfaringer reduceres ved fremtidig anvendelse. Koncentreres genanvendelsesaktiviteterne på få store knuseanlæg og på nogle få betonværker, bliver der kun meget små ekstraomkostninger til materiale- og forprøvning.

Ved nogle genanvendelsestilslag skal der som tidligere omtalt tilsættes ekstra cement i forhold til tilsvarende betonkvaliteter med traditionelle tilslag. Når genanvendelsestilslaget er rent beton, kræves der ikke ekstra cement, og når genanvendelse bliver organiseret i større målestok, bør der kun forekomme ekstraudgifter til forøget cementtilsætning ved tilslag

med en større andel af lette korn. Disse ekstraudgifter må bestemmes i opfølgende projekter.

I dette projekt, hvor der er fremstillet ca. 350 m³ beton, har ekstraomkostningerne til forprøvning samt materialeprøvning og håndtering udgjort ca. 21.000 kr. svarende til ca. 60 kr./m³. Hovedparten af omkostningerne er engangsudgifter (f.eks. forprøvning) og beregnes de tilsvarende udgifter for en betonproduktion af 3000 t tilslag = ca. 2800 m³ beton som oprindeligt planlagt, fås et beløb på ca. 42.000 kr., svarende til 14. kr./t. Dette beløb er anvendt i figur 2.3.

4.4 Udstøbning

4.4.1

Generelt

Dette afsnit kunne egentlig skrives meget kort, idet hovedkonklusionen er, at ny beton blandet af materialer, hvor rent nedknust betonaffald udgør hele stenfraktionen med kornstørrelser over 4 mm, opfører sig fuldstændigt som beton blandet af traditionelle materialer.

I det følgende beskrives dog de forhold, som har givet grundlag for denne konklusion.

4.4.2

Byggerier, hvor der er udstøbt genanvendelsesbeton

De producerede ca. 350 m³ beton er leveret til 2 byggepladser.

- 1) Et offentligt støttet boligbyggeri bestående af 14 blokke med i alt 40 lejligheder + 1 fælleshus; byggeriet ligger i Bellinge i udkanten af Odense. Her er anvendt ca. 150 m³ til gulvplader på jord; gulvfelterne er delvis armeret med netarmering.
- 2) En 2-etages parkeringskælder under et fremtidigt 3-etages kontorbyggeri, Vesterport, i Odense centrum. Her er anvendt ca. 200 m³ til armerede fundamenter - både stribefundamenter for vægge og punktfundamenter for søjler.

Beton blev produceret i marts måned i 1990 i h.t. entreprenørernes tidsplan med en største dagsleverance på ca. 50 m³.

Aftalebetingelser

Bygherren for boligbyggeriet - et boligselskab - var meget opmærksom på det ansvar, der var knyttet til at acceptere anvendelse af materialer fra et pilotprojekt. Med relation til Byggestyrelsens Kvalitetssikringscirkulære 1986 (Litt. 4), som offentligt byggeri skal opfylde, og Byggestyrelsens Bygherrevejledning, 1983 (Litt. 5) er der udarbejdet et notat til definition og dokumentation af forsøgets omfang; det er vedlagt som bilag 6. Byggeudvalget besluttede, at betonen måtte anvendes til gulvplader; oprindeligt var det planlagt, at der også skulle støbes fundamenter af beton med genanvendelsesmaterialer.

Udførelsen blev aftalt med byggeriernes to entreprenører ved at udbudsmaterialerne som hovedtilbud indeholdt specifikationer for en traditionel udførelse.

Som alternativ forbeholdt bygherrerne sig ret til at erstatte dele af den normale betonleverance - som var entreprenørens ansvar - med bygherreleverancer af genanvendelsesbeton, som entreprenørerne betalte med en i tilbudet anført pris svarende til prisen på traditionel beton. I det alternative tilbud skulle entreprenørerne desuden anføre ekstrakrav ved arbejdet med genanvendelsesbeton.

Ingen af de 2 antagne tilbud indeholdt sådanne ekstrakrav - hverken økonomiske eller tekniske.

Udførelse og prøvning

Inden leverancer af genanvendelsesbeton startede, blev de tilsynsførende orienteret om materialerne og forsøgets formål. Desuden blev DBF's anvisning og ekstra tilsynsaktiviteter gennemgået.

På det grundlag orienterede de tilsynsførende byggepladsens personale om genanvendelsesbeton.

De første støbninger blev fulgt meget tæt af tilsynet. Den i afsnit 4.3.2 omtalte "tørre beton" blev leveret som første læs til parkeringskælderen og gav anledning til nogen skepsis over for materialet blandt dem, som udførte støbningen. Denne skepsis fortog sig siden, efterhånden som det viste sig, at der ikke var forskel på at arbejde med normal beton og genanvendelsesbeton.



Figur 4.14
Udstøbning af gulvpladerne i Bellinge

I boligbyggeriet har der siden vist sig temmeligt store svindrevner i gulvplader udstøbt d. 20.3.90. Sådanne revner er ikke unormale og heller ikke kritiske i dette byggeri. Kontrol-dokumentation og udførelsesregistrering tyder ikke på, at betonmaterialet eller udførelsen har været speciel, så denne lokale revneudvikling giver anledning til undren.

I hvert af byggerierne er det 2-4 uger efter udstøbningen boret 2 betonkerner ud på registrerede placeringer; bl.a. er der taget en kerne i den revnede beton. Struktur- og luft-poreanalysen angiver heller ikke, at specielle forhold er til stede i denne beton.



Figur 4.15
Støbning af armerede randfundamenter ved Vesterport.

Økonomi

Anvendelsen af ny beton med stentilslag af rene nedknuste betonkonstruktioner giver ike anledning til ekstraomkostninger. Proportionerer betonleverandøren betonen, så v/c-tal, konsistens og kornkurve, svarer til behovet ved den aktuelle udstøbning, vil støbepersonalet næppe opdage om tilslaget er traditionelt eller nedknust beton. I pilotprojektet er gennemført mere omfattende tilsyn og opfølgning fra projektlederens side, end det er normalt ved tilsvarende projekter. Det skulle dog ikke være nødvendigt i fremtiden.

5. Opfølgning

Formålet med dette projekt var kort sagt at få praktiske erfaringer - tekniske og økonomiske - med genanvendelse af nedknust byggeaffald i ny beton.

De tekniske erfaringer skulle gerne være så positive, at bygherrer, entreprenører, færdigbetonleverandører og rådgivere trygt ville anvende det hidtil ukendte materiale. Derfor har der været lagt vægt på dels, at ansvarsforholdene passede ind i den normale procedure i byggebranchen, dels at det anvendte materiale var af så god kvalitet, at de anvendelsesmæssige erfaringer blev gode.

Dette formål er til fulde opfyldt og med indførelse af en affaldsafgift på 130 kr./t ved deponering, er det oftest også økonomisk fordelagtigt at genanvende bygge- og anlægsaffald. Men hermed er det ikke sikret, at genanvendelsen sker på højkvalitative områder f.eks. som tilslag i beton. Dette kræver, at planlægningen af affaldshåndteringssystemet sikrer en størrelse på de fremtidige behandlingsanlæg, som gør produktion af højkvalitative materialer rentable, jfr. afsnit 4.2.

Fastlæggelsen af denne rentable størrelse fremmes, hvis man bestemte sammenhængen mellem anlægsomkostninger for varierende anlægstyper og den andel af højkvalitative materialer, de kan producere.

Desuden bør knuse- og færdigbetonbrancherne i fællesskab fastlægge en hensigtsmæssig certificering af nedknuste materialer svarende til den, der i dag sker af naturlige grusmaterialer.

Endelig er det meget vigtigt, at de materialer, som skal knuses ned, kun indeholder beton, tegl eller murværk. På grundlag af erfaringerne fra dette og andre danske projekter samt ved sammenligning med udenlandske genanvendelsessystemer er der ikke tvivl om, at adskillelsen skal ske ved nedrivningen (renoveringen/opførelsen).

Hvor der i USA er økonomiske fordele ved at introducere genanvendelse, gennemføres separationen på byggepladsen med langt større omhu, end det normalt ses på danske byggepladser. Danske entreprenører skal lære det samme, ligesom bygherrer og rådgivere skal planlægge (bl.a. tidsplanlægge) projekterne, så en omhyggelig selektiv nedrivning er mulig.

Som direkte opfølgning af det hidtidige arbejde

gennemføres om nogle år en struktur- og pore-analyse af den samme beton, som er undersøgt på nuværende tidspunkt. Herved fås en række værdifulde oplysninger om langtidsudviklingen af genanvendelsesbeton.

Desuden bør der hurtigt gennemføres et fuldskala projekt, hvor nedknust tegl og murværk udgør en væsentlig andel af tilslagsmaterialet i beton - svarende til materialeklasse GP2. Også afprøvning af anvendelse i elementfremstilling bør snarest gennemføres i et fuldskala projekt.

Endelig bør man undersøge muligheden for at lempe det strenge danske krav om, at kun genanvendelsesmaterialer med kornstørrelser over 4 mm blandes i beton. Udenlandske erfaringer tyder på, at dette krav kan lempes; og dermed øges mængderne af de genanvendelige materialer.

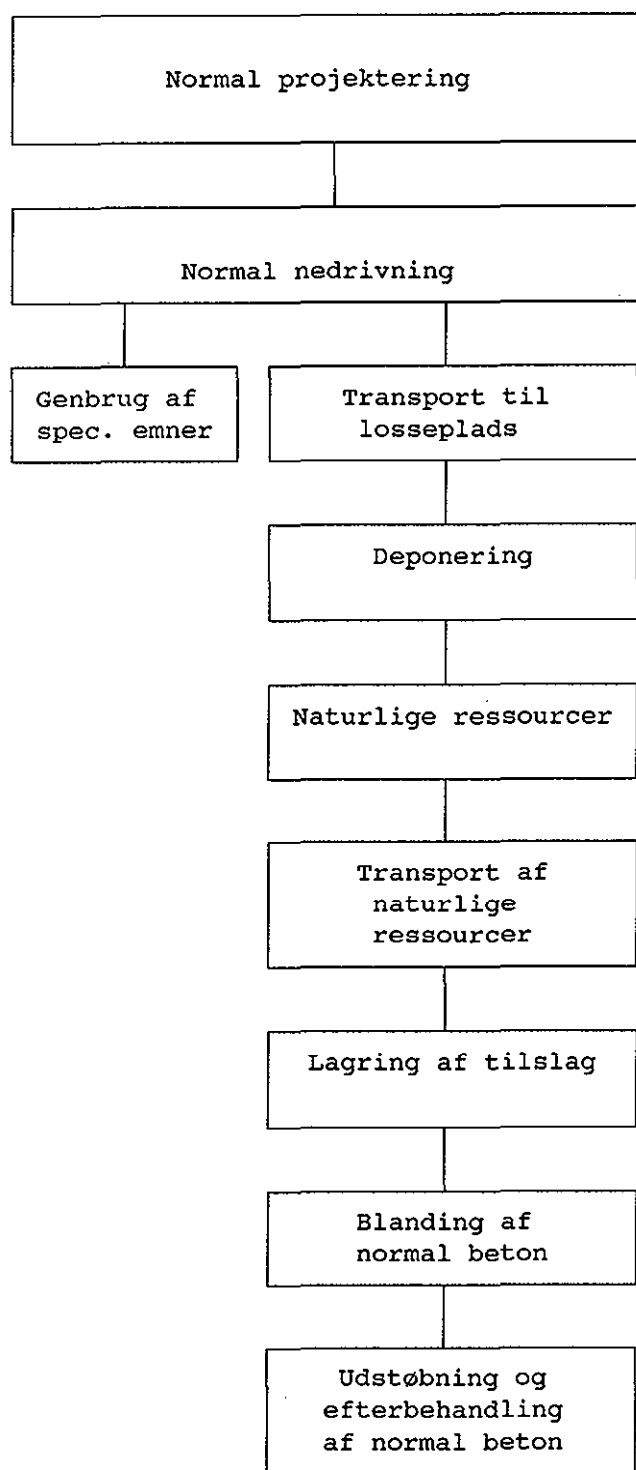
6. Litteraturliste

<u>Henv. nr.</u>	<u>Titel Forfatter/Udgiver</u>	<u>År</u>
1	Norm for betonkonstruktioner, DS411, Dansk Ingeniørforening	1984
2	Beton-Bogen Aalborg Portland	1985
3	Basisbetonbeskrivelsen for bygningkonstruktioner Byggestyrelsen	1986
4	Cirkulære og vejledning om kvalitetssikring af byggearbejder Byggestyrelsen	1986
5	Bygherrevejledning Byggestyrelsen	1983

NEDBRYDNING/GENANVENDELSE AF ANLÆGSBYGVÆRKER

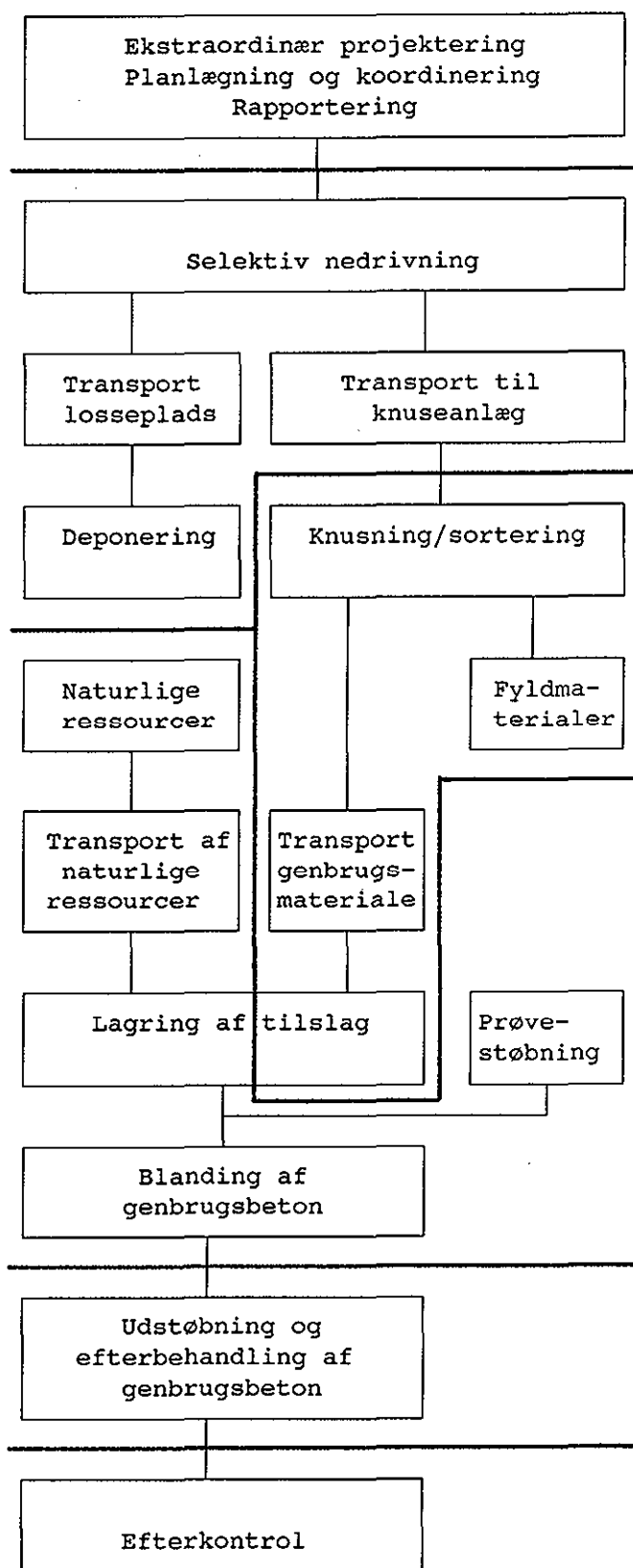
ALTERNATIV 1

(smid væk/nye råstoffer)



ALTERNATIV 2

(genbrug)



BETONKVALITETER I DE NEDREVNE BYGVÆRKER

Ved projekteringens start fandtes følgende oplysninger om den beton, som skulle genanvendes:

Vedr. bro 1

I 1981 blev udtaget borekerner for at skaffe oplysninger vedrørende betonens tilstand. Prøverne blev alle udtaget i buerne. På grundlag af disse udarbejdede Teknologisk Institut en rapport. Det hedder heri i sammenfatningen:

En del af borekernerne er meget kraftigt revnede, andre er uden revner. Cylindertrykstyrken af beton uden synlige revner er 30-40 MN/m².

Betonen er meget porøs, indeholder ekstremt mange mikrorevner og har et højt vandcementtal, antagelig over 0,60. Der ses stadig rester af cementkorn i betonen.

Stenene er overvejende granit med et højt indhold af flint, mest mørk flint, men også noget lys flint. Stenene er runde, uknuste bakkesten med kun få porøse sten.

Sandet består af kvarts, feldspat, flint og kalk. Der er kun meget få tegn på alkalikiselreaktioner.

Betonen er velkomprimeret og stort set uden indkapslet luft.

Vedr. bro 2

Betonskader

1913-broen På understøtninger og underside brobuer er der observeret mange betonskader. Især ses mange større afstødninger af dæklag over armeringsjernene. I disse områder ses jernene at have reduceret tværsnit som følge af rusttæring. Langs fugen mod 1940-udvidelsen er betonen afstødt over kantarmeringen i hele buernes forløb. I kantarmeringen ses gruberust og flere steder udtalt laminering. Over alt ses springere.

1940-udvidelsen På østlige facadevæg ved sydlige fundament er betonkanten i sydligste gennemkørselsfag afstødt som følge af rusttæring i underliggende armering. Der ses rustpletter fra bindetråd på væggen.

1968-udvidelsen Der ses mindre stenreder på enkelte af søjlerne. Endvidere ses et par større betonskader og enkelte springere. På det spidse S-V hjørne på nordligste søjle i østsiden ses en kraftig påkørselsskade.

Betonkvalitet

1913-broen Teknologisk Institut anfører i en rapport fra 1986 om undersøgelsen af borekerner: "Der ses ingen med det blotte øje synlige revner i nogen af kernerne".

Strukturanalyse viser "ingen grove revner (revnevidde over 1 mm) i tyndslibene. I tyndslibene fra kerne 3 ses enkelte fine revner (revnevidde mellem 0,1 og 1 mm) i form af pastarevner. Mængden af mikrorevner (revnevidde under 0,01 mm) er lav."

Undersøgelsen viser ligeledes enkelte svage alkalikiselreaktioner, men "ingen skadelige af betydning".

Der ses ingen tegn på vandbelastning af betonen.

Ved undersøgelsen blev betonstyrken optisk bestemt til ca. 40-45 MN/m², hvilket er højere end forventet ud fra det opgivne blandingsforhold.

1940-udvidelsen Teknologisk Institut anfører i sin rapport: "Der ses ingen med det blotte øje synlige revner i kernen". Strukturanalysen viser "enkelte fine revner, men ingen grove revner i tyndslibet. Mængden af mikrorevner er høj". Ligeledes her anfører undersøgelsen, at vandbelastningen er lav, og at der ingen tegn er på alkalikiselreaktioner.

1968-udvidelsen Betonen er et næsten identisk billede af 1940-betonen; dog ses enkelte svage alkalikiselreaktioner, men ingen skadelige.

AFTALEGRUNDLAG FOR NEDRIVNINGSENTREPRISERNE.

- a. Tilbudslister (TBL).
- b. Særlige Betingelser (SB), som indeholder og kommenterer:
 - Almindelige Betingelser for arbejder og leverancer i bygge- og anlægsvirksomhed - AB 72 samt ABT (Tillæg til almindelige betingelser for arbejder og leverancer i bygge- og anlægsvirksomhed).
 - DSB-baneafdelingen, januar 1978.
 - Særlig arbejdsbeskrivelse (SAB).
 - Tilbuds- og afregningsgrundlag (TAG).
- c. Projekttegninger.
- d. Almindelige arbejdsbetingelser (ABB):
 - d.1 - AAB - Udbuds- og anlægfsforskrifter. Betonbroer, DSB, januar 1986.
 - d.2 - AAB - Udbuds- og anlægfsforskrifter. Jordarbejde, DSB, januar 1986.
- e. Vilkår for opgravning i vejarealer, der administreres af Odense Kommune, okt. 1982.
- f. Dansk Ingeniørforenings normer, forskrifter, vejledninger, anvisninger og betingelser - alt som nævnt i AAB og SAB - med senest anførte ændringer, rettelser og fortolkninger, jævnfør "Normtillæg" fra Dansk Ingeniørforening.
- g. Tillæg til AB 72, DSB - Baneafdelingen, januar 1978 (ABT).
- h. Almindelige betingelser for arbejder og leverancer i bygge- og anlægsvirksomhed", udfærdiget af ministeriet for offentlige arbejder, 29. november 1972 (AB 72).
- i. Dansk Standards (DS).
- k. Udenlandske normer og standarder i det omfang, der i AAB og SAB er henvist til disse.
- l. Vejregler for afmærkning af vejarbejder, Vejdirektoratet, januar 1987.



Nedbrydning af anlægsbygværker med efterfølgende genanvendelse af det nedknuste materiale som betontilslag

Aftale vedr. knusning og sortering af betonbrokker

1. ORIENTERING

I forbindelse med, at DSB nedriver 2 betonbroer i Odense, gennemfører DSB og Miljøstyrelsen et pilotprojekt for at afprøve genanvendelse af knuste nedbrydningsmaterialer i ny beton.

Aktivitetslisten for pilotprojektet er angivet i bilag 1 som alternativ 2.

Aktiviteterne samles i følgende hovedgrupper:

Planlægning og projektering -
Axel Nielsen a/s/Gimsing & Madsen A/S

Nedrivningsentreprisen - Jord & Beton a/s

Knusnings- og sorteringsentreprisen -
Alf Gregersen A/S/Tarup sten og grus A/S

Betonproportionering og -blanding -

Udstøbning/råhusentrepriser -

Efterkontrol og rapportering - Axel Nielsen a/s

Denne aftale vedrører knusnings- og sorteringsentreprisen, som omfatter de i bilag 1 konturafgrænsede aktiviteter incl. aftalte mellemdeponier.

2. ARBEJDETS OMFANG

2.1 Leverance

Nedrivningsmaterialet består af kraftigt armeret beton støbt i 1912-13, 1940 og en mindre del i 1968; det leveres af nedrivningsentreprenøren i depot ved Pårup knuseri syd for Odense. Materialet er opdelt i stykker som for bro 1 har maksimaldimensioner på $l \times b \times t = 3,0 \times 0,9 \times 0,6$ m.

Materialer fra bro 2 leveres med maksimaldimension: $0,6 \times 0,9 \times 0,6$ m. eller holdes uden for denne aftale.

Foreløbig leveringsplan:

juni 1989	1500 t
juli 1989	0 t
aug.-okt. 1989	3000 t

Etableres et kommunalt knuseanlæg på Fyn inden leverancens afslutning, kan aftalen ophæves af bygherren; idet resterende nedrivningsmateriale så tilføres det kommunale anlæg.

2.2 Deponering

Entreprenøren skal anvise arealer til deponering af nedrivningsmateriale og knust, sorteret materiale. Depoterne skal være store nok til, at de nævnte leverancer forøges med 50 %.

Deponering kan ske gratis i op til 6 måneder.

2.3 Knusning

For at kunne gennemføre prøvestøbninger og senere en løbende produktion af genbrugsbeton, skal der knuses følgende mængder:

ca. 50 t i juni måned
ca. 2000 t medio august
ca. 2500 t umiddelbart efter sidste leverance af nedrivningsmateriale

Knusningen skal tilrettelægges, således at det sorte-rede materiale omfatter så lidt 0-4 mm-materiale som muligt, samtidig med at mængden af de øvrige sorte-rede fraktioner kommer så tæt på den nedenfor angivne forde-ling som muligt.

Entreprenøren skal under dette pilotprojekt positivt medvirke til at optimere knusningsprocessen ud fra sorteringsbetingelserne.

2.4 Sortering

Alt metal frasorteres inden stenfraktionssortering. Dette metal tilhører knuseentreprenør, og bortskaffelse er bygherren uvedkommende.

Stenmaterialet sorteres i fraktionerne:

0-4 mm, som ikke kan genanvendes i beton, og mængden heraf skal derfor minimeres.

4-8 mm;	tilstræbt andel ca.	25 %.
8-16 mm;	-	25 %.
16-32 mm;	-	50 %

Den tilstræbte %-andel er angivet i forhold til den samlede mængde 4-32 mm-materiale.

Alle stenmaterialer tilhører bygherren.

2.5 Transport

De nedknuste materialer transporteres efter en nærmere aftalt plan til et betonværk i Odense-området.

Transporten skal omfatte mindstemængder på 25 - 30 tons pr. fraktion.

3. ØKONOMI

Angivne enhedspriser er excl. moms og er faste priser i 1989.

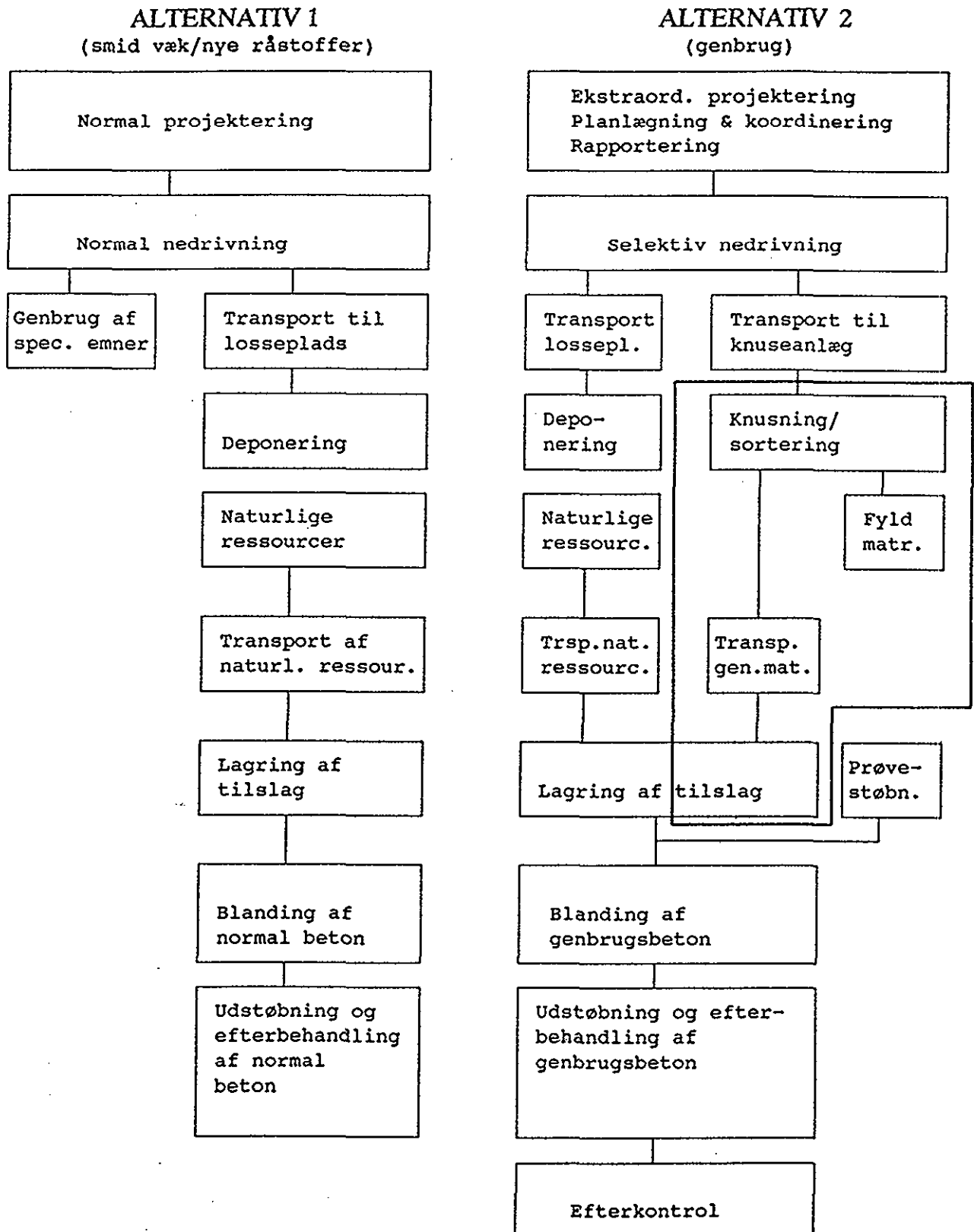
Deponering af såvel nedrivningsmaterialer som nedknuste sortererede stenfraktioner	gratis
Nedknusning og sortering i h.t. specifikationen	60 kr/t
Indvejning	1 kr/t
Gebyr for ekstra opstart af knuseanlæg:	25.000 kr
Transport: Kørsel til Odense sydlige område (Højby)	13 kr/t
Kørsel til Odense havneområde	15 kr/t
Enhedspris pr. ekstra transport-km	0,35 kr/t

4. VISUELT MATERIALE

Bygheren har efter aftale fri adgang til at optage billed- og lydmateriale til offentliggørelse af information om dette projekt.

20. juni 1989 EBO/aaa

NEDBRYDNING/GENVANVENDELSE AF ANLÆGSBYGVÆRKER
ANLÆGSGENBRUG





Nedbrydning af anlægsarbejder med efterfølgende genanvendelse af det nedknuste materiale som betontilslag

Aftale vedr. prøvning, blanding og levering af beton med genanvendelsesmaterialer

1. ORIENTERING

I forbindelse med, at DSB nedriver 2 betonbroer i Odense, gennemfører DSB og Miljøstyrelsen et pilotprojekt for at afprøve genanvendelse af knuste nedbrydningsmaterialer i ny beton.

Aktivitetslisten for pilotprojektet er angivet i bilag 1 som alternativ 2.

Aktiviteterne samles i følgende hovedgrupper:

Planlægning og projektering - Axel Nielsen as

Nedrivningsentreprisen - Jord & Beton a/s/Arthur & Bjarne Jensen

Knusnings- og sorteringsentreprisen - Alf Gregersen A/S/
Tarup sten og grus A/S

Betonproportionering og -blanding - 4K-BETON A/S

Udstøbning/råhusentrepriser - Bygherre, Odense Andels-
boligforening

Efterkontrol og rapportering - Axel Nielsen as.

Denne aftale vedrører levering og blanding af beton inklusive nødvendig afprøvning - kort omtalt som betonleverancen. Den omfatter de i bilag 1 konturafgrænsede aktiviteter.

2. FORUDSÆTNINGER

2.1 Ansvar

Betonleverandøren skal i dette projekt bære samme ansvar for overholdelse af den aftalte recept, for den leverede betons styrke, for kvalitetsstyring og -dokumentation, som for normal beton.

Betonleverandøren skal gennemføre en kontrol af de leverede knuste genanvendelsesmaterialer, som sikrer, at kvalitetskrav i Anvisningens (se punkt 2.2) kapitel 2 er opfyldt.



Findes materialer, som ikke opfylder kravene, må de ikke umiddelbart anvendes. Manglerne dokumenteres over for Axel Nielsen as, som anviser, hvordan materialerne anvendes eller fjernes.

2.2 Forudsætninger

Kravene til betonleverancen bestemmes af

DS 411 - Betonkonstruktion, 3. udgave (DS 411)

Byggestyrelsens Basisbetonskrivelse for bygningskonstruktion,
1986 (BBB)

Dansk Betonforenings Anvisning for genanvendelsesmaterialer
i beton til passiv miljøklasse (Anvisningen),

idet der skal leveres beton af styrkeklasserne

$$f_{ck} = 10, 15 \text{ og } 20 \text{ MN/m}^2$$

Entreprenøren beskriver på forhånd et prøveprogram, som opfylder alle krav til ovennævnte anvisninger. Dette program skal godkendes af genbrugsprojektets ledelse.

3. LEVERANCENS OMFANG

3.1 Materiale-mængder

I henhold til vejeseidler er der tilført 4K-Beton, Grønnemose, 376 t nedknust betontilslag fordelt på fraktioner:

4-16 mm	236 t
16-32 mm	140 t.

4. PRØVEPROGRAM

4.1 Forprøvning

Forprøvning for kvaliteten $f_{ck} = 20 \text{ MN/m}^2$ påbegyndes i uge 1/90. Forprøve for kvalitetene $f_{ck} = 10$ og 15 MN/m^2 påbegyndes efter nærmere aftale.

Alle krav til forprøvning inkl. prøvestøbning som angivet i DS 411, BBB og Anvisningen (jfr. afsnit 2.2) skal dokumenteres.



Da projektet er et pilotprojekt, udvides kontrolomfanget i forhold til kravene for passiv miljøklasse i BBB's skema 7. Her skal også gennemføres undersøgelser af alle styringsparametre (v/c-forhold, konsistens og kornkurver) samt luftindhold og adiabatisk varmeudvikling.

Desuden skal forprøven omfatte strukturanalyse i henhold til bilag 1 i BBB.

Parallelt med forprøven for genanvendelsesbetonen udføres kontrol på en referenceblanding af standardbeton for passiv miljøklasse og med samme styrke, som tilstræbes for genanvendelsesbetonen.

4.2 Kontrolprøvning

Kvalitetskontrol af den løbende fremstilling udføres, jfr. Anvisningens afsnit 5, hyppigere end for beton med traditionelle tilslagsmaterialer.

Specielt skal der udføres en tæt kontrol på genanvendelsesmaterialernes absorption og fugtindhold.

De indblandede materialers mængder registreres 100%.

Der udføres

10 trykstyrkekontroller pr. 100 m³

Der udføres pr. 30 m³ kontrol af

konsistens
v/c-forhold
luftindhold.

Omfanget af kontrol med cloridindhold aftales på grundlag af resultatet af forprøvningerne.

5. ØKONOMI

Priser er ekskl. moms.

Under forudsætning af, at

- aftalte forprøver betales i henhold til nedenstående takst



- stenfraktionerne af nedknust materiale leveres til blandede anlægget for 25,00 kr./t, som afregnes i takt med, at genanvendelsesbetonen leveres
- betonleverandøren leverer alle andre delmaterialer
- betonleverandøren giver normal leverandørgaranti ud fra de i denne aftale givne forudsætninger
- skærpet fremstillings- og kvalitetskontrol i henhold til anvisningen er indeholdt i materialepriserne
- diverseudgifter betales i henhold til normalaftaler

leveres følgende betonkvaliteter til passiv miljøklasse på byggepladser for:

f_{ck} (max. 32 mm) = 10 MN/m ² , pris	kr./m ³ :	470,00
f_{ck} (max. 32 mm) = 15 MN/m ² , pris	kr./m ³ :	500,00
f_{ck} (max. 32 mm) = 20 MN/m ² , pris	kr./m ³ :	550,00

Forprøver i henhold til afsnit 4 udføres for kr./
betonstyrke: 15.000,00

Byggepladskontrol afregnes som; pr. udrykning kr.: 380,00
pr. time kr.: 340,00

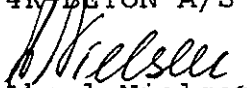
For assistance i forbindelse med forsøgsprojektet inkl. oplagring af nedknust stentilslag i ca. 3 måneder og inkl. materialekontrol i.h.t. afsnit 2.1 og 4 kr.: 12.000,00

6. VISUELT MATERIALE

Bygherren har efter aftale fri adgang til at optage billed- og lydmateriale til offentliggørelse af information om dette projekt.

Foranstående aftale tiltrædes.

20. januar 1990
EBO/mb

4K BETON A/S 31. januar 1990

Aksel Nielsen
direktør

Vedr. oab's boligbebyggelse - Sædekildegårdsvej, Bellinge

Beton med tilslag af nedknuste genanvendelsesmaterialer

ORIENTERING

I Odense gennemføres i øjeblikket et pilotprojekt med støtte fra Miljøstyrelsen og Genanvendelserådet. Formålet er at genanvende nedknuste brokker fra byggeaffald til ny beton som angivet i Dansk Betonforenings netop udsendte: Anvisning for Genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse.

Rene betonmaterialer fra nedrivning af 2 DSB-broer i Odense knuses, sorteres og blandes i ny beton af en fynsk entreprenør og betonleverandør; og kontrollerede betonkvaliteter 10, 15 og 20 skal anvendes i passiv miljøklasse på fynske byggepladser. Axel Nielsen as, Rådgivende ingeniører, er koordinator for pilotprojektet.

Projektet følger de normale procedurer i byggeprojekter, og involverer alle sædvanlige parter i en byggeproces.

Bygherrer for nedrivning og nybyggeri
Nedrivningsentreprenører
Knusning- og sorteringsentreprenør
Betonleverandør
Nybygningsentreprenøren
Rådgivere

Da genanvendelsesmaterialer som tilslag i beton er noget nyt, omfatter pilotprojektet nogle endnu unormale aktiviteter som

selektiv nedrivning
knusning og sortering
betonprøvning

og det er introduktionen af disse usædvanlige aktiviteter, der ydes støtte til. Blandt andet gennemføres der i forbindelse med pilotprojektet afprøvning og kontrol af genanvendelsesbetonen; prøveprogrammet er langt mere omfattende end de krav, der stilles i Basisbetonbeskrivelsen.

FORUDSÆTNINGER

Betonleverandøren pålægges normalt leverandøransvar for, at den anvendte beton opfylder krav i

Dansk Betonsforenings: Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse (Anvisningen).

En kopi af Anvisningen er vedlagt, og heri henvises til

- DS 411 - Betonkonstruktioner, 3. udgave (DS411)
- Byggestyrelsens Basisbetonbeskrivelse for bygningskonstruktioner - 1986 (BBB)

som også er gældende for genanvendelsesbeton.

FORSØGETS OMFANG

Det tilstræbes, at beton i passiv miljøklasse, som udstøbes på byggepladsen for O.A.B.'s boligbebyggelse Sædekildegårdsvej, Bellinge er genanvendelsesbeton. Projektet omfatter beton i passiv miljøklasse af styrkerne 10, 15 og 20 MN/m².

ANSVAR

Alle undersøgelser af og erfaringer med genanvendelsesbeton indikerer, at denne beton opfører sig som normal beton, når Anvisningens forskrifter følges. I projektet bør kvalitetssikringsvejledningens kommentarer til kvalitetssikringscirkulærets § 14 vedr. forsøgsbyggeri følges (se bilag 2) således, at byggeriet kan dækkes af Byggeskadefonden på samme måde som et traditionelt byggeri.

Som angivet i Byggestyrelsens Bygherrevejledning 1983, side 184-185 skal forholdene vedr. udviklingsforsøget præciseres.

For dette pilotprojekt gælder følgende kommentarer til hver af de i Bygherrevejledningen nævnte punkter a-g.

- a. Definitionen af det aktuelle udviklingsforsøg er givet i dette notat.
- b. Bygherrens fordel ved at deltage i forsøget er
 1. Bygherren får tidligt kendskab til og erfaring med et materiale, som sandsynligvis kan anvendes med fordel i fremtiden.
 2. Den omfattende prøvning giver meget stor sikkerhed for, at den leverede beton opfylder stillede krav.
 3. Bygherren kan anvende forsøgets miljøforbedrende effekter som en positiv PR-faktor.
- c. Materialet og udstøbningsmetoder er beskrevet i de anvisninger og normer, som er angivet i afsnit: Forudsætninger.
- d. I foreliggende informationer om beton med genanvendelsesmaterialer anføres ingen risici, hvis Anvisningens regler følges.
- e. Betonleverandøren skal levere genanvendelsesbeton med normale leverandørgarantier.
- f. Udstøbning og efterbehandling udføres som angivet i Anvisningen, Basisbetonbeskrivelsen og DS411.
- g. Vedr. bygherrens risiko

I dette byggeri skal eventuelle afvigelser fra normale indbygningsmetoder registreres for et nyt materiale. Dette materiale er anerkendt og beskrevet af normgivende institutioner, og det afviger kun lidt fra normal beton.

For at sikre, at eventuelle afvigelser opdages, og at nødvendige korrektioner udføres, skal fagtilsynet være mere omfattende end normalt. Desuden skal fagtilsynet trække på ekspertviden til løsning af uforudsete problemer med det nye materialer på byggepladsen.

Ekstratilsyn stilles til rådighed af pilotprojektet gennem Axel Nielsen as.

Bygherrens risiko er, at betonarbejdet ikke giver et resultat, som svarer til normal standard. Afvigelser kan i værste fald medføre, at forsøget med genanvendelsesbeton opgives. I dette tilfælde kan man uden ekstraomkostninger gå tilbage til at anvende normal beton. Opfylder parterne (betonleverandører, entreprenør, fagtilsyn) deres forpligtelser er såvel risiko som konsekvenser af eventuelle mangler begrænset.

Som nævnt udelukker deltagelsen i pilotprojektet ikke, at byggeskadefonden træder ind som sikring på sædvanlig vis.

VISUELT MATERIALE

I forbindelse med Miljøstyrelsens støtte til pilotprojektet stilles krav om, at der optages billed- og lydmateriale af forløbet. Der skal derfor være fri adgang til at optage sådant informationsmateriale; det skal bruges til at informere offentligheden - og især byggebranchen - om brugen af genanvendelsesmaterialer i beton.

08.12.1989 EBO/aaa

Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K

Serietitel, nr.: Miljøprojekt, 157

Udgivelsesår: 1990

Titel: Anvendelse af nedknust beton i ny beton

Undertitel:

Forfatter(e):

Udførende institution(er):

Miljøstyrelsen. Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi (spons); Axel Nielsen as Rådgivende Ingeniører

Resumé:

Rapporten beskriver et projekt, hvor bygge- og anlægsaffald fra 2 betonbroer genanvendes til fremstilling af ny beton samt giver en teknisk og økonomisk vurdering af genanvendelsesforløbet. Ansvarsforhold og priser for selektiv nedrivning, knusning og sortering, materialekontrol, betonprøvning og -fremstilling samt udstøbning beskrives.

Projektet viser, at det er økonomisk fordelagtigt og teknisk forsvarligt at erstatte højkvalitative stenressourcer til betontilslag med nedknust betonaffald.

Emneord:

affald; genanvendelse; beton; nedrivning; økonomi

ISBN: 87-503-8724-3

ISSN: 0105-3094

Pris: 70,- (inkl. 22% moms)

Format: A4

Sideantal: 60 s.

Md./år for redaktionens afslutning: oktober 1990

Oplag: 900

Andre oplysninger:

Tryk: Luna Tryk ApS

Trykt på miljøpapir