

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 16 1990

Genbrug af frisk betonspild

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

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

666 : 628.477.2

22

ex. 2

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 16/1990

Genbrug af frisk betonspild

Preben Jensen og Bent Grell
Dansk Teknologisk Institut

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

Rapporten er udarbejdet med tilskud fra Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

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

0. FORORD

Denne rapport er resultatet af et projekt finansieret af Miljøstyrelsen, Genanvendelseskontoret, med titlen:

"Genbrug af frisk betonspild ved betonfremstilling".

Formål

Formålet med dette projekt har været at undersøge de betonteknologiske aspekter ved genanvendelse af friske betonrester. Undersøgelserne har været baseret på at undersøge, hvilken betydning blandevand med et relativt højt indhold (0-15 vægt-%) af opslemmede bestanddele vil have på såvel den friske som den hærtnede betons egenskaber. De opslemmede bestanddele består af finsand, mere eller mindre hydratiserede cementpartikler, flyveaske og mikrosilica.

Mulighederne for at anvende blandevand med opslemmede bestanddele har stor betydning for genanvendelse af friske betonrester, idet gældende normer og retningslinier p.t. ikke giver mulighed for anvendelse af blandevand med op til fx 15% opslemmede bestanddele.

Projektet er udført dels hos Teknologisk Institut, Byggeteknik, dels hos NF Beton i Helsingør med civilingeniør Arne Damgård Jensen som projektleder. Laboratoriarbejdet er udført af ingeniør Preben Jensen, civilingeniør Bent Grek, laboratorieleder Mogens Hansen samt medarbejdere fra NF Beton. Projektrapporten er udarbejdet af Preben Jensen og Bent Grek.

Projektet er gennemført i perioden juli 1987 - juli 1988, idet dog hovedparten er udført i 2. halvår 1987.

Projektet har været fulgt af en følgegruppe med nedenstående deltagere:

Fuldmægtig Lars Søborg
Miljøstyrelsen, Genanvendelseskontoret

Direktør Hans Jørgensen
Formand for Dansk Fabriksbetonforening,
Vestsjællands Betonværk A/S

Professor Torben C. Hansen
Danmarks Tekniske Højskole,
Laboratoriet for Bygningsmaterialer

Direktør Steen Jessen
Nordsjællands Færdigbeton A/S,
Helsingør

Projektet er udarbejdet på grundlag af en række laboratorieforsøg udført på Teknologisk Institut, Byggeteknik samt en praktisk forsøgsrække udført på et genbrugsanlæg (100%-genbrug), som velvilligt er stillet til rådighed af NF Beton, Helsingør.

Endvidere indgår analyseresultater fra undersøgelser af cementslam udført af G.M.Idorn Consult A/S ved Per Just Andersen.

Projektet er gennemført med støtte fra:

Miljøstyrelsen, Genanvendelseskontoret.

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
0. Forord	2
1. Konklusion	5
2. Indledning	7
3. Teknisk baggrund for oparbejdning	8
4. Danske og udenlandske normer og retningslinier	12
5. Undersøgelser og forudsætninger	16
5.1 Indledning	16
5.2 Oversigt over TI-B prøvninger	20
5.3 Oversigt over NF-Beton prøvninger	21
6. Undersøgelser af slam og slambvand	22
6.1 Fremstilling af TI-B slam	22
6.2 Slam i slambeholder hos NF-Beton	23
6.3 Spektrofotometrisk analyse af organiske tilsætningsstoffer i cementslam	28
7. Undersøgelser af den friske betons egenskaber .	32
7.1 Luftindhold, sætmål og densitet	32
7.1.1 Beton blandet på TI-B	32
7.1.2 Beton blandet på NF-Beton	34
7.2 Afbinding	38
7.2.1 Mørtel blandet på TI-B	38
7.2.2 Mørtel (beton) blandet på NF-Beton	43
7.3 Bleeding	46
7.3.1 Bleeding målt på pasta blandet på TI-B	46

	Side
8. Undersøgelse af den hærtnede betons egenskaber	48
8.1 28 døgns trykstyrke og styrkeudvikling i beton	48
8.1.1 Beton blandet på TI-B	48
8.1.2 Beton blandet på NF-Beton	50
8.2 Bøjningstrækstyrke	51
8.2.1 Mørtel blandet på TI-B	51
8.3 Elasticitetsmodul	53
8.3.1 Beton blandet på TI-B	53
8.4 Svind	54
8.4.1 Mørtel blandet på TI-B	54
8.5 Luftindhold	56
8.5.1 Beton blandet på TI-B	56
8.5.2 Beton blandet på NF-Beton	59
8.6 Vedhæftning	61
8.6.1 Mørtel blandet på TI-B	61
8.7 Krakelering	63
8.7.1 Mørtel blandet på TI-B	63
8.8 Vandopsugning	65
8.8.1 Mørtel blandet på TI-B	65
8.9 Strukturanalyse	67
8.9.1 Beton blandet på TI-B	67
8.9.2 Beton blandet på NF-Beton	68
8.10 Kulør	69
8.10.1 Beton blandet på TI-B	69
9. Sammenfatning og diskussion	70
10. Litteraturliste	72

1. KONKLUSION

De gennemførte undersøgelser såvel litteraturstudiet, laboratorieforsøgene som de praktiske forsøg på NF Betons genbrugsanlæg viser, at man uden de store problemer er i stand til at genanvende friske beton- og mørtelrester og fremstille god holdbar færdigblandet beton.

Slammet og/eller slamvandet i NF Betons slambassin indeholder ikke bestanddele, der kan skade betonen, når dette bruges som blandevand til ny beton. Dette gælder for såvel den friske som den hærdnede betons egenskaber. Dette gælder for blandevand, der indeholder op til ca. 15 vægt-% opslemmede bestanddele. Disse bestanddele består af mere eller mindre hydratiserede cementpartikler, flyveaske, mikrosilica og finsand.

Helt problemløst er det dog ikke at bruge blandevand med opslemmede bestanddele. Den friske betons sætmål påvirkes af mængden af "slam" i blandevandet. Selvom ikke alle resultaterne er entydige, så falder sætmålet generelt med stigende slammængde i blandevandet. En anden egenskab, der helt klart påvirkes af slamtilsætningen, er den friske betons/mørtels afbindingstid. Afbindingstiden afkortes med 1/2 - 1 1/2 time afhængig af slammængde, temperatur og slamtype. Forklaringen herpå kan være, at slammet bl.a. består af fin- til grovkornede $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -krystaller, som antagelig kan virke som kimdannere under hydratiseringen, således at denne accelereres. Dette er afgjort en effekt ved anvendelsen af slamvand som blandevand, som man er nødt til at tage højde for ved færdigbetonproduktionen.

Styrken (28 døgns trykstyrke) eller styrkeudviklingen påvirkes ikke i nævneværdig grad af slamtilsætningen. Imidlertid viste de praktiske forsøg på NF Betons genbrugsanlæg, at "slambetonerne" muligvis generelt har en højere langtidsstyrke end de tilsvarende referencebetoner. De styrkeforøgelse, der er observeret ved 90døgns trykstyrkerne, som er mellem 3 og 55%, kan vi umiddelbart ikke forklare.

Vi har ved undersøgelserne ikke kunnet konstatere nogen forskel i hverken luftporestruktur eller mikrostruktur mellem "slambetoner" og de tilsvarende referencebetoner.

Det skal måske lige nævnes, at forskellen mellem en "slambeton" og den tilsvarende referencebeton er, at i "slambetonen" er der anvendt blandevand med opslemmede bestanddele i modsætning til referencebetonens blandevand, som er rent ledningsvand.

Udover de allerede nævnte egenskaber er der også undersøgt egenskaber som luftindhold, densitet (frisk beton), bøjningstrækstyrke, E-modul, svind, vedhæftning, krakeleringstendens, vandopsugning og kulør (alle hårdnet beton). Med undtagelse af de to første er der for disse egenskaber kun gennemført et sparsomt prøvningsprogram for at få en orienterende vurdering af slamvandets eventuelle indvirkning på disse egenskaber.

Vi har ikke kunnet konstatere, at slamvandet har nogen mærkbar/nævneværdig indflydelse på disse egenskaber. Det kan dog ikke helt udelukkes, at visse kombinationer af beton og slamsammensætninger under "ugunstige" forhold kan have en mærkbar negativ (evt. positiv) effekt på en eller flere af de nævnte egenskaber. Hertil skal det dog nævnes, at i ingen af de udenlandske undersøgelser (refereret i "State-of-the Art report") har man kunnet konstatere nogen væsentlige (negative) påvirkninger på disse egenskaber.

Med hensyn til tilsætningsstoffer i spildbetonen og dermed også i slamvandet (slammet) har vi dels ikke kunnet påvise tilstedeværelsen af sådanne (rester) i slamvandet, dels har vi ikke fundet nogen målebare effekter på hverken den friske som den hårdnede betons egenskaber. Hovedparten af den beton, der produceres på NF Betons anlæg, indeholder luft- og/eller plastificeringsmidler, hvorved også spild- og restbetonen må indeholde sådanne stoffer. Men vaskeprocessen må have fortyndet det oprindelige blandevand i en sådan grad, at evt. tilsætningsstoffer ikke kan detekteres (måles), eller i givet fald må tilsætningsstofferne have absorberet sig på cementpartiklernes overflade, således at de ikke længere er tilgængelige.

Som NF Betons anlæg kører i dag, synes der absolut ikke at være noget som helst til hinder for, at man skulle kunne producere beton i såvel miljøklasse P som M, med blandevand som indeholder op til 10-15 vægt-% opslemmede bestanddele. Opslemmede bestanddele, som består af mere eller mindre hydratiserede cementpartikler, flyveaske, mikrosilica og finsand. Med hensyn til "slamvandet", som vi vil foreslå blev kaldt "genbrugsvand", bør jævnligt kontrolleres for chlorid- og alkaliindhold samt pH. Ligeledes bør slamkoncentrationen dagligt bestemmes og måske en gang om ugen/månedens også slamssammensætningen vha. en simpel sigteanalyse (cementandel-finsandsandel).

2. INDLEDNING

Det anslås, at ca. 2-3% af betonproduktionen på danske færdigbetonfabrikker ender som rest- eller returbeton (spildbeton). Hovedparten af spildbetonen bliver i dag deponeret på kontrollerede lossepladser.

I Danmark blev der i 1986 produceret ca. 2 mio. m³ færdigbeton. Det skønnes, at ca. 50.000 m³ af denne beton endte som spildbeton.

Oparbejdning og genbrug af spildbeton er noget relativt nyt i Danmark. I lande som USA, Vesttyskland, Japan og Holland har man dog næsten 15 års erfaring i genbrug af frisk betonspild. Princippet i at genbruge friske betonrester er at foretage en "rensning" af spildbetonen. Ved "rensningen" af betonen, der kan foretages i en avanceret vasketromle, udskilles tilslagsmaterialerne med kornstørrelse større end ca. 0,2-0,3 mm. Vaskevandet, der benyttes til udvaskningen, vil herefter indeholde mere eller mindre hydratiserede cementpartikler og filler med kornstørrelse mindre end ca. 0,2-0,3 mm. Det herved fremkomne slamvand opsamles i et bassin, hvor det holdes i bevægelse, således at der ikke sker en bundfældning og hærkning af slammet. De opslemmede materialer (cement, flyveaske, mikrosilica samt sandfiller) vil kunne genanvendes ved at blive pumpet op i betonblanderen og anvendt som støbevand til nye betonblandinger.

Som det fremgår af tallene, drejer det sig om store mængder af faste råstoffer i rest- og returbetonen, der bliver deponeret som spild i dag. Hertil kommer spildevand fra vaskning af betonkanoner, -pumper og -blande anlæg, som bliver ledt ud i kloaksystemet. Alene i Danmark kunne der spares ca. 35.000 m³ tilslagsmaterialer og ca. 250.000 m³ vand om året, hvis al rest- og returbeton blev genanvendt. Dette ville betyde en stor aflastning af naturen og miljøet.

3. TEKNISK BAGGRUND FOR OPARBEJDNING

Der findes i dag principielt 3 typer anlæg for mere eller mindre genanvendelse af spildbeton og vaskevand:

- 1) 100% genbrugsanlæg, hvor alle stoffer benyttes, dvs. vand, tilslag og slam.
- 2) Mekanisk system for udskillelse af tilslag. Herefter bundfældning af finstof (slam), der kan opsamles og tørres i bunker.

Tilslaget kan genanvendes.

Ligeledes kan vandet, der kaldes klaringsvand, genanvendes enten til vask eller blanding af beton.

- 3) Klaringsbassin for spildbeton med en mekanisk tømning. Evt. kan klaringsvandet genanvendes.

Her i landet er der ingen tradition for de nævnte metoder. De fleste benytter sig af slambassin med bundfældning og forskellige former for efterklaringsbassiner, inden vandet bortledes til kloakken, en grøft, et vandløb eller lignende. De bundfældede materialer bliver kørt på lossepladsen.

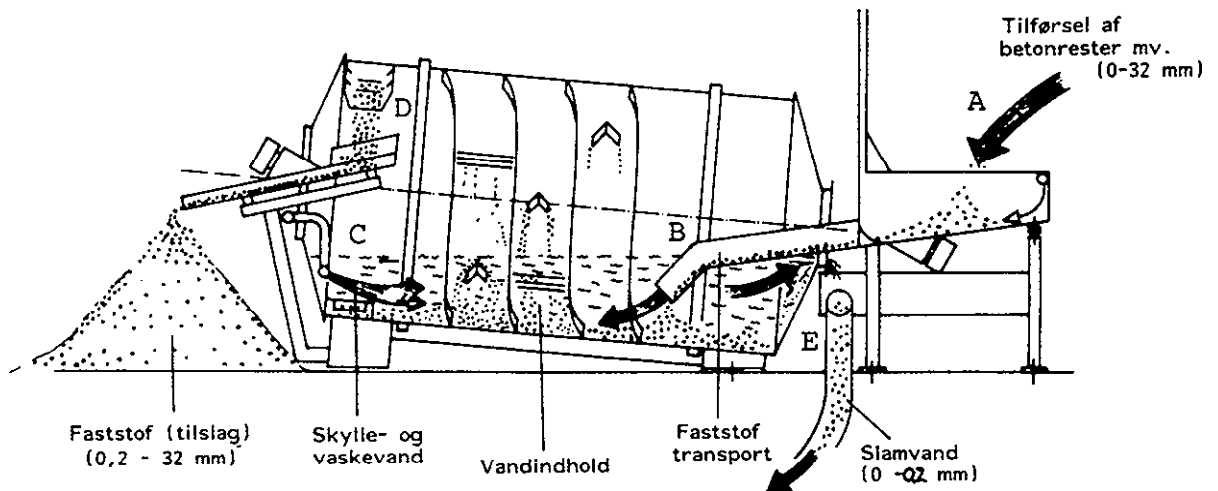
I det følgende beskrives kun hovedtype 1 (100% genbrug).

Materialerortering

En indledende materialerortering har det formål at frasortere så meget tilslagsmateriale som muligt og dermed begrænse mængden af slam. Niveauet for en adskillelse mellem finstoffer (cement- og fillerslam) og finandele af sand (0,3-1 mm) skal derfor lægges så fint som muligt, dvs. helst i området 0,1-0,3 mm. Tilslagsmaterialerne skal vaskes omhyggeligt, så andelen af endnu aktive cementkorn er mindre end 1% for at forhindre dannelsen af klumper.

Dette betyder, at der skal bruges en forholdsmæssig stor del vaskeenergi og vaskevand inden for denne fraktion (0,3-1 mm). De sådan genvundne tilslagsmaterialer kan efter sigtning genbruges som almindelig (normale) tilslagsmaterialer. Genbrug af slammet er et betonteknologisk spørgsmål, som bliver behandlet senere.

OPARBEJDNINGSANLÆG



Figur 1
Såkaldt "Sortertrømler" af mærket Stetter til sortering af spildbeton.

Spildbetonen tilføres anlægget ved (A) og føres via en slidske ind i "vasketromlen" (B). Tromlen drejer langsomt rundt, og der tilføres ekstra vaskevand ved (C).

Tunge partikler (tilslag $>$ ca. 0,2 mm) synker til bunds og føres vha. indbyggede snegleblade i tromlen op mod (bemærk, at tromlen hælder ned mod anlægget, hvor spildbetonen tilføres) en indbygget "skovl", der sørger for, at de grove partikler ($>$ ca. 0,2 mm) kommer ud af tromlen ved slidsken (D). De fine partikler $<$ ca. 0,2 mm holdes opslemmet pga. den ekstra tilførsel af vaskevand samt tromlens bevægelser (omdrejninger). De opslemmede partikler føres ud af tromlen ved overløbet (E) og over i et opbevaringsbassin.

Slamoplgring

Der er to slamvandsopbevaringsmuligheder, som har vist sig som værende ideelle:

1. "Koncentreret slammetode".
2. Suspensionsmetoden".

Den første (1) sigter på at afsætte slammet i et lille volumen, at anvende hovedsageligt frisk vand med lav pH-værdi for betonfabrikationen og at dosere slamvand i koncentreret form (højere faststofandel pr. liter) som additiv for friskvandet. Der findes et vandrensesystem, og skyllevandet kan udtages fra rensesystemets rentvandsbassin. Vandkredsløbet er lukket inden for virksomheden. Et nødoverløb kan tilsluttes det offentlige kloaksystem, hvis myndighederne tillader tilledning af spildevand med en høj pH-værdi.

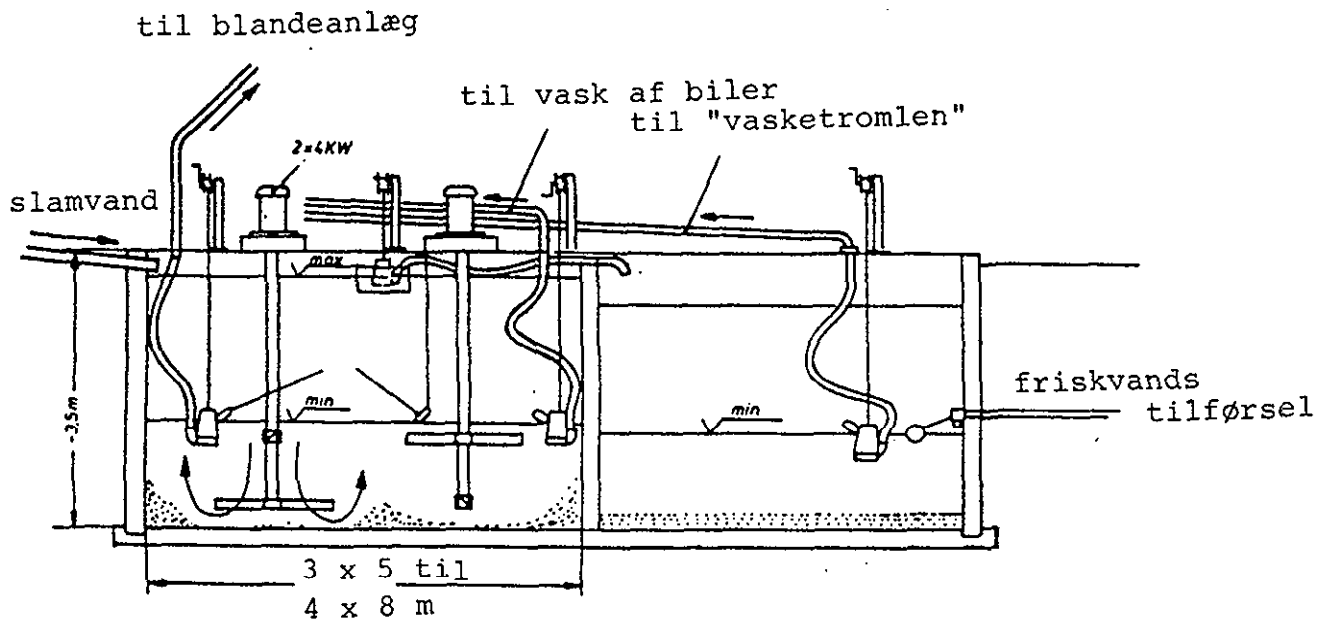
I denne sammenhæng er begrænsning af strømningshastigheden af vandet fra oparbejdningsanlæg igennem afsætningsbassinet til rentvandsbassinet af stor betydning. Jo større vandmængde pr. tidsenhed for oparbejdningsanlæg, desto flere finstoffer vil der blive trukket over i rentvandsbassinet med alle dets uheldige følger.

"Røreværksenergien" er minimal. Denne såkaldte koncentrer/slammemetode muliggør målrettet anbringelse af den opståede slammængde i mindre produktionsmængder af ringere kvalitet beton. Faststofkoncentrationen er varierende. Tidligt om morgenen er den højere end senere på dagen.

Ved den anden metode (2) tilføres det samlede betonbrugsvand over restbetonoparbejdningsanlægget. Først renses med rent vand, og det med cementlim og grovdele belastede vand holdes ved omrøring i suspension (som forhindrer grove dele i at bundfælde sig). Rørenergien er ca. dobbelt så stor som ved koncentrer/slamdrift. I dette tilfælde er vandholdningen helt i orden. Der følger ingen vandrensning. Det i suspension værende slamvand må ikke komme i kloakken. Der må derfor ikke opstå mere slamvand, end der kan forbruges næste dag for nye betonblandinger. Fordelen ved denne metode er, at faststofkoncentrationen i løbet af dagen er nogenlunde konstant.

I flere tilfælde har man anbragt et buffer-, reserve- eller rentvandsbassin bagved suspensions-røreværksbassinet. Ved anvendelse af en svømmepumpe i røreværksbassinet og bortpumpning af delrenset vand over i det såkaldte bufferbassin kan koncentrationen også forhøjes ved suspensionsdrift.

Udformning og dimensioner for røreværksbassinet, især dybden og "skillesnit" for den foran placerede faststof/slamvand-skilleanordning, har en meget stor indflydelse på den samlede økonomi for restbetonoparbejdningsanlæg.



Figur 2
Princip i slamopbevaring ved suspensionsdrift.

4. DANSKE OG UDENLANDSKE NORMER OG RETNINGSLINIER

I Danmark har man hidtil i praksis ikke kunnet anvende slamvand med op til 5-10% opslemmede bestanddele, som blandevand til beton i henhold til gældende norm og retningslinier.

I Dansk Ingeniørforenings norm for Betonkonstruktioner, Dansk Standard DS 411, 3. udgave marts 1984 står der bl.a. følgende:

"3.1.2.3 Vand

Vand må ikke indeholde stoffer, der kan skade armeringen eller forringe betonens holdbarhed.

Vandprøver skal udtages i henhold til DS 423.2.

"Vejledning": Normens krav til støbevand vil normalt være overholdt, når der anvendes vandværksvand".

I Beton-bogen (2. udgave 1985, CtO) findes en tabel med vejledende grænser for maksimalt indhold af forskellige urenheder i støbevand til beton. Tabellen fandtes i den gamle udgave af DS 411 (2. udgave december 1973).

Urenhed	Armeret beton	Uarmeret beton
pH	4,5-8,5	4,5-8,5
Opslemmede bestanddele	2 g/l	5 g/l
Totalmængde opløste salte	15 g/l	30 g/l
Svovlsyreanhydrid	3 g/l	3 g/l
Sulfider	5 g/l	5 g/l
Klorider	10 g/l	20 g/l
Organiske stoffer	3 g/l	3 g/l
Kulhydrater	0	0

Tabel V 8.2.4

Vejledende øvre grænse (samt nedre for pH) for indhold af urenheder i støbevand.

I Basisbetonbeskrivelsen står der, at vand, der skal bruges til betonfremstilling, skal være af kvalitet som drikkevand leveret fra vandværk.

Som normen og Basisbetonbeskrivelsen bliver fortolket i dag, så vil man ikke kunne acceptere et indhold af opslemmede bestanddele i form af hydratiserede cementkorn, flyveaske, mikrosilica og sandfiller på op til fx 10 vægt-% (100 g/l) i støbevand, hvilket jo vil overskride de vejledende grænser med ca. 20-50 gange ved hhv. uarmeret og armeret beton.

Man kan se på, hvordan lande som USA, Japan og Vesttyskland klarer de normmæssige problemer mht. støbevand, som indeholder "betonslam", og hvilke undersøgelser der er foretaget i forbindelse med genbrug af friske betonrester.

I USA begyndte man allerede i 1974 at undersøge mulighederne for at begrænse affaldsmængderne (rest- og retur-beton) fra betonindustrien. I forbindelse med en NRMCA-konference med temaet "Pollution Control" blev der ved den lejlighed omtalt forskellige metoder til behandling af rest- og returbeton. Problemet med deponering af rest- og returbeton var til stadighed voksende.

For at imødegå strengere restriktioner fra myndighedernes side begyndte man at undersøge muligheden for at genbruge den (friske) rest- og returbeton til fremstilling af ny færdigbeton.

NRMCA (National Ready-Mixed Concrete Association) iværksatte et projekt, der skulle undersøge muligheden for genbrug af rest- og returbeton fra færdigbetonfabrikker.

Undersøgelserne viste /123/, at det var muligt at fremstille god holdbar beton på færdigbetonfabrikker med slamvand som blandevand.

I den amerikanske norm ACI-Standard 318-77 "Building code requirements for reinforced concrete" står der i afsnittet omhandlende betonens delmaterialer bl.a.:

"3.4 Vand

3.4.1 Vand, som skal bruges som støbevand til beton, skal være fri for skadelige mængder af olier, syrer, alkalier, salte, organisk materiale eller andre bestanddele, som kan være skadelige for betonen eller armeringen.

3.4.3 Vand, som ikke er "drikkeligt" (= vandværksvand), må ikke anvendes til beton, medmindre følgende er opfyldt.

Mørtel-terninger, fremstillet med "ikke drikkeligt" vand (dvs. vand, som ikke er vandværksvand eller tilsvarende) skal have en 7 og 28 døgns styrke, som er den samme eller er mindst 90% af styrken af tilsvarende terninger fremstillet med drikkevand (vandværksvand).

Sammenligningen af styrker skal foregå på mørtler, som er identiske med undtagelse af støbevandet, og foretages efter ASTM C 109.

I Japan mellem 1970 og 1971 udstedte den japanske regering mange regulativer og love i et forsøg på at få kontrol på udledning af industrispildevand og deponering af affald.

Det daværende japanske betoninstitut (Japan Concrete Institute JCI) etablerede en forskningsgruppe i 1973 på opfordring af "Cement Association of Japan" og "Japan National Ready-mixed Concrete Association", som skulle undersøge muligheden for genbrug af spildevand fra færdigbetonfabrikker.

Forskningsgruppen udførte i perioden 1973-1975 en hel række forsøg med genanvendelse af "slamvand" som blandevand til ny beton.

Forskningsgruppens undersøgelse førte til, at Japanese Industrial Standards JIS A 5308 (ready mixed concrete) vedrørende vandkvalitet til betonfremstilling blev modificeret. Kravet til blandevand blev nu: "Blandevand til betonfremstilling må ikke indeholde mere end en bestemt mængde stoffer, som kan være skadelig for betonen, fx olie, syre, salte og organisk materiale".

Tidligere stod der i normen, at blandevandet skulle være rent, dvs. en kvalitet som vandværksvand. I 1976 udarbejdede Japan National Ready-mixed Concrete Association i alt 6 standarder for anvendelse af slamvand til beton.

Disse undersøgelser betød sammen med den ændrede normtekst og de nye standarder, at langt flere japanske færdigbetonfabrikker forsøgte sig med genbrug af slamvand. I 1979 anvendte mere end 10% af samtlige japanske færdigbetonfabrikker slamvand til betonfremstilling.

I Vesttyskland har situationen næsten været den samme som både i Japan og USA. I starten af 1970'erne iværksatte man en række undersøgelser omkring genbrug af friske betonrester, herunder anvendelsen af slamvand til ny beton.

Undersøgelserne blev bl.a. finansieret af Ministeriet for forskning og Teknologi. I store træk fik man i de Vesttyske undersøgelser de samme resultater som i Japan og USA. Imidlertid har det tilsyneladende ikke ført til ændringer af den vesttyske betonnorm. Dette skyldes, at der åbenbart i forvejen findes muligheder i normen for at anvende slamvand som blandevand.

I DIN 1045 "Beton- und Stahlbetonbau" står der i afsnit 6.4: "Støbevand" (blandevand): Som blandevand er det i naturen forekommende vand egnet, dersom det ikke indeholder bestanddele, der indvirker skadeligt på betonens hærdning (afbinding) samt andre af betonens egenskaber eller ødelægger armeringen.

I den vesttyske tilslagsnorm DIN 4226, blatt 1 "Zuschlag für Beton" findes i afsnit 7.6.1 et krav til mængden af opslembare bestanddele. Kravet til betonsand (0-4 mm) max. 4 vægt-% opslembare bestanddele, dvs. partikler med en max. kornstørrelse på 0,063 mm.

Omregnet til en normalbeton med et sandindhold på ca. 750 kg svarer det til et indhold af max. 30 kg opslembare bestanddele pr. m³ beton, hvilket omregnet til vægt-% af blandevandet svarer til et sted mellem 15 og 25%. Dette krav i tilslagsnormen lægger således normalt ingen begrænsning på anvendelsen af slamvand med op til 5-10 vægt-% opslemmede bestanddele. Kun betonsand med højt lerindhold får således indflydelse på brugen af slamvand som blandevand.

5. UNDERSØGELSER OG FORUDSÆTNINGER

5.1 Forudsætninger

De betonteknologiske undersøgelser har været rettet mod at undersøge, hvilken indflydelse støbevand/blandevand, som indeholder op til ca. 15 vægt-% opslemmede bestanddele i form af cementpartikler, flyveaske, mikrosilica og finsand, har på såvel den friske som den hærtnede betons egenskaber.

Første del af projektet er foregået på Teknologisk Institut, hvor der er foretaget laboratorieforsøg med "kunstigt" fremstillet slamvand. Anden del er foregået hos NF Beton, hvor der er foretaget en række praktiske forsøg under produktionsbetingelser på genbrugsanlægget.

Vores forsøgsrække blev baseret på baggrund af resultaterne fra et grundigt litteraturstudium af tidligere udenlandske erfaringer og undersøgelser. Her skal kort redegøres for valget af parametre, som indgik i vores betonsammensætninger:

Laboratorieforsøg

<u>Cementtyper:</u>	Rapidcement og standardcement med flyveaske.
<u>Slamsammensætning:</u>	Kun cement og ingen finsandsandel.
<u>Vandcementforhold:</u>	0,55, enkelte forsøg med 0,70.
<u>Sætmål:</u>	Udgangspunkt ca. 80-160 mm.
<u>Tilsætningsstoffer:</u>	Luft- og plastificeringsmidler.
<u>Slamkoncentration:</u>	Op til ca. 15 vægt-% af blandevandet.
<u>Sten:</u>	Et søstensprodukt (ca. 1.000 kg/m ³).
<u>Sand:</u>	Et søsand og et bakkesand (ca. 800-900 kg/m ³).
<u>Cementindhold:</u>	Ca. 275 - 300 kg/m ³ .
<u>Slammets alder:</u>	> 8 døgn.
<u>Puzzolaner:</u>	Flyveaske fra standardcementen samt enkelte forsøg med mikrosilica, som indgår såvel i betonsammensætningen som slamsammensætningen.

Med hensyn til cementtypens indflydelse på genbrugsbetonens egenskaber har bl.a. vesttyske undersøgelser vist, at der tilsyneladende ikke er nogen forskel mellem forskellige Portland cementer (rapid-standard-hvid- og lavalkalicement). Dog viser brugen af slaggecement (højovns-slaggecement) en række negative effekter i genbrugsbetonen. Vi har derfor i vores undersøgelser kun anvendt hhv. rapid og standardcement med flyveaske, to af de mest anvendte cementtyper her i landet.

Vi har valgt en slamsammensætning, der udelukkende består af en cementandel, enten fremstillet af rapid eller standardcement.

De vesttyske og japanske undersøgelser har nemlig vist, at jo større cementandel i slammet, jo større indvirkning har slammet på genbrugsbetonens egenskaber.

Vandcementforholdet for genbrugsbetonen er valgt til 0,55, svarende til beton i moderat miljøklasse. Vesttyske undersøgelser viser, at effekten af slamtilsætning på genbrugsbetonens egenskaber daler med stigende v/c-forhold. De eventuelle ændringer i såvel den friske som den hærtnede genbrugsbetons egenskaber må derfor forventes at være mindre jo højere vandcementforhold.

Sætmålet er ud fra samme betragtninger som for vandcementforholdet valgt til ca. 80-160 mm, idet jo mere flydende den friske beton er, jo mindre indvirkning har slamtilsætningen på fx sætmål.

Med hensyn til tilsætningsstoffer har vi af praktiske årsager været nødt til at begrænse os til valget af en type luftindblandingsmiddel og et plastificeringsmiddel, vel vidende at dette ikke giver os et fyldestgørende indtryk af tilsætningsstoffernes eventuelle indvirkning på genbrugsbetonens egenskaber. Ingen af de udenlandske undersøgelser har nemlig behandlet dette emne særligt grundigt.

Slamtilsætningen er valgt til mellem 0 og ca. 15 vægt-%. Slamkoncentrationerne er i alle vores forsøg opgivet som vægt-% af blandevandet. Oprindeligt havde vi egentligt valgt at opgive koncentrationen i vægt-% af cementvægten, idet de fleste udenlandske undersøgelser har valgt denne angivelse. Dette forklarer de noget "skæve" koncentrationer, idet fx 7,3 vægt-% af blandevandet svarer til ca. 4% af cementvægten ved et vandcementforhold på 0,55.

Som tilslagsmaterialer anvendte vi et søstensprodukt, klasse M, og to sandmaterialer, hhv. et søsand, klasse M, og et bakkesand, klasse P. Fillerindholdet i bakkesandet var ca. 10-15% og i søsandet ca. 5-10%. Af praktiske og ressourcemæssige årsager valgte vi at fastholde sand- og stenindholdet i genbrugsbetonen såvel som i referencebetonen i alle blandeserierne.

Cementindholdet valgte vi til ca. 275 kg/m³ såvel i genbrugsbetonen som referencebetonen.

Vi valgte "kunstigt" fremstillet slam med en alder på minimum 7-8 døgn, idet specielt de vesttyske og japanske undersøgelser viste, at de negative effekter, slamtilsætningen eventuelt havde på genbrugsbetonen var størst, jo ældre slammet var. Dog var der ingen synderlig forskel mellem slam med en alder på 7 døgn eller ældre. Slam med en alder på fx 1-2 døgn kunne til gengæld have en positiv effekt på fx styrkeudviklingen. Ved gennemsnitsbetragtninger over genbrugsanlægget hos NF Beton kunne vi regne os frem til, at slammet ville have en gennemsnitlig opholdstid i slambassinet på ca. 5-7 døgn under normale produktionsbetingelser.

Med hensyn til puzzolantilsætning (mikrosilica) kunne der af ressourcemæssige og tidsmæssige årsager kun gennemføres enkelte forsøg. Der foreligger ingen udenlandske erfaringer eller undersøgelser med genbrugsbetoner, der indeholder puzzolaner i form af mikrosilica eller flyveaske. Vi har derfor kun et meget sparsomt grundlag for at vurdere slamtilsætningens (slam med og uden mikrosilica) betydning for genbrugsbetonens egenskaber.

Generelt set har vi forsøgt at sammensætte såvel beton (reference- og genbrugsbeton) som slam på en sådan måde, at vi opnår de maksimale negative (evt. positive) effekter ved slamtilsætning, samtidig med at vi bruger en beton med en typisk sammensætning (beton til miljøklasse M).

Praktiske forsøg hos NF Beton

I forsøgsrækken, udført på NF Betons genbrugsanlæg i Helsingør, valgte vi typiske betonsammensætninger (standard- og/eller programbetoner) med vandcementforhold på mellem ca. 0,55 og 0,80. Vi havde generelt langt færre muligheder for at ændre parametrene for såvel slamsammensætning og koncentration som betonsammensætningen, hvad angår tilslag, cementtyper og tilsætningsstoffer.

I hver forsøgsserie indgår derfor kun to blandinger, en referencebeton uden slamtilsætning samt en "genbrugsbeton" med en given slamtilsætning, svarende til den pågældende dags slamkoncentration i slambassinet. Slamkoncentrationer varierer derfor ikke meget, mellem ca. 5 og 8 vægt-% af blandevandet.

Dette giver os dog en god fornemmelse af hvilken betydning slamtilsætningen har for almindelige standardbetoner/programbetoner m.m. De praktiske forsøg viser da også, at slamtilsætninger har betydelig mindre effekt på såvel den friske som den hærtnede betons egenskaber i forhold til det, laboratorieforsøgene umiddelbart viste.

Generelt

Når der i denne rapport ofte refereres til fx beton/mørtel blandet på TI-B, betyder dette, at betonen/mørtelen er fremstillet i laboratoriet på Teknologisk Institut, Byggeteknik og hvor eventuelle prøvninger ligeledes er foretaget.

5.2 Oversigt over prøvninger foretaget på Teknologisk
Institut af udvalgte slam- og referencebetoner/mørtler

Frisk beton/mørtel

- Luftindhold
- Sætmål
- Densitet
- Afbinding
- Bleeding

Hærdnet beton/mørtel

- 28 døgns trykstyrke
- Styrkeudvikling
- Bøjningstrækstyrke
- E-modul
- Svind
- Luftporeanalyse
- Vedhæftning
- Krakelering
- Vandopsugning
- Strukturanalyse
- Kulør

5.3 Oversigt over prøvninger foretaget hos NF Beton,
Helsingør på udvalgte slam- og referencebetoner/
mørtler samt slamvand

Frisk beton/mørtel

- Luftindhold
- Luftindhold som funktion af tiden
- Sætmål
- Sætmål som funktion af tiden
- Densitet
- Densitet som funktion af tiden
- Afbinding

Hærdnet beton/mørtel

- 28 døgns trykstyrke
- Styrkeudvikling
- Strukturanalyse
- Luftporeanalyse

Slamvand

- Slamkoncentration
- Chloridindhold
- pH
- Tilsætningsstoffer
- Slamsammensætning
- Alkaliindhold (Na^+ , K^+)

6. UNDERSØGELSE AF SLAM OG SLAMVAND

I undersøgelserne er der i princippet brugt to "hovedtyper" af slam. Ved de praktiske forsøg hos NF Beton blev slam (slamvand) fra genbrugsanlægget anvendt. Dette slam var "oparbejdet" af betonrester med vidt forskellig sammensætning. Anlægget havde ved forsøgenes start været i brug mere end et år, og slammene måtte derfor forventes bl.a. at indeholde cementrester (mere eller mindre hydratiserede) stammende fra lav-alkali cement, rapidcement og standardcement med flyveaske, finsand (såvel fra bakkesom søsand) samt i slamvandet tilsætningsstoffer i form af luft- og plastificeringsmidler.

I laboratorieforsøgene blev anvendt "kunstigt" fremstillet slam. Dette blev gjort for at kunne styre slamsammensætningen. Derudover var det heller ikke praktisk gennemførligt at anvende slam fra anlægget hos NF Beton til laboratorieforsøgene.

6.1 Fremstilling af TI-B-slam

Slammet i slambeton, der er blandet, støbt og prøvet på TI-B, er fremstillet som ren cementslam.

Cementslammet blev sammensat af Rapidcement og vand i portioner af 45 kg. 15 kg Rapidcement er hældt i et 100 liters tøndeformet blandekar, indeholdende 30 liter vand, under hurtig omrøring med en kraftig boremaskine påmonteret en stor blandesnegl.

Efter blandingen af cement og vand henstod blandingen under kraftig, uafbrudt omrøring i 4 døgn.

Efter 2 døgn bundfældning er overfladevandet fjernet, indtil en omrørt slamkoncentration på ca. 80 vægt-% blev opnået.

Slamkoncentrationen i slamopløsningen er målt som vægtprocent tørslam af betonens vandindhold fra slam, tilslagsmaterialer og tilført blandevand.

Der forekommer betonblandinger, hvor både slammene og betonen hver især er tilsat additiver. Tilsætningen af additiver i slammene blev allerede foretaget i blandefasen (før 4 døgn omrøring). Mængden af cement, vand og additiver i slammene blev sammensat med en koncentration som den færdigblandede slambeton, og tilsvarende blev koncentrationen af additiv (additiv/cement) sammensat med den i slambetonen ønskede koncentration. Slamopløsningen blev delt i slam og vand, der hver især blev tilsat betonen, hvor slamvandet alene udgjorde det tilsatte blandevand.

Hvor mikrosilica er tilsat slammet, er denne tilsætning foretaget som beskrevet for slam tilsat additiver.

Slammet eller slamvandet blev tilsat blandevandet, således at man kunne opnå en slamkoncentration i blandevandet på mellem ca. 0 og 15% (vægt-%).

6.2 Slam i slambeholder hos NF Beton

I genbrugsanlæggets slambassin blev der først foretaget en vurdering af slamkoncentrationens variation fra lige under vandoverfladen til umiddelbart over bunden såvel lige før som lige efter omrøring.

Måling af slamkoncentration i september 1987 blev foretaget ved udtagning af slamprøver (ca. 1 liter) umiddelbart før og efter mekanisk omrøring i slambeholder på NF-Beton.

Slamprøver blev udtaget i følgende tre horisontale niveauer i slambeholderen:

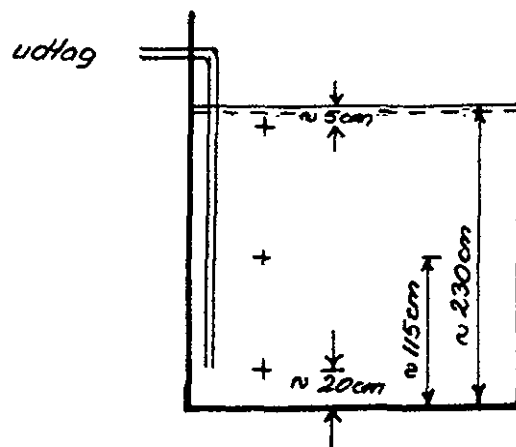
- Ca. 20 cm over bunden
- I midten
- Ca. 5 cm under slamvæskens overflade.

Væskehøjden i slambeholderen på prøvningstidspunktet var 2,30 m over beholderens bund.

Mekanisk omrøring i slammet i 3 min. med pause på 8 min.

Resultat

	Slamkoncentration		
	Bund	Midte	Top
Umiddelbart før omrøring	7,6%	7,8%	4,4%
Umiddelbart efter -	8,7%	9,3%	9,0%



Figur 3
 Skitse over prøveudtagningsniveauer i slambassin

Vurdering

Slamkoncentrationens variation fra ca. midten til lige over bunden af bassinet er relativt lille, når man betragter koncentrationerne henholdsvis lige før og lige efter omrøring.

Ved bunden, hvor udtag for blandevand er placeret, synes der ikke at være den store forskel (ca. 1 vægt-%) i slamkoncentrationen, hverken lige før såvel som lige efter omrøring. Dette hænger sammen med dels den relative korte pause mellem hver omrøring, dels de opslemmede partiklers relativt langsomme faldhastighed i slamvandet.

Chloridindhold i slam/slamvand

På NF Betons genbrugsanlæg blev der i slambassinet udtaget prøver af slamvandet til måling af chloridindholdet. Prøverne blev udtaget efter, at anlægget havde været i drift i mere end et halvt år. Chlorid i slamvandet kommer fra spildbetonen, hvor den fx kan komme fra tilslagsmaterialer (sømaterialer), tilsætningsstoffer, cementen, blandevandet og evt. puzzolaner.

Prøvningsmetode: TI-89. Hærdnet betons chloridindhold og DS 423.28. Hærdnet Beton, Chloridindhold.

Chloridindhold er målt på slam udtaget fra slambeholder på NF-Beton den 22/2, 1/3, 9/3 og 18/3 1988.

Slammet blev udtaget ca. 20 cm over slambeholderens bund i niveau med slamudtaget umiddelbart efter den periodiske omrøring.

Resultat

<u>Prøve nr.</u>	<u>Indhold af vandopløselige chlorider, % (TI-B)</u>
1	0,001
2	0,001
3	0,002
4	0,001

<u>Prøve nr.</u>	<u>Indhold af syreopløselige chlorider, % (DS 423.28)</u>
1	0,007
2	0,008
3	0,009
4	0,009

Vurdering

Chloridindholdet i slammet/slamvandet er lavt. Til sammenligning kan det nævnes, at det fundne chloridindhold generelt er lavere eller væsentligt lavere end fx de chloridindhold, man kan finde i såvel søsand som søsten. Det fundne chloridindhold giver således ingen anledning til bekymring mht. anvendelse af slamvand som blandevand til ny beton.

Slammets sammensætning

Slammets egenskaber og sammensætning fra NF Beton blev undersøgt mht. cement- og finsandsandel, densitet, Na₂O ækv.-indhold og pH.

Cement- og finsandsandel

En repræsentativ slamprøve blev udtaget og vådsigtet på 4,2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,074 mm standardsigter. Sigteresterne blev derefter undersøgt i et polarisationsmikroskop.

Resultat

Sigteresterne fra sigte 0,074 mm og opefter (til og med 1 mm) indeholdt næsten udelukkende sandskorn. På de fine sigter sås dog enkelte cementklumper. (Der fandtes ingen sigterester på 2 og 4 mm sigterne). Gennemfaldet på 0,074 mm bestod til gengæld næsten udelukkende af mere eller mindre hydratiserede cementpartikler, flyveaskepartikler og grovkornede calciumhydroxidkrystaller (Ca(OH)₂).

Sigteanalysen kombineret med mikroundersøgelsen viste, at slammet består af:

ca. 20-25% af finsand

ca. 75-80% af cement- og flyveaskepartikler.

Slammets densitet og Na₂O ækv.-indhold

4 prøver slam blev undersøgt hos Aalborg Portland, CtO for densitet og total alkaliindhold med følgende resultat:

Resultat

Udtagningsstidspunkt	Densitet	Total alkali (%)		
		K ₂ O	Na ₂ O	Na ₂ O ækv.
26-05-1987	2334	0,56	0,38	0,75
02-06-1987	2286	0,53	0,41	0,76
04-06-1987	2453	0,52	0,59	0,93
10-06-1987	2200	0,57	0,38	0,76

Slamvandets pH-værdi

Igennem det første driftsår er slamvandets pH løbende blevet målt med en pH-elektrode.

Resultaterne af disse målinger viser:

Slamvandets pH varierer kun meget lidt. Inden for det sidste år er den højeste målte pH-værdi 13,7 og den laveste 12,0. Slamvandet har altså næsten den samme pH-værdi som porevæsken i en almindelig beton.

Vurdering

Slammets alkaliindhold (ca. 0,75 - 0,90% Na₂O ækv.) er som ventet, idet spildbetonens cementandel består af en blanding af mere eller mindre hydratiserede cementpartikler fra såvel standardcement med flyveaske, rapidcement og lavalkalicement.

Alkaliindholdet i den tilsatte slammængde bør således medregnes i genbrugsbetonens samlede alkaliregnskab, også selvom den samlede slamtilsætning pr. m³ beton sjældent overstiger 15 kg.

Slammets densitet er fundet til ca. 2300 kg/m³, hvilket jo er noget lavere end fx naturlige tilslagsmaterialers densitet, som ofte ligger på 2500-2700 kg/m³. Men med de relative små mængder slam, der tilsættes, kan det ikke forventes, at slammets relative lave densitet influerer på den friske genbrugsbetons densitet.

Slammet/slamvandets høje pH-værdi (ca. 12-14) bør ikke give anledning til overvejelser mht. brugbarheden af slamvand som blandevand. Det kan muligvis i nogle tilfælde ligefrem udgøre en fordel, at blandevandet allerede ved betonblandingen har en høj pH-værdi, fx ved neutralisering af humusstoffer i tilslagsmaterialerne.

6.3 Spektrofotometisk analyse af organiske tilsætningsstoffer i cementslam

Baggrund

I forbindelse med anvendelsen af slamvand som blandevand til ny beton, har vi undersøgt tilstedeværelsen af eventuelle rester af tilsætningsstoffer i slamvandet.

Eventuelle rester af tilsætningsstoffer kunne muligvis have en effekt på genbrugsbetonens egenskaber som luftindhold, luftporestruktur, bearbejdelighed og mikrostruktur. På denne baggrund er der foretaget bestemmelser af tilsætningsstofkoncentrationen i det anvendte slamvand fra genbrugsanlægget hos NF Beton. Fra NF Betons side er det blevet oplyst, at hovedparten af den producerede færdigbeton på deres anlæg indeholdt plastificerings- og/eller luftindblandingsstoffer, hvilket i så fald også måtte gælde spildbetonen.

Tilstedeværelse af visse tilsætningsstoffer i blandevandet kan identificeres ved ultraviolet spektrofotometrisk analyse.

Metode

Tilstedeværelsen af tilsætningsstoffer blev undersøgt ved brug af et Varian 2300 UV-spektrofotometer. Dette instrument har som største følsomhed fuld skala 0-0,01 i absorption.

Slamprøverne blev centrifugeret i en ultracentrifuge ved 2800 g i 5 minutter, hvorefter absorptionsspektrene blev målt på hver af de udtagne slamprøver, ufortyndet, i bølgelængdeintervallet 180-340 nm.

Målinger udført

Absorptionsspektre blev målt i bølgelængdeintervallet 180-340 nm på de på NF-beton benyttede tilsætningsstoffer: BV 40, Conplast 316 AEA, Sika-Retarder og Sika-Accelerator til opnåelse af de typiske spektre (Figur 1-6). De opnåede spektre blev udført med følgende fortyndingsgrad:

Tilsætningsstof	Fortynding
BV 40	1000x
Conplast 316	100x
Sika Retarder	1% w/w opløsning
Sika Accelerator	1% w/w opløsning

De følgende slamprøver blev analyseret:

Slam udtaget fra NF-Beton den 22-02-1988
01-03-1988
09-03-1988
18-03-1988

Slam blandet på TI-B den 14-01-1988 udtaget den 17-01-1988 indeholdende 14,5% w/w cementslam

Resultater

Det er af forhandlerne af ovennævnte tilsætningstoffer oplyst, at de er baseret på følgende kemi:

BV 40	Modificeret lignosulfonat, ca. 40% w/w tørstof (aktiv komponent)
Conplast 316 AEA	Vinsolresin, ca. 10% w/w tørstof (aktiv komponent)
Sika-Retarder	Fosfat-baseret, ca. 25% w/w tørstof
Sika-Accelerator	Calciumformiat, ca. 40% w/w tørstof (aktiv komponent)

Til belysning af de maksimale mængder af tilsætningsstoffer, der kan være til stede i vandet fra genbrugs-cementslam, kan der udføres følgende beregning:

Det antages, at vi har en typisk beton svarende til fx 300 kg/m³ cement w/w = 0,5, hvortil doseres den af NF Beton typisk benyttede mængde tilsætningsstoffer, der indeholder mængder af de aktive komponenter iflg. ovenstående. Det antages desuden, at den totale mængde af tilsætningsstof befinder sig i vandfasen. På dette grundlag vil den maksimale koncentration af tilsætningsstofferne i vandet i udgangs-betonen, ufortyndet, kunne forventes at være:

BV 40, normal dosering på NF-Beton 0,6% w/w af cementvægten:

(300 kg x 0,006 x 0,4 x 1000 g/kg/150 l)
ca. 4,8 g/l aktiv komponent

Conplast 316 AEA, normal dosering på NF-Beton 0,6-1,5 ml aktiv komponent pr. 100 kg cement:

(300 kg/100 kg x 1,5 ml x 1 g/ml/150 l)
ca. 0,03 g/l aktiv komponent

Retarder, doseret maksimalt 1% w/w af cementvægten:

(300 kg x 0,01 x 0,25 x 1000 g/kg/150 l)
ca. 5,0 g/l aktiv komponent

Accelerator, doseret maksimal 1% w/w af cementvægten:

(300 kg x 0,01 x 0,4 x 1000 g/kg/150 l)
ca. 8,0 g/l aktiv komponent

Under processen med udvaskning af beton fra en betonkanon benyttes store mængder af vand til en fortynding, således at cement-delen udgør 5-10% w/w af slammet. Antages det, at cement-delen udgør 5% w/w af cementslammet haves en fortyndingsgrad for den typiske beton på:

$(300 \times 100/5 \text{ l} - 300 \text{ l})/150 \text{ l} = \text{ca. } 38 \text{ x.}$

En sådan fortynding af den ovennævnte beton og de angivne doseringer vil give følgende slutkoncentrationer i vandet:

	Aktiv komponent	Tilsvarende dosering af tilsætningsstof i vandet
BV 40	ca. 0,13 g/l	ca. 0,03% w/w
Conplast 316	ca. 0,001 g/l	ca. 0,001% w/w
Sika Retarder	ca. 0,13 g/l	ca. 0,05% w/w
Sika-Accelerator	ca. 0,21 g/l	ca. 0,05% w/w

Man vil ikke forvente, at evt. tilsætningsstoffer, doseret i ovenstående mængder, vil have nogen effekt ved genbrug.

Ved adsorption af tilsætningsstoffer vil den største del af tilsætningsstoffet ydermere være irreversibelt adsorberet på cement-overfladen, således at den mængde, der befinder sig i vandfasen, er endnu mindre end antaget ovenfor, og mængden af tilsætningsstoffer efter fortynding må derfor også antages at være endnu mindre end ovenfor beregnet.

Til yderligere belysning af dette udførtes UV-spektrofotometri af de på fabrikken benyttede tilsætningsstoffer og udtagne vandprøver. Opløseligheden på målingen af absorbansen er med det benyttede instrument 0,01 som fuld skala, og metoden må derfor betragtes som meget sensitiv over for tilstedeværelsen af evt. tilsætningsstoffer.

Hver vandprøve er analyseret ved to følsomhedsniveauer. Følsomheden 0-4 blev benyttet til at få et overblik over hele spektret, og største følsomhed 0-0,01 blev benyttet til at undersøge, om mindre toppe skulle befinde sig i bølgelængdeintervallet 200-340 nm.

Absorbansen er udtryk for koncentrationen af tilstedeværelsen af tilsætningsstoffer ifølge Lambert-Beer's lov (Fritz og Schenk, 1979), således at absorbansen er lineært voksende med koncentrationen. Vurderet ud fra spektrene i figur 2 og figur 4 er detektionsgrænserne af størrelsesordenen $2,0 \times 10^{-4}$ g/l for BV 40 og $2,0 \times 10^{-3}$ g/l Conplast 316. Sika-Retarder og Sika-Accellerator kan ikke identificeres ved den benyttede metode.

Hvis der var anseelige mængder af tilsætningsstoffer til stede i de undersøgte slamprøver skulle man forvente at se tydelige peaks på de optagne spektre ved følsomheden 0-0,01. Da dette ses ikke at være tilfældet, må det derfor konkluderes, at der ikke med den ovenfor beskrevne målemetode kan påvises BV 40 eller Conplast 316 i slamvandet.

Vurdering

På baggrund af de spektrofotometriske analyser må vi vurdere, at mængden af eventuelle tilsætningsstoffer er så lille, at dette ikke influerer på genbrugsbetonens egenskaber. En betragtning, som bliver bekræftet af de beton-teknologiske prøvninger.

7. UNDERSØGELSER AF DEN FRISKE BETONS EGENSKABER

7.1 Luftindhold, sætmål og densitet af frisk beton

7.1.1 Beton blandet på TI-B

Beskrivelse

Der er udført en serie betonblandinger med varierende slamtilsætning (fra 0 til ca. 14,5 vægt-%) for at undersøge slamtilsætningens indflydelse på den friske betons luftindhold, sætmål og densitet. Sætmålet bruger vi som vikarierende parameter for betonens bearbejdelighed.

Prøvningerne blev udført iht. prøvningsmetoderne:

DS 423.15, Betonprøvning. Frisk beton. Luftindhold, 1. udg.

DS 423.12, Betonprøvning. Frisk beton. Konsistens.
Sætmål, 2. udg.

DS 423.16, Betonprøvning. Frisk beton. Densitet, 1. udg.

Blanding: Indledende tørblanding, indtil ensartet kulør af blandingen er opnået, og afsluttende blanding i 90 sek. efter tilsætning af blandevæske. Dog er blandetiden forøget med 4 min. ved tilsætning af plastificeringsmiddel. Der er anvendt tvangsblander med 50 liters blandekar.

Prøveudtagning: Til måling af luftindhold og densitet er udtaget 1 prøve af hver betonblanding. Til sætmål er udtaget 1 prøve af hver betonblanding.

Betonsammensætningen for de aktuelle blandinger (reference og slambetoner)

Cement (rapid- eller flyveaskecement) ..:	275 kg/m ³
Vand (ledningsvand med eller uden slam):	151 l/m ³
Sand (sø- eller bakkesand)	875 kg/m ³
Sten, 8-16 mm, søsten	1000 kg/m ³
Vandcementforhold	0,55
Evt. luftindblandingsmiddel (Doseka) ...:	
Evt. plastificeringsmiddel (BV-40) ...:	
Slam (rapid eller flyveaskecement):	0-14,5 vægt% (af vand)
Sætmål forsøgt opnået mellem 80 og 160 mm.	

Resultater

Luftindhold og densitet

Hverken luftindholdet eller den friske betons densitet influeres tilsyneladende af en slamtilsætning på mellem 0 og ca. 15 vægt-% af blandevandet. Dette gælder for såvel luftindblandede som ikke luftindblandede betonblandinger.

I blandinger, hvor blandevandet muligvis kunne indeholde rester af såvel luft- som plastificeringsstoffer, kan der ligeledes ikke påvises forskelle i hverken luftindhold eller densitet mellem referencebetonerne og slambetonerne.

Sætmål

Den friske betons sætmål påvirkes i høj grad af slamtilsætning. Generelt for alle referencebetoner/slambetoner kan overslagsmæssigt konkluderes følgende: For hver 2 vægt-% slamtilsætning af blandevandet (ved $v/c = 0,55$) vil sætmålet mindskes med ca. 10 mm. Dette gælder dog kun for betoner med et oprindeligt udgangs-sætmål på ca. 80 - 160 mm.

Dog er der en klar tendens til, at sætmålstabet er størst i betoner, der i forvejen har et relativt højt fillerindhold, dvs. betoner med bakkesand i modsætning til betoner med søsand.

Eksempel:

Beton med rapidcement, søsten, søsand, ikke luftindblandet eller tilsat plastificeringsmiddel, vandcementforhold på 0,55 (se mængdemæssig sammensætning på forrige side).

Slamtilsætning Vægt-% (af vand)	Sætmål mm
0	120
3,6	100
7,3	80
14,5	40

Til sammenligning kan det nævnes, at for en tilsvarende referencebeton som ovennævnte, hvor blot søsandet var erstattet af bakkesand, viste sætmålet kun 10 mm. Dvs., at en udskiftning af det pågældende søsand med et (tilfældigt) udvalgt bakkesand medførte et større sætmålstab (fra 120 til 10 mm) end, hvad en slamtilsætning på næsten 15 vægt-% bidrog med.

7.1.2 Beton blandet på NF Beton

For at vurdere den faktiske indvirkning af slamtilsætningen i blandedevandet på den friske betons sætmål, luftindhold og densitet under normale produktionsforhold blev der udført en forsøgsserie på NF Betons genbrugsanlæg. De aktuelle betonsammensætninger i forsøgsserien fremgår af bilagsrapporten. Forsøgsrækken bestod af 10 sæt blandinger, hvor hver sæt bestod af en referenceblanding og en slamblanding.

Betontyperne indgik i NF Betons normale produktion og var standard- og/eller programbetoner (evt. specialbetoner) med og uden slamtilsætning, fremstillet med den dertil ønskede sammensætning og dertil hørende sætmål.

Blanding af beton samt måling af luftindhold, sætmål og densitet på den friske beton foretog NF Beton.

Slamtilsætning: Koncentration af slam som almindeligt anvendt på NF Beton på blandingstidspunktet.

Prøveudtagning: Til måling af luftindhold og densitet er udtaget 1 prøve af hver betonblanding. Til sætmål er udtaget 1 prøve af hver betonblanding.

Prøvning i henhold til DS 423.15, DS 423.12, DS 423.16.

Resultater

Luftindhold og densitet

Forsøgsserien udført på NF Betons anlæg viste som laboratorieforsøgene, at en slamtilsætning på mellem 0 og ca. 15 vægt-% ikke influerer på den friske betons densitet og luftindhold. Dette gælder for såvel luftindblandede som ikke luftindblandede betoner.

Sætmål

Sætmål influeres af slamtilsætning til blandevandet, men dog i langt mindre målestok og langt mere uforudsigeligt, end hvad vi fandt under laboratorieforsøgene. I 7 ud af 10 sæt blandinger (Et sæt = en reference- og en slamblanding) var der ingen forskel i sætmålet mellem referencebetonen og slambetonen. Slamkoncentrationerne lå på mellem ca. 4,6 og 7 vægt-%.

I et af blandingssettene var sætmålet i slambetonen større end i referencebetonen, medens der i de to sidste sæt blandinger var sket et markant sætmålstab i forbindelse med slamtilsætningen.

Fortløbende måling af sætmål, luft og densitet på frisk beton i op til 2 timer efter blanding

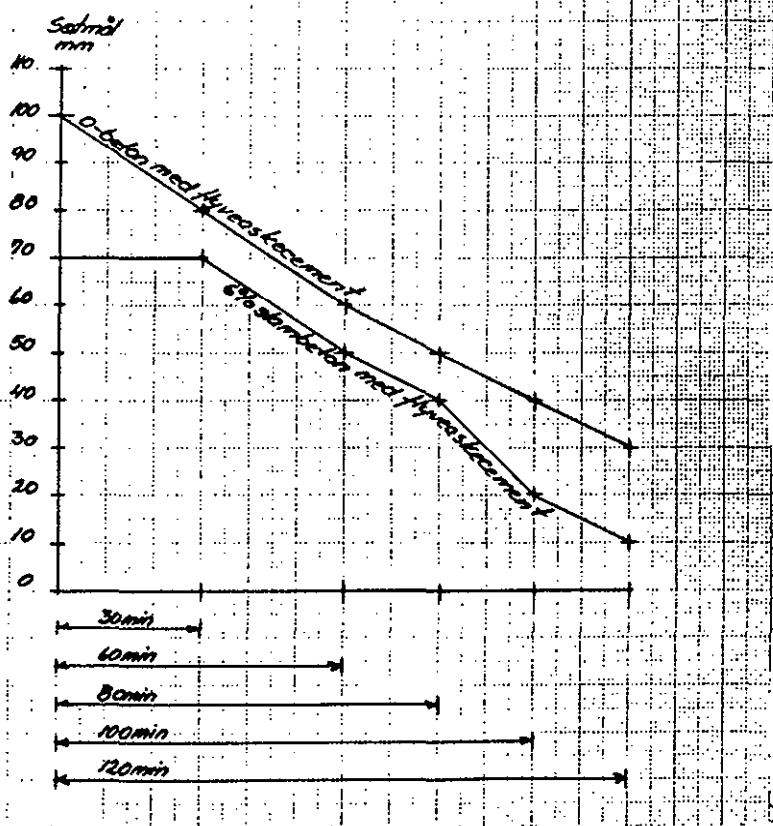
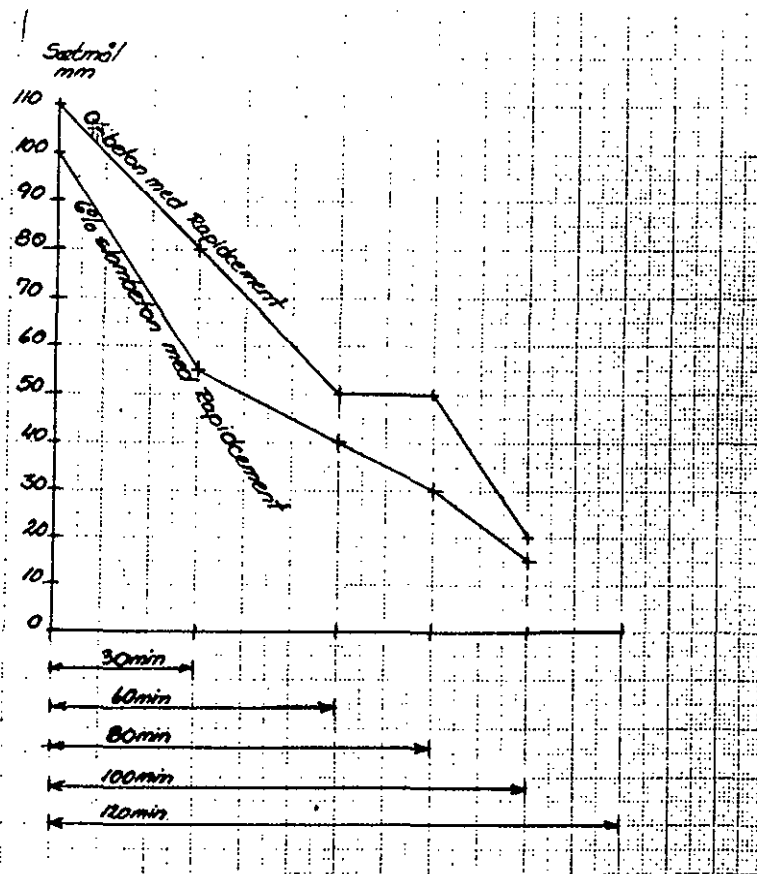
Fortløbende måling af sætmål, luft og densitet er målt på frisk beton med og uden slamtilsætning straks, 30 min. efter, 60 min. efter, 80 min. efter, 100 min. efter og 120 min. efter udtømning af blandet beton i rotervogn (betonkanon). Rotervognen roterede uafbrudt i 2 timer med en hastighed som under vejtransport med anførte tidsintervaller.

Blanding er foretaget af NF Beton. Prøveudtagning og prøvning er foretaget af TI-B.

Tilstræbt betonsammensætning pr. m³ beton:

Cement	275 kg
Søsand	875 kg
Sten, Gravilit	1.000 kg
Vand	151 kg
v/c-forhold	0,55
Lufttemperatur	18°C

Resultater



Vurdering

Vores undersøgelser har vist, at hverken den friske betons luftindhold eller densitet tilsyneladende influeres af en slamtilsætning til blandevandet på mellem 0 og ca. 15 vægt-%. Dette stemmer godt med tidligere japanske, vesttyske og hollandske undersøgelser.

Der er generelt en tendens til, at sætmålet mindskes med stigende slamtilsætning. Dog viser de fleste betonblandinger i praktiske forsøgsserier på NF Betons genbrugsanlæg ingen eller kun relativt små sætmålstab ved anvendelsen af blandevand med ca. 5-7 vægt-% slam. Ved laboratorieforsøgene fandtes ofte markante sætmålstab. En "uoverensstemmelse", som tilsyneladende også optræder i de udenlandske undersøgelser. Årsagen til disse (vores) "uoverensstemmelser" kan skyldes:

- a) Ved laboratorieforsøgene arbejdes der med slam med en slamsammensætning på 100% cementpartikler, mere eller mindre hydratiserede, hvorimod slamsammensætningen for slammet på NF Betons anlæg består af ca. 75-80% cementpartikler, flyveaske mv., og ca. 20-25% finsand. Det er i tidligere undersøgelser dokumenteret, at jo større finsandsandelen i slammet udgør, jo mindre indvirkning har slammet bl.a. på den friske betons egenskaber, herunder bearbejdeligheden (sætmålet).
- b) Under de praktiske produktionsforhold på NF Beton arbejdes der med relativt små slamkoncentrationer på mellem 4 og 7 vægt-%. Slammet indeholder ligeledes en del flyveaskepartikler, som kan have en positiv effekt på betonens bearbejdelighed.

Man bør først og fremmest huske på, at en slamkoncentration i blandevandet på mellem 5 og 7 vægt-% jo normalt kun vil bidrage med en slamtilsætning til en kubikmeter færdigblandet beton på ca. 8-9 kg. Der er alt i alt tale om relativt begrænsede tilsætninger af slam til betonerne, og man kan derfor ikke forvente de store forskelle i betonegenskaberne mellem referencebetonerne og slambetonerne.

7.2 Afbinding

7.2.1 Mørtel blandet på TI-B

Der er udført 2 prøveserier i laboratoriet for at undersøge slamtilsætningens indflydelse på betonens afbinding. I første prøveserie undersøges varierende slamtilsætnings indflydelse på afbindingstiden. Slamkoncentrationerne varierer fra 0 til ca. 15 vægt-% af blandevandet. Slammet er fremstillet af rapidcement.

I anden prøveserie anvendes slam fremstillet af såvel rapid- som standardcement med flyveaske. Der fremstilles to mørtler med hhv. 0 og 14,5 vægt-% tilsætning i blandevandet af hver type slam.

Ved betonens afbinding forstås den styrketilvækst, som bestemmes på mørtel under den indledende hærkning, normalt inden for 8 timer efter blandingen.

Mørtelens afbindingstid er dens alder ved indtrængningsmodstanden $3,5 \text{ MN/m}^2$.

$3,5 \text{ MN/m}^2$ betragtes som vibrationsgrænsen, dvs. det punkt i hærkningen, efter hvilket betonen ikke længere kan gøres plastisk ved genvibrering.

Prøvningsmetode: DS 423.27 Betonprøvning. Frisk beton. Afbinding, 1. udg.

Afbindingstid målt på cementmørtel med og uden slamtilsætning.

Blanding: Indledende tørblanding i 5 min. og afsluttende blanding i 2 min. i tvangsblender med 15 liters blandekar.

Måleudstyr: Soiltest pocket penetrometer.

Prøvning 1

Slamtilsætning: 3,6%, 7,3% og 14,5% cementslam til blandevandet.

Mørtelsammensætning: En mørtel som mørtel i beton med $v/c = 0,55$, 11 vægtdele Rapidcement til 35 vægtdele søsand.

Lufttemperatur ved prøvningens start og slutning = $19,5^\circ\text{C}$.

Mørtelens temperatur ved prøvningens start og slutning = 21°C .

Prøvning 2

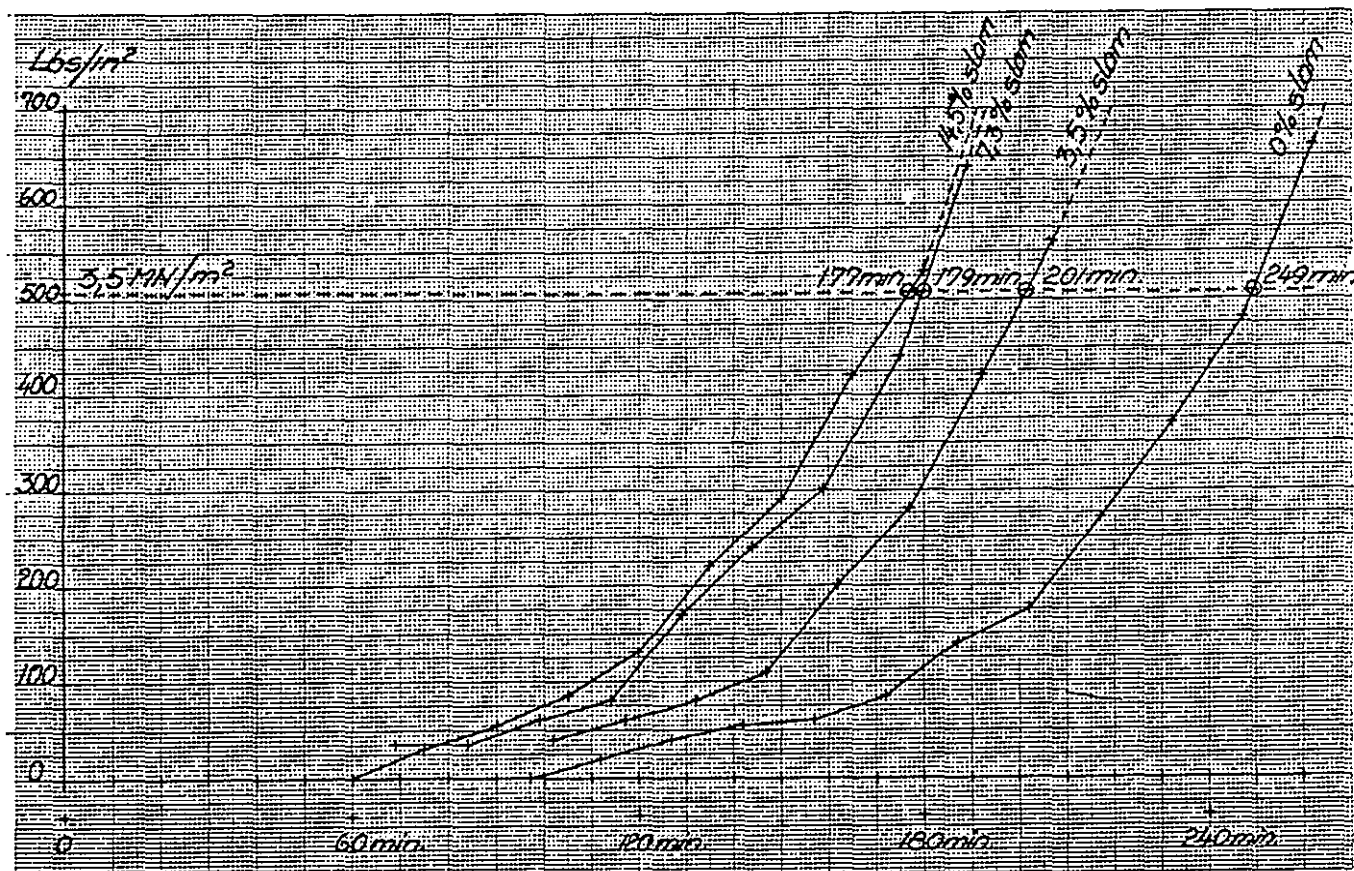
Slamtilsætning: 14,5% cementslam til blandevandet.

Mørtelsammensætning: En mørtel, sammensat som mørtelen under prøvning 1.

Resultater af prøvning 1

Afbindingstid ved $507 \cdot 614 \text{ lbs/in}^2 \sim 3,5 \text{ MN/m}^2$:

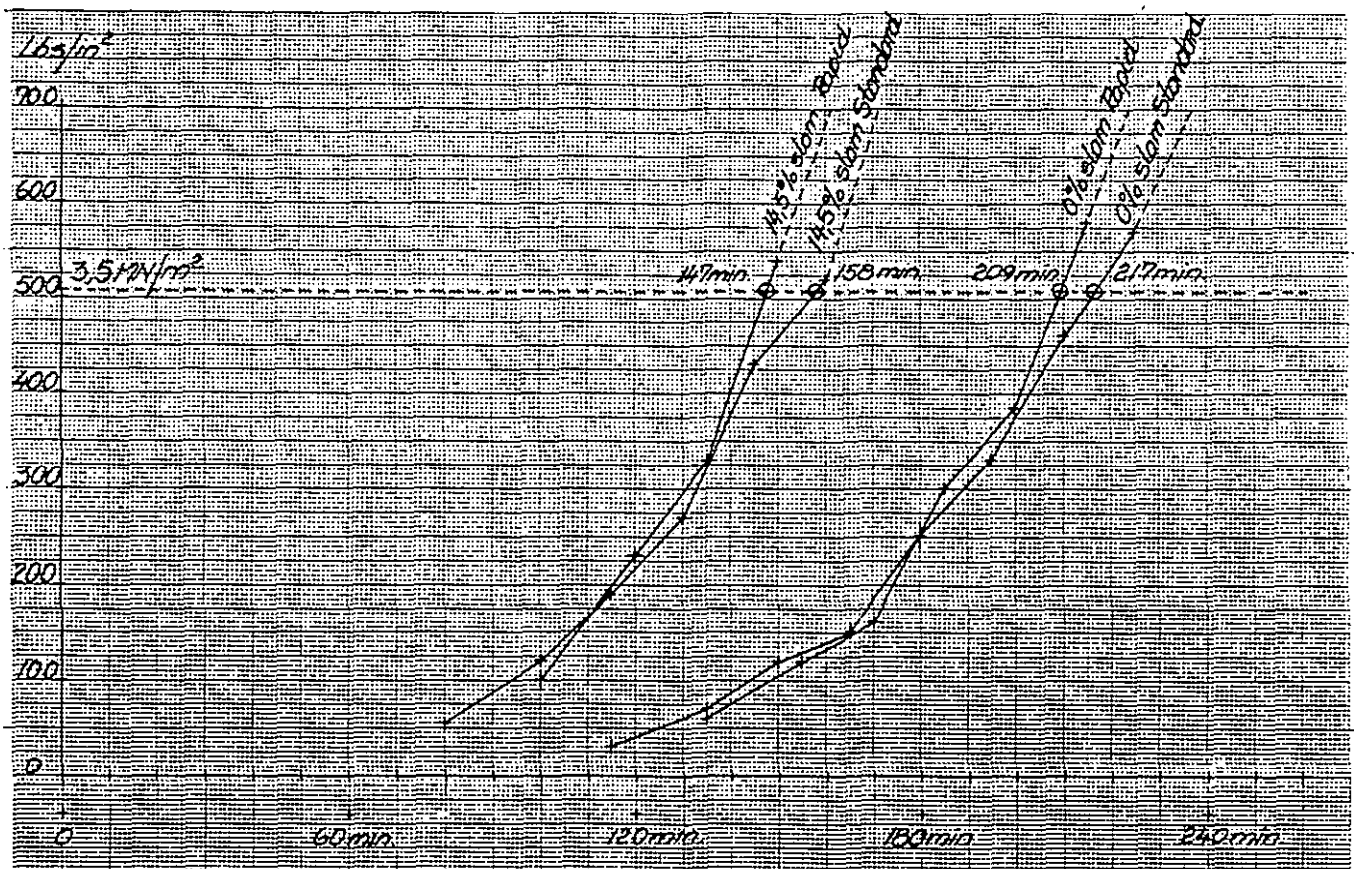
0-mørtel, Rapidcement	= 249 min. = 4 timer 9 min.
3,6% slammørtel, Rapidcement	= 201 min. = 3 timer 21 min.
7,3% slammørtel, Rapidcement	= 179 min. = 2 timer 59 min.
14,5% slammørtel, Rapidcement	= 177 min. = 2 timer 57 min.



Resultater af prøvning 2

Afbindingstid ved $507 \cdot 614 \text{ lbs/in}^2 \sim 3,5 \text{ MN/m}^2$:

O-mørtel, Rapidcement	= 209 min. = 3 timer 29 min.
14,5% slammørtel, Rapidcement	= 147 min. = 2 timer 27 min.
O-mørtel, flyveaskecement	= 217 min. = 3 timer 37 min.
14,5% slammørtel, flyveaskecement	= 158 min. = 2 timer 38 min.



Lufttemperatur ved prøvningens start og slutning = 21°C.

Mørtelens temperatur ved prøvningens start og slutning = 23°C.

Vurdering

Undersøgelserne viser, at afbindingstiden mindskes med stigende slamtilsætning i blandevandet.

Afbindingstiden er afkortet med ca. 1 time ved en slamkoncentration på 14,5 vægt-% af blandevandet. Der synes dog at være en klar tendens til, at afbindingstiden ikke afkortes (væsentligt) yderligere ved en slamtilsætning udover ca. 7,3 vægt-%. Dette ses af de afbildede resultater af prøvning 1. Der synes ikke at være nogen forskel i afbindingstiderne i relation til, hvilken cementtype der er anvendt til fremstilling af slammet.

7.2.2 Mørtel (beton) blandet på NF Beton

Blanding af beton foretog NF Beton.

Prøveudtagning og prøvning på stedet foretog TI-B.

Slamtilsætning: Koncentration af slam som almindelig anvendt af NF-Beton på blandingstidspunktet.

Prøveudtagning og prøvning i henhold til DS 423.17 med frasigtning af kornstørrelser over 8 mm.

Under ovenstående samarbejde mellem NF Beton og TI-B er foretaget prøvning på følgende betonblandinger (Pr. m³ beton):

	Uden slam	Med slam
<u>Beton A</u>		
Rapidcement	299 kg	298 kg
Søsand	795 kg	790 kg
Sten, søarter	1.100 kg	1.090 kg
Luftindblanding, Complast 316 AEA	0,27 kg	0,25 kg
Plastificerings- middel BV-40	0,58 kg	0,57 kg
v/c	0,54	0,53
<u>Beton B</u>		
Rapidcement	315 kg	315 kg
Søsand	225 kg	215 kg
Bakkesand	480 kg	480 kg
Sten, bakkearter	1.120 kg	1.130 kg
Luftindblanding, Complast 316 AEA	0,20 kg	0,26 kg
Plastificerings- middel BV-40	0,61 kg	0,63 kg
v/c	0,52	0,50

Resultater

Beton A, Rapidcement, søsand og søærter

Slamtilsætning: 6,8% slam til blandevandet. Luftindblandet og tilsat plastificeringsmiddel.

Lufttemperatur ved prøvningens start og slutning 20°C.

Betonens temperatur ved prøvningens start = 12°C.

Betonens temperatur ved prøvningens slutning = 19°C.

Måleudstyr: Soiltest pocket penetrometer.

Afbindingstid ved 507 · 614 lbs/in² ~ 3,5 MN/m²:

O-beton	=	331 min.	=	5 timer 31 min.
6,8% slambeton	=	301 min.	=	5 timer 1 min.

Beton B, Rapidcement, søsand, bakkesand og bakkeærter

Slamtilsætning: 7,1% slam til blandevandet. Luftindblandet og tilsat plastificeringsmiddel.

Lufttemperatur ved prøvningens start og slutning 20°C.

Betonens temperatur ved prøvningens start = 12°C.

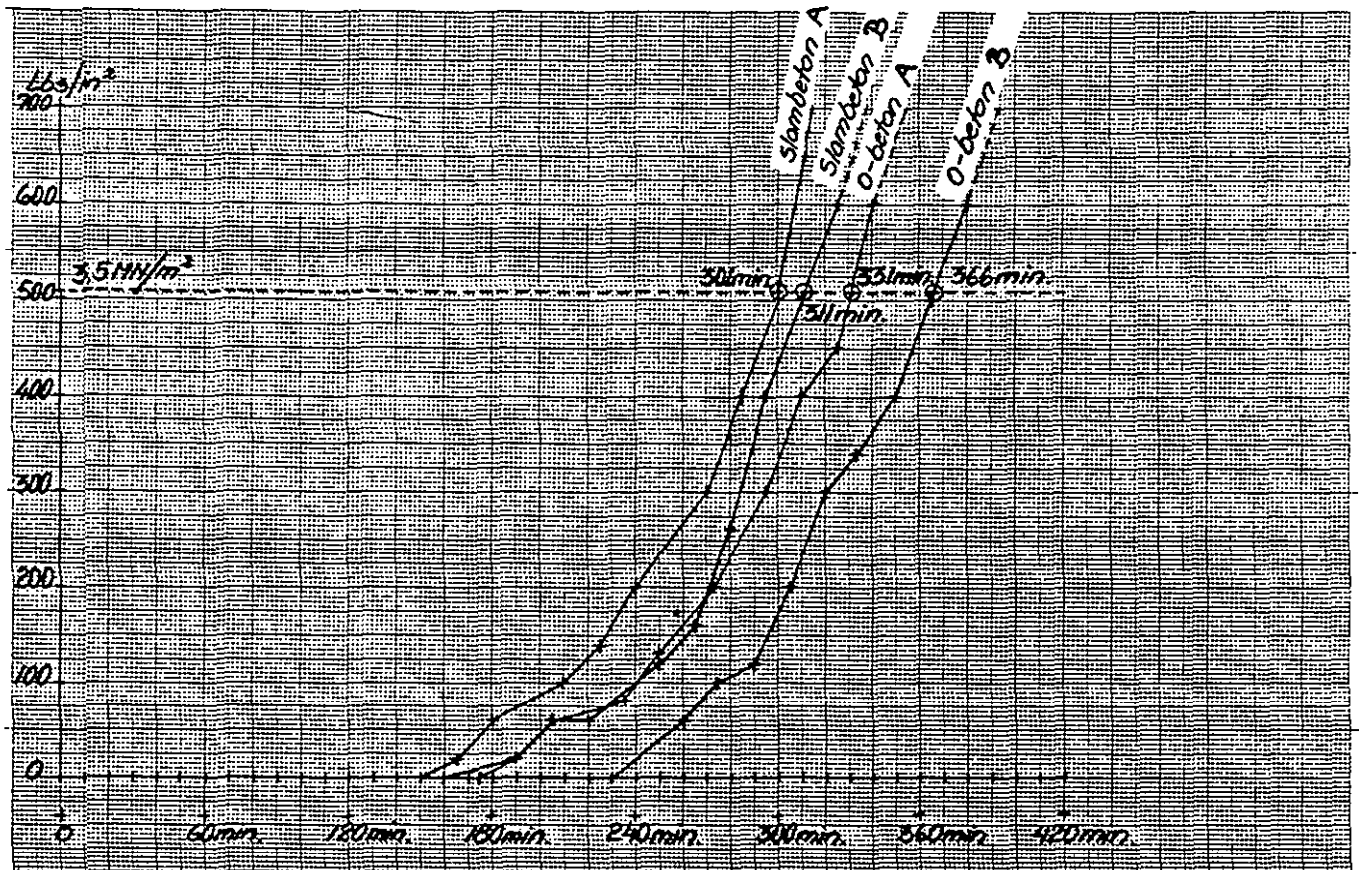
Betonens temperatur ved prøvningens slutning = 19°C.

Måleudstyr: Soiltest pocket penetrometer.

Afbindingstid ved 507 · 614 lbs/in² ~ 3,5 MN/m²:

O-beton		366 min.	=	6 timer 6 min.
7,1% slambeton	=	311 min.	=	5 timer 11 min.

Afbindingstid for blanding A og B



Vurdering

Betonens afbindingstid afkortes tilsyneladende med 1/2 - 1 time ved en slantilsætning på ca. 7 vægt-% af blandedet. Der skal dog tages forbehold for såvel luftens som betonens temperatur under afprøvningen, da denne har stor betydning for afbindingstiden. Men i alle tilfælde afkortes afbindingstiden ved slantilsætningen.

7.3 Bleeding

7.3.1 Bleeding målt på pasta blandet på TI-B

Ved bleeding forstås normalt den vandudskillelse, der kan finde sted ved udstøbning og komprimering af frisk beton.

Metode

Prøvningsmetode: ASTM C 940-81. Ekspansion and bleeding of freshly mixed grouts for preplaced - aggregate concrete in the laboratory.

Bleeding er målt på Rapidcement- og flyveaskecementpasta med og uden slamtilsætning.

Slamtilsætning: 14,5% cementslam til blandevandet.

Idet gentagne prøvninger med varierende sammensætning af cementpasta med og uden slamtilsætning ikke medførte bleeding, blev prøvningen gentaget på cementmørtel for at opnå bleeding.

Mørtelsammensætning: En mørtel med v/c = 0,60. 1 vægt del Rapidcement til 2 vægtdele enskornet sandblæsningssand.

Blanding: Indledende tørblanding i 5 min. og afsluttende blanding i 2 min. i tvangsblender med 15 liters blanderkar.

Prøvning: Prøvning i henhold til ASTM C 940-81.

Resultat

0-mørtel

Volumen af prøve ved prøvningens start = 800 ml.

Volumen af dekanteret bleedingvand efter 1 1/2 times forløb (uændret volumen) = 3,5 ml.

$$\text{Afsluttet bleeding} = \frac{3,5 \times 100}{800} = 0,4\%$$

14,5% slammørtel

Volumen af prøve ved prøvningens start = 800 ml.

Volumen af dekanteret bleedingvand efter 1 1/2 times forløb (uændret volumen) = 3,5 ml.

$$\text{Afsluttet bleeding} = \frac{3,5 \times 100}{800} = 0,4\%$$

O-mørtel afsluttet bleeding = 0,4%

14,5% slammørtel afsluttet bleeding = 0,4%

Vurdering

Der kan ikke påvises nogen forskel i de to mørtlers (med og uden slam) bleeding efter afprøvning iht. ASTM-metoden, ASTM-C 940-8.

Under prøvning af afbinding på mørtler med og uden slamtillsætning og under forarbejdning af prøveemner til afprøvning af mørtlers vedhæftning med og uden slamtillsætning er bleedingtendensen holdt under observation.

Omfang af bleeding (vandudskillelse) faldt i takt med mængden af tilsat cementslam på 7,3% og 14,5%. Subjektivt vurderet, et fald på ca. 20% fra O-mørtel til 7,3% slammørtel og ca. 40% fra O-mørtel til 14,5% slammørtel.

8. UNDERSØGELSE AF DEN HÆRDEDE BETONS EGENSKABER

8.1 28 døgns trykstyrke og styrkeudvikling i beton

Der er udført en prøverække med beton og uden slamtilsætning for at vurdere slamtilsætningens betydning for henholdsvis styrkeudviklingen og 28-døgns trykstyrken.

Betonsammensætningerne i prøverækken er tilsvarende de sammensætninger, der er anvendt ved undersøgelsen af den friske betons egenskaber.

8.1.1 Beton blandet på TI-B

Prøvningsmetoder: DS 423.23, Betonprøvning. Hærdnet beton. Trykstyrke, 2. udg.

Luftindhold, sætmål, densitet, 28 døgns trykstyrke og styrkeudvikling er målt på beton med og uden slamtilsætning og med følgende sammensætning:

Blanding: Indledende tørblanding indtil ensartet kulør af blandingen er opnået og afsluttende blanding i 90 sek. efter tilsætning af blandeveske. Dog er blandetiden forøget med 4 min. ved tilsætning af plastificeringsmiddel. Der er anvendt tvangsblander med 50 liters blandekar.

Prøveudtagning: Til 28 døgns trykstyrke er støbt 9 stk. \varnothing 100 mm, h = 200 mm cylindre af hver betonblanding. Til styrkeudvikling er støbt 15 stk. \varnothing 100 mm, h = 200 mm cylindre af hver betonblanding.

Prøvning: Prøvning i henhold til DS 423.23.

Resultater

Der kan ikke konstateres nogen nævneværdig forskel i hverken styrkeudviklingen eller 28 døgns trykstyrken mellem referencebetonerne og slambetoner med op til ca. 15 vægt-% opslemmede bestanddele i blandevandet.

Dette gælder for såvel beton med rapidcement som beton med flyveaskecement samt betoner, hvor der er tilsat mikrosilica.

I ingen af de 10 prøveserier er der fundet trykstyrker for slambetoner, som udgør mindre end 90% af referencestykken.

19 ud af 21 slambetoner har en 28 døgns trykstyrke, som er lig referencestykken \pm 10% (relativ). De to øvrige slambetoner har en 28 døgns trykstyrke, der er ca. 15% højere (relativt) end referencetrykstyrken.

Vurdering

Vi har ikke ved undersøgelserne kunnet påvise, at slamtilsætningen til blandevandet har en positiv eller negativ effekt på såvel styrkeudviklingen, 28 døgns trykstyrken, som 90-døgns trykstyrken.

8.1.2 Beton blandet på NF Beton

Blanding af beton samt måling af luftindhold, sætmål og densitet på den friske beton foretog NF Beton. Tillige støbte NF Beton 27 stk. \varnothing 100 mm, h = 200 mm cylindre af hver betonblanding.

Transport af betoncylindre, lagring, prøvning af 28 døgns styrke og styrkeudvikling foretog TI-B. Transport af cylindre, hver indpakket i en plastikpose, blev foretaget dagen efter hver støbning. Cylindrene blev transporteret skånsomt på et underlag af polystyren.

Slamtilsætning: Koncentration af slam som almindeligt anvendt på NF Beton på blandingstidspunktet.

Prøveudtagning: Til 28 døgns trykstyrke og styrkeudvikling er støbt 21 stk. \varnothing 100 mm, h = 200 mm cylindre af hver betonblanding.

Prøvning i henhold til DS 423.23.

Under ovenstående samarbejde mellem NF Beton og TI-B er foretaget en prøveserie betonblandinger med forskellige sammensætninger, som fremgår af bilagsrapporten.

Resultater

I 6 ud af 10 prøveserier blev der ikke konstateret nogen forskel i hverken styrkeudviklingen eller 28 døgns trykstyrken mellem referencebetonerne og slambetonerne.

I 2 serier havde slambetonerne en væsentlig højere 28 døgns trykstyrke (hhv. +22% og +52% relativ) end de tilsvarende referencebetoner. I de 2 sidste serier var slambetonernes trykstyrke kun hhv. 80 og 86% af referencestyrken.

Når man betragter 90-døgns trykstyrkerne tegner der sig et klart billede, idet samtlige slambetoner har en 90-døgns trykstyrke, der er højere end de tilsvarende referencebetoners trykstyrke. Styrkeforøgelserne varierer mellem 3 og 55% (relativ).

Vurdering

I modsætning til laboratorieforsøgene viste styrkeundersøgelserne på beton blandet og udstøbt hos NF Beton, at slamtilsætningen tilsyneladende har en positiv effekt på langtidsstyrkerne. Der synes umiddelbart ikke at være nogen fornuftig forklaring på dette, idet slammet overvejende består af allerede hydratiserede cementpartikler, og derfor ikke kan bidrage væsentligt til styrkeforøgelsen.

8.2 Bøjningstrækstyrke

8.2.1 Mørtel blandet på TI-B

Der blev udført 2 prøveserier for at give en overslagsmæssig vurdering af, om en slamtilsætning på 14,5 vægt-% af blandevandet vil influere på bøjningstrækstyrken.

Prøvningsmetode: TI-B 27(83) Bøjningstræk/trykstyrke af mørtelprismer.

Bøjningstrækstyrke målt på cementmørtel med 14,5% og uden slamtilsætning.

Mørtelsammensætning: En mørtel med $v/c = 0,45$, 1 vægt del Rapidcement til 2 1/2 vægtdele søsand. En anden mørtel med $v/c = 0,45$, 1 vægt del flyveaskecement til 2 1/2 vægtdele bakkesand.

Blanding: Indledende tørblanding i 5 min. og afsluttende blanding i 2 min. i tvangsblender med 15 liters blandekar.

Støbning og prøvning i henhold til TI-B 27(83).

Efterbehandling af prøveemner: Afdækket i form i 1 døgn ved ca. 20°C og lagret i vandbad ved 20°C i 27 døgn.

Resultat

Mørtel med Rapidcement og søsand $v/c = 0,45$

	Prøve nr.	Bøjningstrækstyrke efter 28 døgn MN/m ²
0-beton	1	8,8
	2	8,3
	3	8,1
Gennemsnit		8,4
14,5% slammørtel	1	8,0
	2	7,4
	3	8,5
Gennemsnit		8,0

Mørtel med flyveaskecement og bakkesand v/c = 0,45

	Prøve nr.	Bøjningstrækstyrke efter 28 døgn MN/m ²	
O-beton	1	8,6	
	2	7,6	
	3	7,7	
Gennemsnit		8,0	
14,5% slammørtel	1	6,1	(Mørtelen var så tør,
	2	5,8	at formen ikke blev
	3	6,6	helt udfyldt under komprimeringen).
Gennemsnit		6,2	

Gennemsnit

O-beton med Rapidcement og søsand	= 8,4
14,5% slambeton med Rapidcement og søsand	= 8,0
O-beton med flyveaskecement og bakkesand	= 8,0
14,5% slambeton med flyveaskecement og bakkesand	= 6,2

Vurdering

Med en slamtilsætning på 14,5 vægt-% af blandevandet falder bøjningstrækstyrken med henholdsvis ca. 5% og ca. 22% (relativ) for en mørtel med slam i forhold til en referencemørtel uden slam. I det første tilfælde indeholder mørtelen rapidcement og søsand, i det andet tilfælde flyveaskecement og bakkesand.

Prøvningsomfanget er dog for spinkelt til at kunne udtale sig generelt om slamtilsætningens betydning for bøjningstrækstyrken. I forsøget med flyveaskecementen og bakkesandet spiller det også ind, at mørtelen kun vanskeligt kunne fyldes i formen, selv under komprimering. Dette kan betyde et højere luftindhold i mørtelen, hvilket igen kan medføre en lavere bøjningstrækstyrke.

Det skal desuden bemærkes, at en slamtilsætning på 14,5 vægt-% af blandevandet ca. er dobbelt så højt som den koncentration, der anvendes til daglig på NF Betons genbrugsanlæg. Det kan derfor forventes, at den rent faktiske effekt af en slamtilsætning på ca. 5-8 vægt-% vil være mindre end det fundne styrketab.

8.3 Elasticitetsmodul

8.3.1 Beton blandet på TI-B

Der er foretaget en enkelt prøveserie for at give en foreløbig vurdering (tendens), om en evt. slamtilsætning vil kunne have nogen indvirkning på E-modulet.

Prøvningsmetode: DS 423.25, Betonprøvning. Hærdnet beton. Elasticitetsmodul, 2. udg.

Elasticitetsmodul er målt på beton med og uden slamtilsætning.

Slamtilsætning: 7,3% og 14,5% cementslam til blandevandet.

Betonsammensætning: Som beton ved bestemmelsen af luftindholdet i frisk beton, dog med $v/c = 0,70$, Rapidcement og søsand.

Blanding: Indledende tørblanding, indtil ensartet kulør af blandingen opnås, og afsluttende blanding i 90 sek. efter tilsætning af blandevæske. Der er anvendt tvangsblender med 50 liters blandekar.

Prøvning i henhold til DS 423.25 (efter 28 døgns hærdning).

Prøveudtagning: Til måling af elasticitetsmodul er udtaget 1 prøve af beton uden slamtilsætning, 1 prøve af beton med 7,3% slamtilsætning og 1 prøve af beton med 14,5% slamtilsætning. Trykstyrken efter 28 døgn er målt på 9 stk. \varnothing 100 mm, h = 200 mm cylindre af hver betonblanding.

Beton, $v/c = 0,70$, Rapidcement og søsand

Resultat

	E-modul (E-modul reference/ relativ (E-modul slambeton))
0-beton	100%
7,3% slambeton	93%
14,5% slambeton	90%

Vurdering

Der sker tilsyneladende et fald i værdien for E-modulet som funktion af stigende slammængde i blandevandet. Resultatet bør kun opfattes som et meget foreløbigt resultat (tendens), idet prøvningsomfanget er meget spinkelt.

8.4 Svind

8.4.1 Mørtel blandet på TI-B

Der er foretaget 2 prøveserier for at vurdere slamtillsætningens eventuelle indvirkning på en standardmørtels svind. Prøvningen kan kun give et foreløbigt fingerpeg derom.

Prøvningsmetode: TI-B 26 (86). Hærdnet mørtel. Svind.

Svind målt på cementmørtel med og uden slamtillsætning.

Slamtillsætning: 3,6%, 7,3% og 14,5% cementslam til blandevandet.

Mørtelsammensætning: En mørtel med v/c = 0,45, 1 vægt del Rapidcement til 2 1/2 vægtdele søsand.

Blanding: Indledende tørblanding i 5 min. og afsluttende blanding i 2 min. i tvangsblender med 15 liters blande-
kar.

Støbning: Støbning af prøveemner i henhold til TI-B 26 (86).

Efterbehandling: Afdækket i form i 1 døgn ved ca. 20°C, lagret i vandbad i 32 døgn og i 50% RF og 20°C i 56 døgn.

Prøvning i henhold til TI-B 26 (86).

Resultat

Rapidcement og søsand	Svind efter 89 døgn o/oo
0-mørtel	0,83
3,6% slammørtel	0,92
7,3% slammørtel	0,93
14,5% slammørtel	0,98

Flyveaskecement og søsand	Svind efter 89 døgn o/oo
0-mørtel	1,03
3,6% slammørtel	1,04
7,3% slammørtel	1,05
14,5% slammørtel	1,07

Vurdering

Slamtilsætningen influerer tilsyneladende lidt på en standardmørtels svind. Reelt synes det dog ikke at have nogen praktisk betydning. Men egenskaben bør indgå i evt. kommende undersøgelser af slamtilsætningens betydning for betonens/mørteleens egenskaber.

8.5 Luftindhold

8.5.1 Beton blandet på TI-B

Der er foretaget 2 prøveserier med såvel referencebetoner som betoner tilsat slam til blandevandet for at undersøge tilsætningens betydning for den hærtnede betons luftporestruktur. Samtlige betoner i prøveserierne er luftindblandede betoner med samme dosering af luftindblandingsmiddel.

Prøvningsmetode: TI-B 4. Luftporemåling i hærtnet beton.

Luftindhold målt på beton med og uden slantilsætning.

Slantilsætning: 7,3% og 14,5% cementslam til blandevandet.

Betonsammensætning, blanding og prøveudtagning som for beton under prøvning for luftindhold i frisk beton (extra cylindre), som fremgår af bilagsrapporten.

Prøvning i henhold til TI-B 4.

Resultat

Beton med $v/c = 0,55$, Rapidcement og søsand

	Total luft %	Luft i porer > 2 mm	Specifik overflade mm	Afstands- faktor mm
0-beton	5,7	0,2	30	0,15
7,3% slambeton	5,4	0,3	28	0,17
14,5% slambeton	6,0	0,3	28	0,16

Beton med $v/c = 0,55$, flyveaskecement og bakkesand

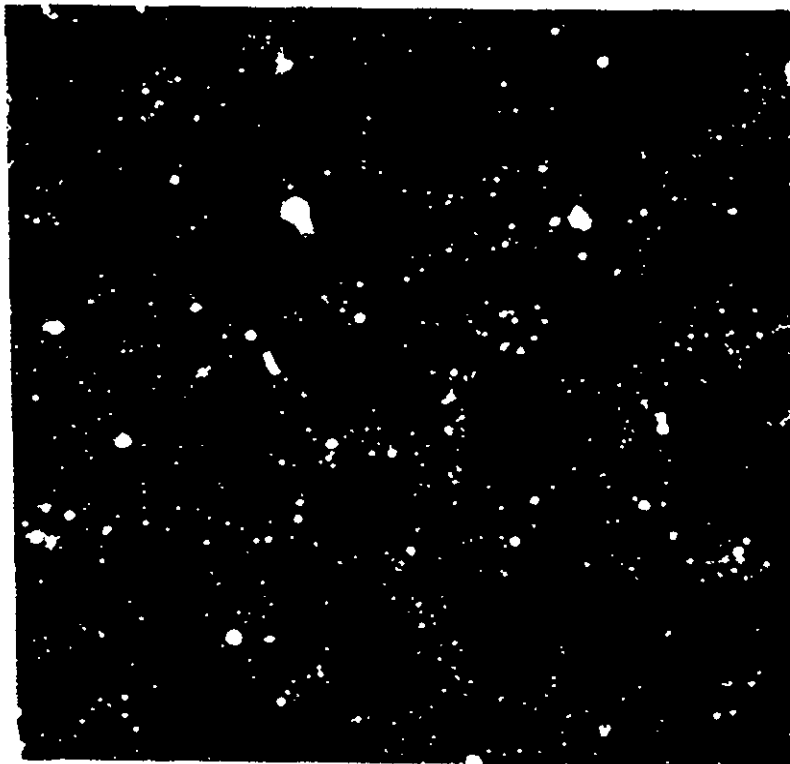
	Total luft %	Luft i porer > 2 mm	Specifik overflade mm	Afstands- faktor mm
0-beton	6,8	0,9	32	0,13
7,3% slambeton	5,0	0,5	27	0,19
14,5% slambeton	6,1	1,0	28	0,20

PLANSLIB TIL LUFTPOREMÅLING (målestok 1:2)



Præpareret planslib
af betonkerne med
referencebeton
(0-Beton)

Blanding: 0-Beton (5,7% luft)



Præpareret planslib
af betonkerne med
14,5 vægt-% slamtill-
sætning af blande-
vandet

Blanding: 14,5% slambeton (6,0% luft)

Vurdering

Der er ikke kunnet konstateres nogen signifikant forskel i luftporestrukturen mellem reference- og slambetoner. Dette gælder for såvel total luftindhold, afstandsfaktor og specifik overflade. Samtlige betoner opfylder "kravene" til en god luftporestruktur for beton i moderat og aggressivt miljø

8.5.2 Beton blandet på NF Beton

På udvalgte betonblandinger (luftindblandede betoner) er der udført luftporeanalyser iht. TI-B 4. Mængden af luftindblandingsmiddel, Doseka, er den samme for såvel reference - som slambetonerne.

Blanding af beton samt fremstilling af betoncylindre foretog NF Beton.

Transport af betoncylindre, lagring og fremstilling af prøvelegemer foretog TI-B.

Prøvningsmetoden fulgte TI-B 4. Luftporemåling i hærnet beton.

Betonsammensætninger på nedenstående betoner fremgår af bilagsrapporten.

Resultat

Beton med $v/c = 0,55/0,52$, Rapidcement og søsand

	Total luft %	Luft i porer > 2 mm	Specifik overflade mm	Afstands- faktor mm
O-beton	4,9	0,2	28	0,19
5,8% slambeton	5,2	0,3	30	0,16

Beton med $v/c = 0,58/0,57$, flyveaskecemnt og søsand

	Total luft %	Luft i porer > 2 mm	Specifik overflade mm	Afstands- faktor mm
O-beton	6,5	1,6	17	0,29
6,5% slambeton	5,8	0,8	20	0,27

Beton med $v/c = 0,63/0,62$, Rapidcement og søsand

	Total luft %	Luft i porer > 2 mm	Specifik overflade mm	Afstands- faktor mm
O-beton	7,2	1,0	30	0,15
5,8% slambeton	7,5	0,6	28	0,16

Vurdering

Der kan ligeledes i betoner fremstillet og blandet hos NF Beton ikke konstateres nogen forskel i luftporestrukturen på tilfældigt udvalgte luftindblandede betoner med og uden slamtillsætning.

8.6 Vedhæftning

8.6.1 Mørtel blandet på TI-B

Der er gennemført to prøveserier til vurdering af slamtilsætningens betydning på en mørtels vedhæftning til et betonunderlag.

Prøvningsmetode: TI-B 13(86). Hærdnet mørtel og beton. Aftræksprøvning.

Vedhæftning målt mellem betonunderlag og cementmørtel med og uden slamtilsætning.

Slamtilsætning: 7,3% og 14,5% cementslam til blandevandet.

Mørtelsammensætning: En mørtel med $v/c = 0,45$, 1 vægtedel Rapidcement til 2 1/2 vægtdele søsand. En anden mørtel med $v/c = 0,50$, 1 vægtedel flyveaskecement til 2 1/2 vægtdele bakkesand.

Blanding: Indledende tørblanding i 5 min. og afsluttende blanding i 2 min. i tvangsblender med 15 liters blandekar.

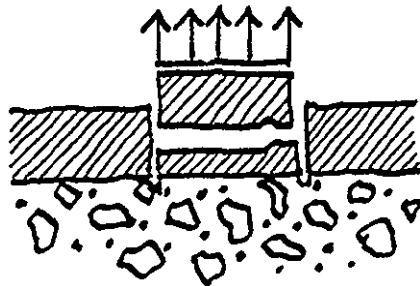
Betonfliser 200 x 350 x 50 mm fremstillet efter TI-B 24. Reparationsfliser udgør betonunderlaget.

Forbehandling af prøveemner: Fliserne blev sandblæst, forvandet og henstod afdækket med plastfolie ved ca. 20°C i et døgn før støbningen.

Støbning: Mørtelen blev fordelt på den matfugtige fliseoverflade ved hjælp af tungeformet murske efterfulgt af komprimering i form af trykning med skeen. Mørtelens lagtykkelse på ca. 20 mm blev sikret ved påspændt formramme.

Efterbehandling af prøveemner: Afdækket med plastfolie i 1 døgn ved ca. 20°C, lagret i vandbad ved 20°C i 20 døgn og i 65% RF og 20°C i 7 døgn.

Prøvning: Efter friskæring på $\varnothing 55$ mm i en dybde af mørtelens lagtykkelse + 5 mm blev trækrondele påklæbet. Efter klæberens hærdning blev aftræksprøvningen foretaget.



Resultat

Mørtel med Rapidcement og søsand. v/c = 0,45

Vedhæftning	
Gennemsnit af 5 prøver	
0%	slam = 1,7 MN/m ²
7,3%	slam = 1,6 MN/m ²
14,5%	slam = 1,5 MN/m ²

Mørtel med flyveaskecement og bakkesand. v/c = 0,50

Vedhæftning	
Gennemsnit af 5 prøver	
0%	slam = 1,8 MN/m ²
7,3%	slam = 1,6 MN/m ²
14,5%	slam = 1,6 MN/m ²

Vurdering

Slamtilsætningen (op til 14,5 vægt-%) synes ikke at influere på vedhæftningen i nævneværdig grad. Der er tilsyneladende en svag tendens til, at vedhæftningsstyrken mindskes med stigende slamkoncentration i blandedvandet.

8.7 Krakelering

8.7.1 Mørtel blandet på TI-B

En mørtels (med og uden slam) krakeleringstendens er undersøgt iht. TI-B prøvningsmetode. Der er gennemført 2 prøveserier.

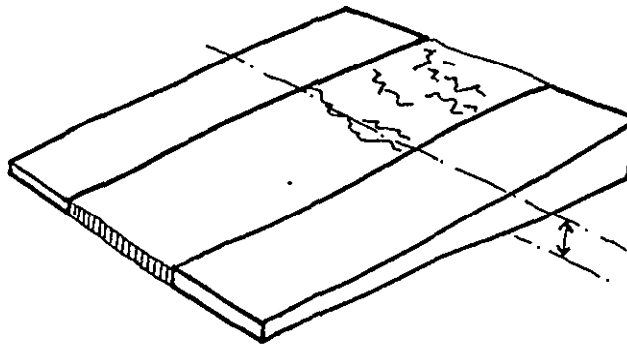
Prøvningsmetoder:

TI-B 27 (83) Bøjningstræk/trykstyrke af mørtelprismer.

TI-metode. Krakelering. Største lagtykkelse uden krakelering.

Måling af største lagtykkelse uden krakelering på cementmørtel med og uden slamtilsætning samt observation af krakeleringstendens på prizmer støbt af cementmørtel med og uden slamtilsætning.

Slamtilsætning: 14,5% cementslam til blandevandet.



Prøvning 1 (kiler)

Mørtelsammensætning: En mørtel med $v/c = 0,35$. 1 vægt del Rapidcement til 2 1/2 vægtdele søsand.

Blanding: Indledende tørblanding i 5 min. og afsluttende blanding i 2 min. i tvangsblender med 15 liters blanderkar.

Støbning: Støbning af to mørtelkiler, bredde = 120 mm, længde = 500 mm, højde min 1 mm, højde max. = 10 mm. En mørtel med og en mørtel uden cementslam støbt på forvandet betonunderlag.

Mørtelen blev fordelt og afrettet på en matfugtig betonoverflade ved hjælp af tungeformet murske efterfulgt af komprimering i form af trykning med skeen. Mørtelens lagtykkelse blev sikret ved hjælp af to trekantlister af stål lagt parallelt på underlaget.

Efterbehandling af prøveemner: Uafdækkede i værksteds-
klima ved fra 10 - 20°C i 60 dage.

Prøvning: Visuel observation af største lagtykkelse uden
krakelering.

Resultat

Ingen krakelering kunne observeres på mørtelen med slamtil-
sætning og mørtelen uden slamtilsætning.

Prøvning 2 (prismer)

Mørtelsammensætning: En mørtel med $v/c = 0,34$. 1 vægt del
Rapidcement til 1 vægt del søsand.

Blanding: Indledende tørblanding i 5 min. og afsluttende
blanding i 2 min. i tvangsblender med 15 liters blandekar.

Støbning af mørtelprismer efter TI-B 27 (83).

Efterbehandling af prøveemner: I afdækket form i 1 døgn
ved ca. 20°C og lagret i 50 RF og 20°C i 60 døgn.

Prøvning: Visuel observation af omfang af krakelering på
mørtelprismernes overflade.

Resultat

Ingen krakelering kunne observeres på mørtelen med slam-
tilsætning og mørtelen uden slamtilsætning.

Vurdering

En slamtilsætning på 14,5 vægt-% af blandevandet indvirker
tilsyneladende ikke på mørtelens krakeleringstendens iht.
TI-B prøvningsmetode.

8.8 Vandopsugning

8.8.1 Mørtel blandet på TI-B

Til en foreløbig vurdering af slamtilsætningens betydning for en mørtel/betons vandtæthed målt ved vandopsugningshastigheden på en mørtel med og uden slamtilsætning, er der gennemført en måleserie.

Prøvningsmetoder:

TI-B 25 Bestemmelse af kapilær vandmætningsgrad.

TI-B 27 (83) Bøjningstræk/trykstyrke af mørtelprismer.

Vandopsugning målt på cementmørtel med og uden slamtilsætning støbt som mørtelprismer.

Slamtilsætning: 14,5% cementslam til blandevandet.

Mørtelsammensætning: En mørtel med $v/c = 0,34$. 1 vægt del Rapidcement til 1 vægt del søsand.

Blanding: Indledende tørblanding i 5 min. og afsluttende blanding 2 min.

Støbning af mørtelprismer efter TI-B 27 (83).

Efterbehandling af prøveemner: I afdækket form i 1 døgn ved ca. 20°C og lagret i 50 RF og 20°C i 40 døgn.

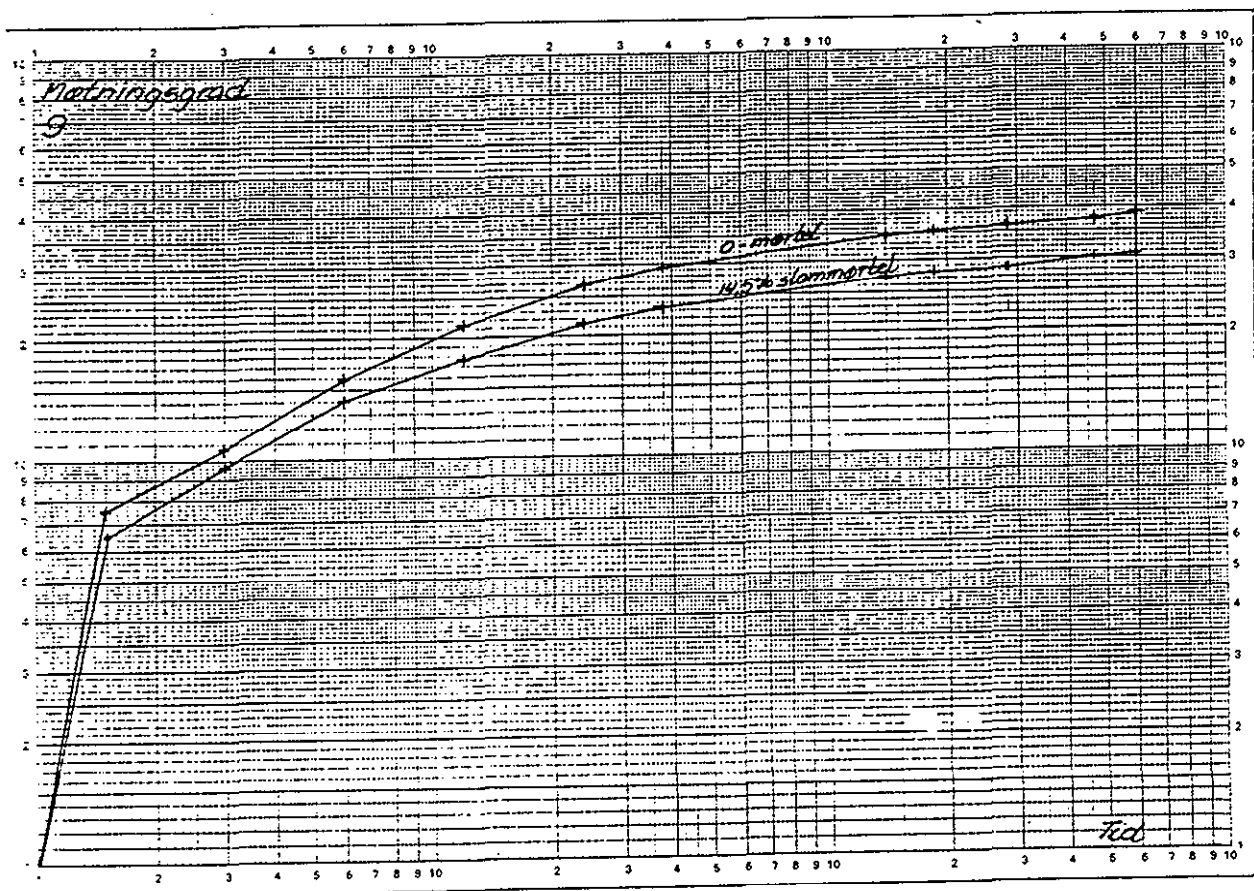
Vægt af prøveemner ved prøvningens start:

0% slam, emne 1 = 528 g, emne 2 = 530 g og emne 3 = 531 g.

14,5% slam, emne 1 = 554 g, emne 2 = 553 g og emne 3 = 556 g.

Prøvning som angivet i TI-B 25.

Resultat



Vurdering

Tilsyneladende har en slamtilsætning på 14,5-vægt% af blandevandet en positiv effekt på vandopsugningshastigheden og dermed også på mørtelens/betonens vandtæthed. Dog er prøveomfanget for spinkelt til at udtale sig generelt om denne egenskab.

8.9 Strukturanalyse

8.9.1 Beton blandet på TI-B

Til en vurdering af slamtillsætningens betydning på såvel luftindblandede som ikke luftindblandede betoners mikrostruktur er der fremstillet tyndslib fra forskellige udvalgte blandeserier. Der er undersøgt i alt 15 betonblandinger såvel reference- som slambetoner, hvoraf de 10 stammer fra luftindblandede betoner.

Ved strukturanalysen er der foretaget en vurdering af følgende egenskaber:

- makrostruktur
- homogenitet
- revneomfang (grove, fine og mikrorevner)
- luftporestruktur
- pastaporøsitet, herunder v/c-forhold.

Strukturanalysen udføres på tyndslib, der fremstilles af udsavede fluorescensimprægnerede betonstykker, og som analyseres i polarisations- og fluorescensmikroskop. Et tyndslib dækker et areal på ca. 30 x 45 mm. Tyndslibene er fremstillet af betonerne ca. 28 døgn efter udstøbningen. Betonsammensætningen er som beton ved bestemmesle af luftindhold i frisk beton.

Tyndslibene er udtaget iht. nedenstående skitse:



Resultat

Der er ikke kunnet konstateres nogen forskel i mikrostrukturen mellem referencebetonerne og de tilsvarende slambetoner. Der er undersøgt betoner med en slamtillsætning på mellem 0 og 14,5 vægt-%.

Det har heller ikke ved strukturanalysen været muligt at påvise tilstedeværelsen af iblandet slam, hvilket dels kunne tyde på en god dispergering af slamm, dels at slamm består af de samme bestanddele, der allerede findes i betonen. Desuden er den reelle slamtillsætning jo relativt ringe i forhold til fx cementindholdet.

Vurdering

Det har i denne undersøgelse ikke været muligt at påvise, at slamtilsætningen skulle have nogen som helst indflydelse på betonens mikrostruktur.

8.9.2 Beton blandet på NF Beton

Der er udført strukturanalyse på en række (tilfældigt) udvalgte betoner fremstillet og blandet på NF Beton. Strukturanalysen er udført på såvel betoner med- og uden slamtilsætning. Alle de undersøgte betoner er luftindblandede.

Der er foretaget en vurdering af følgende egenskaber:

- makrostruktur
- homogenitet
- revneomfang
- luftporestruktur
- pastaporøsitet, herunder v/c-forhold.

Betonsammensætningerne af de aktuelle betoner fremgår af bilagsrapporten.

Resultat

Der kan ikke konstateres nogen signifikant forskel i mikrostrukturen mellem referencebetonerne og de tilsvarende slambetoner. Mikrostrukturen kan variere noget mellem de enkelte referencebetoner såvel for de enkelte slambetoner på tværs af prøveserierne. Inden for samme serie, som består af 2 betoner (med- og uden slam), er det ikke muligt at konstatere nogen væsentlig forskel i mikrostrukturen.

Vurdering

Undersøgelsen af mikrostrukturen på betoner (med og uden slam), fremstillet og blandet på NF Beton, viser tilsvarende laboratorieforsøgene, at der ikke kan konstateres nogen signifikant forskel i mikrostrukturen mellem betoner med og uden slamtilsætning. Dette gælder også for betoner med op til ca. 8 vægt-% slamtilsætning i blandevandet (NF Beton), hhv. 14,5 vægt-% ved laboratorieforsøgene.

8.10 Kulør

8.10.1 Beton blandet på TI-B

Idet der i tidligere undersøgelser er peget på, at en slamtilsætning kan influere på betonens kulør samt muligheden for udblømsstringer, har vi foretaget et forsøg til en orienterende vurdering af denne egenskab.

Prøvningsmetoder:

- DS 423.15 Betonprøvning. Frisk beton. Luftindhold, 1 udg.
DS 423.12 Betonprøvning. Frisk beton. Konstistens. Sætmål, 2 udg.
DS 423.16 Betonprøvning. Frisk beton. Densitet, 1 udg.

Visuel subjektiv vurdering af overflader af beton med og uden slamtilsætning er foretaget på beton med en sammensætning som anvendt under prøvning af luftindhold i frisk beton, dog blev slamblandingen tilsat plastificeringsmiddel Melment L 10-33 (200 g til 40 l. blanding).

Prøveudtagning: Til visuel vurdering af betonkulør er støbt 1 stk. \varnothing 150 mm, h = 300 mm cylinder og 1 stk. 900 x 900 x 50 mm plade af hver betonblanding.

Prøvning: Prøvning i henhold til DS 423.15, DS 423.12, DS 423.16 og visuel vurdering af betonkulør.

Beton med v/c = 0,55, Hvid portlandcement og søsand

Slamtilsætning: 14,5% cementslam til blandedevandet.

Resultat/Vurdering

	Luft %	Sætmål mm	Densitet kg/m ³
O-beton	2,6	50	2380
14,5% slambeton	2,2	60	2400

Ingen kulørforskel kunne observeres på betonoverfladen af pladerne, cylindrerne og langsgående snitflader i cylindrerne.

9. SAMMENFATNING OG DISKUSSION

Undersøgelsen over hvilken betydning, anvendelsen af blandevand med op til ca. 15 vægt-% opslemmede partikler har på såvel den friske som hærtnede betons egenskaber, har omfattet både mange prøvninger og egenskaber.

For de fleste af disse egenskaber har vi kun ønsket at få en orienterende vurdering (tendens) af effekten ved en tilsætning af slam til blandevandet. Dette gælder fx for følgende af betonens/mørtelens egenskaber: bleeding (frisk beton/mørtel), bøjningstrækstyrke, E-modul, svind, vedhæftning, krakelering, vandopsugning og kulør (hærtnet beton/mørtel). Ved undersøgelse af disse egenskaber er der normalt kun gennemført få prøveserier og ofte kun med en eller to forskellige betonsammensætninger.

For de øvrige undersøgte egenskaber: luftindhold, densitet sætmål og afbinding (frisk beton/mørtel) samt 28 døgns trykstyrke, styrkeudviklingen, luftporeanalyse og strukturanalyse (hærtnet beton/mørtel) er der gennemført flere prøveserier med forskellige betonsammensætninger. Dette medfører et sikrere vurderingsgrundlag, selvom ikke alle kombinationer af betonsammensætninger/parametre er gennemprøvet.

Set i lyset af tidligere undersøgelser (se "State of the Art-report") viser de gennemførte undersøgelser, at der kun er to af de undersøgte egenskaber, der signifikant ændres ved tilsætning af opslemmede partikler til betonens/mørtelens blandevand: Den friske betons sætmål og afbinding.

Der er i laboratorieforsøgene en klar sammenhæng mellem sætmålet og mængden af tilsat "slam", idet jo større slamtilsætning jo mindre sætmål. Imidlertid er denne sammenhæng ikke helt så tydelig, når man vurderer sætmålene fra beton med og uden slam fremstillet og blandet på NF Beton. Dette skyldes sandsynligvis dels en anden slamsammensætning (en finsandsandel på ca. 20-25%) dels en relativ lav slamkoncentration (ca. 5-7 vægt-%).

Det er helt klart, at afbindingstiden for betonen/mørtelen falder med stigende tilsætning af opslemmede bestanddele (cementpartikler m.v.) til blandevandet. Dog synes der at være et "mætningspunkt", forstået således, at en slamtilsætning udover dette punkt, som ca. er 7-8 vægt-%, ikke vil afkorte afbindingstiden yderligere. Afbindingstiden vil således blive afkortet med ca. 1 time ved en slamtilsætning på \geq ca. 7 vægt-%. En nærliggende forklaring til den kortere afbindingstid kan være slammets indhold af fine til grove calciumhydroxidkrystaller (Ca(OH)_2), som antagelig kan virke som kimdannere under hydratiseringen og dermed accelerere denne.

Dette er helt klart en effekt, som må tages hensyn til ved fremstillingen, blandingen og eventuelt transporten af færdigblandet beton. Kombineret med høje temperaturer (fx en varm sommerdag) vil der kunne forekomme u hensigtsmæssige korte afbindingstider. I andre tilfælde kan den kortere afbindingstid være en fordel.

Med hensyn til de øvrige undersøgte egenskaber synes en slamtilsætning med op til ca. 15 vægt-% opslemmede bestanddele (cementslam og finsand) ikke at have nogen nævneværdig effekt. Dette gælder for såvel luftindblandede som ikke luftindblandede betoner/mørtler, beton med såvel rapid-cement som flyveaskecement med eller uden plastificeringsmiddel eller betoner tilsat mikrosilica.

Hertil skal det imidlertid pointeres, at fx en slamtilsætning på 14,5 vægt-% af blandevandet jo kun betyder en slam-mængde på ca. 20-22 kg "finstof" pr. kubikmeter beton. Dette svarer ca. til 2-3% af sandmængden. Betonens samlede fillermængde (materiale < 0,25 mm) øges altså ikke væsentligt. Hertil kommer, at den slamkoncentration, man anvender på NF Betons genbrugsanlæg, kun er ca. halvt så stor (5-8 vægt-%).

Et andet vigtigt spørgsmål i undersøgelsen har været, om der fandtes rester af tilsætningsstoffer i slammet/slamvandet i slambassinet i NF Beton anlæg, og om de i givet fald kunne influere på den nye betons egenskaber. Dette har ikke været tilfældet, idet man hverken kan påvise (målebare) mængder af tilsætningsstoffer i slamvandet eller påvise nogen effekt på såvel den friske som hærtnede betons egenskaber.

Lande som Vesttyskland, Japan og USA har nu mere end 15 års erfaring i genanvendelse af slam/slamvand til ny beton. Disse landes erfaringer viser, at man udmærket kan fremstille god og holdbar beton med anvendelsen af blandevand indeholdende opslemmede cementpartikler og finsand. Vi har i vores undersøgelser ikke kunnet finde faktorer, der skulle tale mod anvendelsen af blandevand med op til 14,5 vægt-% opslemmede partikler i form af mere eller mindre hydratiserede cementpartikler, flyveaske, mikrosilica og finsand.

10. LITTERATURLISTE

1. Torben C. Hansen: "Recycled aggregates and recycled aggregate concrete". Second State-of-the-art report. *Materiaux et Constructions*, vol. 19 - No. 111.
2. Rudolf Riker: "Restbetonaufbereitung". Foredrag (notat) holdt den 1. foredragsdag i forbindelse med BAUMA 86. (1986).
3. Rudolf Riker: "Neue Erkenntniss bei der Aufbereitung von Rest- und Ruckbeton", teil 1 - 2. *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, heft 9-10, 1983. pp. 569-573, 634-637.
4. Harold H. Steinour: "Concrete mix water. How impure can it be"? *Journal of PCA, Research and Development Laboratories* vol. 2 (1960), pp. 32-50.
5. Josef Theiner: "Restbeton-Recycling - Systeme und Technologien für Restbeton-Aufbereitungsanlagen. *Beton* 4, 1979, pp. 127-132.
6. Heikki Pöijärvi: "Inverkan på betongens egenskaper av ballastens fina partikler". *Nordisk Betong* 1967:3, pp 225-252.
7. ACI Committee 221: "Guide for use of normal weight aggregates in concrete". *ACI Journal*, March-April 1984, pp. 115-139.
8. Ralf Lewandowski und Paul Peterfy: "Beeinflussung der Betoneigenschaften durch Zusatz von mineralischen Schlammen, Teil 1-2. *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, heft 10-11, 1976, pp. 562-566, 503-505.
9. Yoshio Kasai: "Recycling waste water and cement slurry disposal at ready-mixed concrete plants" Seminar under The Japan-U.S. Cooperative Science Program. September 1979, USA, pp. 101-110.
10. Bernd Friesenborg, Rolf Genenger und Franz Orłowski: "Recycling of waste concrete". *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, heft 12, 1984, pp. 830-836.
11. M.F. Pistilli and C.F. Peterson: "Properties and possible recycling of solid waste from ready-mix concrete". *Cement and Concrete Research*, vol. 5, 1975, pp. 249-260.

12. C. Leon Parker and Michael W. Slimak: "Waste treatment and disposal cost for the ready-mixed concrete industry".
ACI Journal, july 1977, pp. 281-287.
13. Rudolf Riker: "Die Behandlung von Restbeton".
Beton 7, 1978, pp. 235-240.
14. Werner Christensen: "Danske vandtypers indvirkning på beton".
Ingeniøren nr. 4, 15. februar 1961, pp. 156-161.
15. "Machines voor hergebruik von betonspecie"
Cement XXIX nr. 8, 1977, pp. 360-361.
16. "Hergebruik van cementslib als vulstof in beton"
Cement XXIX, nr. 8, 1977, pp. 357-360.
17. Bill Blaha: "R/M washout system includes aggregate screening plant"
Concrete Products nr. 12, december 1973.
18. British Standard Methods of test for:
Water for making concrete (including notes on the suitability of the water) BS 3148:1980.
19. Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor: "Betonbogen", 2. udgave 1985, pp. 324-342.
20. Kleinmann: Spülwasser und Restbeton
Schreiben der VBN-Vereniging von Betonmortelfabrikanten in Nederland, Kon. Julianaweg 122, Leidschendam.
pp-1-18.
21. J. Theiner: "Ready Clär - ein neues System für Abwasserklärung und Schlammaufbereitung".
Industri Anzeiger, Nr. 39, 1977, pp. 696-697.
22. "Stopping the darin on ready-mix costs".
Contract Journal, April 15, 1976.
23. Herbert L. Harger: Ein System für 100%-ige Restbeton Aufbereitung: Vorrichtung, Verfahren und Auswirkungen auf die Produkt-Qualität.
NRMCA-Publikation nr. 150
(NRMCA = National Ready Mixed Concrete Association)
1975.
24. Institut für Transportbeton:
"Untersuchung der Betriebsabwässer in Transportbetonwerken". Ausarbeitung für den Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. 1975.

25. Shigemasa Hasaba, Mitsunovi Kawamura, Kazuyuki Torii og Kunio Takemoto: The Reutilisation of the Cement Slurry Discharged at Concrete Product Factories. Transactions of the Japan concrete Institute, vol. 2 (1980) and vol. 6 (1984) (to artikler).
26. Recycling van Zand-Grind en Cementslurry - foredrag holdt af P.M. Bax på "International Day" ved et møde i Las Vegas.
27. Vejledning til Dansk ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner, 2. udgave, 1973.
28. ACI-Standard 318-77 "Building code requirements for reinforced concrete".
29. ACI-Standard 318-77, Comment on "Building code requirements for reinforced concrete".
30. DIN 1045 Deutsche Norm "Beton- und Stahlbetonbau".
31. DIN 4226 Deutsche Norm "Zuschlag für Beton".
32. Designation: C 33-86
Standard Specification for Concrete Aggregates
33. British Standard 882, 1983.
34. Götz Krahl: Abwasser im Transportbetonwerk. Das Baugewerbe 16, 1974.
35. Fritz, J.S. og G.H. Schenk, 1979: "Quantitative Analytical Chemistry", 4th. Ed., Allyn and Bacon Inc., Boston, USA.
36. Andersen, P.J., 1987: "Effect of Organic Superplasticizing Admixtures and Their Components on Zeta Potential and Related Properties of Cement Materials", Eksamensprojekt, The Pennsylvania State University, PA, USA.
37. Uchik, H.S. Uchida and K. Ogawa, 1985: "Measurement of the Amount of Adsorbed Organic Admixture Using Ultra Violet Spectrophotometry", II Cemento, 4., pp. 211-220.
38. Michaux, M.R. Oberste-Padtberg og C. Defosse, 1986: Oil Well Cement Slurries. II Adsorption Behaviour of Dispersants", Cem. Concr. Res, 10, pp. 921-930.
39. Krell, Jürgen og Wischers, Gerd, 1988: "Einfluss der Feinststoffe im Beton auf Konsistenz, Festigkeit und Dauerhaftigkeit". Beton No. 9, pp. 356-359.



