Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 80 1995

Fragmentering og genanvendelse af beton

Miljø- og Energiministeriet **Miljøstyrelsen**

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen
Nr. 80 1995

Fragmentering og genanvendelse af beton

Demex A/S
Axel Nielsen - Carl Bro A/S
Dansk Betonteknik A/S

Miljø- og Energiministeriet Miljøstyrelsen

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.

Indhold

Forord *5*

1 Sammenfatning og konklusioner *7*

1.1 Projekt *7*
1.1.1 Demoleringsforsøg 7
1.1.2 Materialeressourcer 9
1.1.3 Knusning og sortering 10
1.1.4 Genanvendelse 10

1.2 Konklusioner og anbefalinger *11*

2 Indledning *13*

2.1 Projekt *13*
2.2 Målsætning *13*
2.3 Baggrund *13*
2.4 Gennemførelse *15*
2.5 Følgegruppe *15*
2.6 Vurdering af projektforløb *16*
2.7 Rapportering *16*

3 Nedrivningsprojekt *17*

3.1 Beskrivelse af bro nr. 20205 *17*
3.2 Projektering og udbud *18*
3.3 Nedrivning *19*
3.4 Arbejdsmiljø *20*
3.5 Paradigma for nedrivningsprojekt *21*

4 Fragmentering af beton *23*

4.1 Grundlag og forudsætninger *23*
4.1.1 Partiel demolering 23
4.1.2 Hultagning 25

4.2 Indledende undersøgelser *25*
4.3 Demoleringsforsøg *25*

4.3.1 *Forsøgsplanlægning* *25*
4.3.2 *Gennemførelse af demoleringsforsøg* *26*
4.3.3 *Sprængningsforsøg* *26*
4.3.4 *Forsøg med ekspanderende mørtel* *32*
4.3.5 *Knusning af plade med kugle* *34*
4.3.6 *Hugning med hydraulisk hammer* *35*

4.4 Ultralydmåling *36*
4.5 Vibrationsmåling *38*
4.5.1 *Måleopstilling og instrumentering* *38*
4.5.2 *Signalbehandling* *39*

4.6 Betonundersøgelser *46*

5 Genanvendelse af beton *47*

5.1 Grundlag og forudsætninger for genanvendelse *47*
5.1.1 *Vurdering af materialeressourcer i motorvejsbro* *47*
5.1.2 *Vurdering af materialeressourcer generelt* *48*
5.1.3 *Forundersøgelser, genbrugsmaterialer* *50*

5.2 Knusning, sortering og undersøgelser *52*
5.2.1 *Undersøgelse af materiale efter knusning* *54*

5.3 Genanvendelse *62*
5.3.1 *Genanvendelse i husbyggeri* *62*
5.3.2 *Knust beton i skørtelementer* *64*

5.4 Opfølgning *66*

6 Sammenfattende konklusioner *67*

6.1 Vurdering af ydelser af demoleringsmetoder *67*
6.2 Vurdering af skader på betonkonstruktionen *68*
6.3 Vurdering af dynamiske påvirkninger *69*
6.4 Genanvendelseserfaringer *70*

7 Referencer *71*

Tillæg: Paradima for nedrivningsprojektering *73*

Forord

I takt med den stigende udvikling af genanvendelsesindustrien, specielt inden for bygge- og anlægssektoren, er der opstået behov for viden om fragmentering af beton for at kunne nedrive betonkonstruktioner og oparbejde betonmaterialerne til genanvendelige materialer af højest mulig kvalitet og til lavest mulige produktionsomkostninger.

Med udgangspunkt heri er der i perioden juni 1990 til maj 1993 gennemført et projekt med det hovedformål at undersøge og dokumentere metoder til optimal nedrivning af armerede betonkonstruktioner og genanvendelse af beton.

Miljøstyrelsen og A/S Storebæltsforbindelsen

Projektet er gennemført som et kombineret udviklings- og demonstrationsprojekt i overensstemmelse med Miljøstyrelsens handlingsplan for bygge- og anlægsaffaldsområdet 1989-1991. Projektet er støttet af Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi samt A/S Storebæltsforbindelsen.

Foruden projektgruppen bestående af DEMEX Rådgivende Ingeniører A/S, Axel Nielsen · Carl Bro as og Dansk Beton Teknik A/S har følgende medvirket:

- A/S Storebæltsforbindelsen	Bygherre, demonstrationsprojekt
- Andelsboligforeningen Højstrup	Bygherre, genanvendelsesprojekt
- Vejdirektoratet	Bygherre, støjskærm ved Nyborg
- Byfornyelsesselskabet Odense	Koordinator, genanvendelse
- Per Aarsleff A/S	Hovedentreprenør, nedrivning
- Kingo Karlsen A/S	Nedrivningsentreprenør
- TARCO VEJ A/S, Fjelsted	Knusning af materialer
- Det Danske Sprængstofselskab A/S	Levering af sprængstof
- ONODA Cement Corp. Ltd. Tokyo	Levering af ekspanderende mørtel
- John Stæhr Videoproduktion	Videoproduktion

Følgegruppen

I henhold til Miljøstyrelsens betingelser har der været nedsat en følgegruppe under Miljøstyrelsens formandskab med følgende repræsentation:

- Lars Søborg	Miljøstyrelsen
- Nils Havsten	A/S Storebæltsforbindelsen
- Christian Sylvest Pedersen	Vejdirektoratet, Broafdelingen
- Bjarne Chr. Jensen	Det europæiske Normarbejde
- Ole Wang Sørensen	DSB Anlægstjenesten
- Palle Matzen	Fyns Amtskommune
- Peter Dansholm	Nyborg Kommune
- Erik Bitsch Olsen	Axel Nielsen · Carl Bro as
- Anders Henrichsen	Dansk Beton Teknik A/S
- Erik K. Lauritzen	DEMEX Rådgivende Ingeniører A/S
- Jens Kirketerp Jensen	DEMEX Rådgivende Ingeniører A/S

1 Sammenfatning og konklusioner

1.1 Projekt

I forbindelse med etablering af landanlæg til Storebæltsforbindelsen har det været nødvendigt at nedrive en motorvejsbro ved færgelejet i Knudshoved. Broen - populært kaldet "Bilgravsminde" - blev opført i årene 1985-86 som led i det tidligere projekt vedr. sammenlægning af færgedriften for tog og biler over Storebælt.

Demonstrationsprojekt

I anledning af dette nedrivningsprojekt blev der med accept fra A/S Storebæltsforbindelsen gennemført et demonstrationsprojekt omfattende undersøgelse af nedrivningsmetoder og genanvendelse af knust beton som tilslagsmateriale i ny beton.

Bro 20205

Broen var bygget som en ca. 20° skævvinklet overføring af motorvej over bane og vej. Konstruktionen var en kontinuert 2-fags pladebro, tæt armeret med slap armering og spændarmering i 3 retninger. Til opførelsen af broen blev der anvendt ca. 3.700 m³ armeret beton, heraf ca. 500 t stål.

Umiddelbart forinden opstart af hovedentreprisen for nedrivning af motorvejsbroen blev der gennemført en serie forsøg for at afprøve forskellige demoleringsmetoder. Den nedrevne beton fra demoleringsforsøg-ene blev derefter knust og størrelsessorteret til et materiale, der var velegnet som betontilslag. Genanvendelsestilslagsmaterialet blev anvendt i ny beton i to særskilte bygværker.

Da demoleringsforsøgene var afsluttet, startede hovedentreprisen for nedrivningen. Den resterende mængde nedrevne betonbrokker blev derefter nedknust på arbejdspladsen, og det knuste materiale indbygget i dæmningen til den kommende faste forbindelse.

1.1.1 Demoleringsforsøg

I forbindelse med tidligere undersøgelser vedr. genanvendelse af beton er man blevet opmærksom på, at såvel kvalitet af det genanvendelige materiale som den procentuelle mængde af spild kan afhænge af nedrivningsarbejdets udførelse.

Demoleringsmetoders brudmekaniske konsekvenser

De forskellige demoleringsmetoders brudmekaniske konsekvenser har desuden en væsentlig betydning for valg af demoleringsmetode ved partiel nedrivning af betonkonstruktioner i forbindelse med ombygnings- og reparationsarbejder.

På dette grundlag blev følgende undersøgt:

- Tilsigtet brydning af armeret beton med henblik på demolering og genanvendelse.
- Utilsigtede revneskader på betonkonstruktioner i forbindelse med partiel demolering.

Undersøgelserne omfattede følgende ved demoleringsforsøg:

- Sprængning af kantbjælke, broplade og huller i broplade med forskellige sprængstoftyper og ladningsstørrelser.
- Brydning af kantbjælke med to typer ekspanderende mørtel.
- Knusning af broplade med kugle og wire-maskine.
- Hugning af kantbjælke, broplade og huller med hydraulisk hammer.

Vurdering af ydelser af demoleringsmetoder:

1. Ved hovednedrivningen af bropladen blev anvendt en 1.350 kg hydraulisk hammer, som viste sig at være hensigtsmæssig. Det er dog ikke muligt ud fra de gennemførte forsøg at foretage en umiddelbar sammenligning mellem hugning og sprængning med hensyn til effektivitet, idet hugningen hovedsageligt blev gennemført som egentlig nedrivning, og sprængningen blev udført som små forsøgssprængninger.

2. Nedrivning af brodækket med kugle og wire-maskine var tidkrævende og ineffektiv. Ved den efterfølgende nedrivning af støttemure og søjler (de lodrette konstruktionsdele) viste kuglen sin effektivitet og hurtighed.

3. Sprængningsforsøg har vist, at den optimale størrelse af den specifikke ladning harmonerer med den vejledende ladningstabel.

4. Forsøg med de to typer ekspanderende mørtel viste, at demoleringsmetoden tager betydeligt længere tid end beregnet.

Vurdering af skader på betonkonstruktion:

Analyser af borekerner

Petrografiske analyser af borekerner udtaget i observationsområder før og efter nedrivning anvendes til sammenligning af skadevirkninger ved forskellige demoleringsmetoder. Følgende bemærkes:

1. Der er ikke konstateret signifikant forskel på skadevirkning i de tilstødende konstruktionsdele fra nedrivning ved sprængning og ved hugning.

2. Ved anvendelse af sprængning eller hugning i områder med ringe armeringsgrad synes de opståede skader på bibeholdte konstruktionsdele at være beskedne. Der er i sådanne konstruktionsdele ikke observeret skader på beton i afstande, der overstiger 150 mm fra brudfladen.

3. Det konstateredes, at der i områder med høj armeringsgrad som følge af enten spændt eller slap armering må forventes, at betonen vil være stærkt beskadiget i en afstand af op til 300 mm fra brudfladen - uanset nedrivningsmetode.

Dynamiske påvirkninger

Vurdering af dynamiske påvirkninger:

1. Resultaterne af ultralydmålingerne bekræftede, at der efter sprængning ikke kan konstateres skader på den tilbagestående beton i større afstande end 400-500 mm fra sprængningsstedet. Undersøgelse af borekerner viser imidlertid kun skader indtil 150-300 mm fra sprængningsstedet.

2. Ved større sprængningsserier og kraftigere sprængladninger må der forventes accelerationer nærmest sprængningsstedet af størrelsesorden 10.000 m/s² (1.000 g), svingningshastigheder på 10 m/s og flytninger på ca. 1 mm.

3. Ved at kontrollere sprængningerne og afpasse ladningsstørrelserne er det imidlertidigt muligt at reducere svingningspåvirkningerne på den omgivende konstruktion væsentligt; men arbejdet bliver mere tidkrævende.

4. Ved hugning med 1.350 kg hammer registreredes for de enkelte slag accelerationer tæt på demoleringssted omkring 100 m/s² (10 g), svingningshastigheder på 0,1 m/s og flytning på 0,1 mm.

1.1.2 Materialeressourcer

Der findes ikke regler for udførelse af forundersøgelser på betonkonstruktioner, der påtænkes nedknust og genanvendt som tilslag i ny beton.

Kvalitet af beton i relation til genanvendelse

Derfor er der med henblik på vurdering af kvaliteten af beton i motorvejsbroen i relation til genanvendelse gennemført en række analyser af borekerner udboret i den intakte bro.

De udborede betonprøver er derefter undersøgt med henblik på vurdering af følgende egenskaber af de fremtidige genanvendelsesmaterialer:

- Frostbestandighed
- Alkali-kisel-reaktivitet
- Tilslagets styrke

Miljø- og styrkeklasse

På grundlag af de gennemførte undersøgelser konkluderedes, at betontilslag fremstillet af beton fra motorvejsbroen er egnet som tilslag til beton i enhver styrkeklasse samt som tilslag til beton i passiv og moderat miljøklasse.

1.1.3 Knusning og sortering

De nedrevne betonbrokker fra demoleringsforsøgene på motorvejsbroen blev knust ned til et 0-32 mm materiale og fraktionssorteret. Der udførtes analyser af det nedknuste materiale, og følgende konkluderedes:

1. Der kan ikke påvises nogen signifikant forskel på de nedknuste materialers egenskaber som følge af den anvendte demoleringsmetode.

2. Kornformen for det nedknuste materiale, større end 4 mm, opfylder kravene til tilslag for kvalitetsbeton.

3. Med hensyn til betonfremstilling har 0-4 mm fraktionen for de nedknuste materialer en ugunstig kornstørrelsesfordeling med et meget højt indhold af fint materiale.

4. Vandabsorptionsevnen for de nedknuste materialer er væsentligt højere end for naturlige tilslagsmaterialer, hvorfor der skal gives materialerne lejlighed til at blive vandmættede ved blandeprocessen.

1.1.4 Genanvendelse

Knusning og sortering af de nedrevne materialer fra demoleringsforsøgene resulterede i ca. 230 tons materiale, som er egnet til betontilslag. Materialet er genanvendt i beton i passiv og aggressiv miljøklasse i følgende to demonstrationsprojekter:

Genbrugsbeton i boligbyggeri

Genbrugshuset, Møllebrogård, Carlsgade, Odense:
I boligbyggeriet Møllebrogården, bygherre: Andelsboligforeningen Højstrup, indgår knust materiale fra motorvejsbroen som betontilslag i to betonkvaliteter i passiv miljøklasse:

- Beton 30, som er in situ støbt i konstruktioner omkring et sikringsrum og et offentligt beskyttelsesrum

- Beton 20, som er in situ støbt i dækkonstruktioner over normale beboelses- og kælderrum.

Betonproducentens konklusion vedr. forsøget var, at det har været en positiv oplevelse at anvende knust byggeaffald. Da det er et enkeltstående forsøg, har det givet nogle - også økonomisk belastende - gener i den daglige produktion, bl.a. fordi der måtte reserveres ibrugværende tilslagssiloer specielt til det knuste betonmateriale, ligesom blandeanlæg og betonkanoner er rengjort ekstraordinært efter levering af beton med genanvendelsestilslag.

Udstøbningen på pladsen forløb - i lighed med erfaringer fra andre demonstrationsprojekter - normalt, idet entreprenøren gav udtryk for, at betonen m.h.t. bearbejdelighed ikke adskiller sig fra normal beton.

Skørtelementer til støjskærm ved Nyborg:

Den ca. 1,5 km lange støjskærm ligger langs motorvejen ved Nyborg.

Genbrugsbeton i aggressiv miljøklasse

På grund af støjskærmens placering, udendørs og tæt ved en trafikeret motorvej, svarer omgivelsernes påvirkning til aggressiv miljøklasse. Dette medfører, at det er krav til betonens tæthed og ikke til dens styrke, som er bestemmende for blanderecepten. Da der findes få erfaringer med anvendelse af knust beton som tilslag i beton i aggressiv miljøklasse, anvendtes 3 forskellige forsøgsbetonblandinger.

1.2 Konklusioner og anbefalinger

Demonstrationsprojektet har omfattet mange forskellige tekniske undersøgelser, hvilket har resulteret i en betydelig mængde af data og erfaringer. Med henvisning til listen over konklusioner i afsnit 6 skal følgende erfaringer og anbefalinger fremhæves:

Vedr. nedrivningsmetode:

Hugning kontra sprængning

Nedrivning af kantbjælke og broplade ved hugning med hydraulisk hammer viste sig i dette tilfælde at være en hensigtsmæssig løsning. Metoden forudsatte imidlertid, at der blev anvendt en passende stor hammer, og at man til stadighed var opmærksom på bropladens restbæreevne, idet maskinen opererede stående på bropladen. Dertil kommer, at der er betydelige arbejdsmiljø problemer forbundet med arbejdet på bropladen.

I tilfælde, hvor særlige forhold gør sig gældende, kan andre nedrivningsmetoder, fx kugle og sprængning, være mere hensigtsmæssige. Disse tilfælde er fx, hvor der er tale om tidsbegrænsede nedrivninger, nedrivning af kassedrager-konstruktioner eller konstruktioner med mangelfuldt injicerede kabler.

Med hensyn til sprængning skal bemærkes, at såfremt denne metode var valgt til nedrivning af bropladen, ville det være mest økonomisk at foretage sprængning af hele pladen på én gang. En sammenlignende ydelsesmæssig og økonomisk vurdering af de i rapporten beskrevne forsøg giver derfor ikke det rette billede af de to metoders konkurrenceevne.

Vedr. skader på beton ved partiel demolering:

Revnedannelse

Ved partiel nedrivning, fx ved reparation af kantbjælke, må man regne med væsentlig risiko for revneskader op til 150 mm fra brudfladen. Risiko for revneskader i afstande på mere end 400 mm fra brudfladen vurderes at være lille. Det antages endvidere, at armeringsjernenes placering og tæthed har en væsentlig betydning for revneudbredelse og risiko for revneskader. Det viste sig, at omfanget af revneskader tilsyneladende var uafhængigt af, om der var foretaget demolering ved hugning eller sprængning.

Det anbefales generelt, at demoleringsflader højtryksspules, og at der udføres kontrol af kvaliteten af betonen i den tilbagestående del af konstruktionen med egnede metoder forinden udstøbning af ny beton.

Vedr. genanvendelse af beton:

Tilslag uafhængigt af demoleringsmetode

Undersøgelse af de nedknuste materialer viste, at der uanset valg af demoleringsmetode ikke er signifikant forskel på tilslagsmaterialer fremstillet på baggrund af de tre forskellige demoleringsmetoder.

Der er i forbindelse med genanvendelse af beton i "Genbrugshuset" og støjskærmen, i lighed med tidligere erfaringer, konstateret gode egenskaber m.h.t. bearbejdelighed og udstøbning. Der er således efter justering af vandindholdet ikke konstateret afvigelser fra standardbeton.

Det er konstateret, at op til 40 % af det nedknuste materiale tilhører fraktionen 0 - 4 mm, der ikke er anvendelig som tilslagsmateriale i ny beton, hvilket forringer økonomien ved genanvendelse som tilslag.

Det anbefales derfor, at man fortsætter bestræbelserne på forbedring af sorteringsprocessen før knusning, af knuseprocesser generelt og at udviklingsarbejder med henblik på etablering af anvendelsesmuligheder for de fine materialer fremmes.

Opfølgende undersøgelser

Det anbefales endvidere, at der foretages en opfølgende undersøgelse og evaluering af de to genanvendelsesprojekter. Der er navnlig behov for en løbende undersøgelse af betonen i støjskærmen ved motorvejen i Nyborg, hvorved der kan opnås erfaringer med hensyn til genbrugsbetons egenskaber i aggressiv miljøklasse.

2 Indledning

2.1 Projekt

I tiden fra 1. juni 1990 til 31. maj 1993 er der gennemført et projekt "Fragmentering og genanvendelse af beton" med det formål at undersøge og dokumentere metoder til optimal nedrivning af armerede betonkonstruktioner og genanvendelse af beton.

Projektet, som indgår i Miljøstyrelsens handlingsplan for bygge- og anlægsaffaldsområdet 1989 - 1991, er finansieret af Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi (Genanvendelsesrådet) med støtte fra A/S Storebæltsforbindelsen.

Projektet er gennemført af en projektgruppe bestående af følgende selskaber:

- DEMEX Rådgivende Ingeniører A/S
- Axel Nielsen · Carl Bro as
- Dansk Beton Teknik A/S

2.2 Målsætning

Projektet er udført som et kombineret udviklings- og demonstrationsprojekt med følgende indhold og formål:

- Undersøgelse af forskellige demoleringsmetoders egenskaber med hensyn til partiel nedrivning af armeret beton og genanvendelse af beton.
- Undersøgelse af genanvendelse i beton i moderat eller aggressiv miljøklasse.
- Gennemførelse af demonstrationsprojekt i forbindelse med nedrivning af motorvejsbro ved Nyborg og oparbejdning af materialer til beton i ny konstruktion.
- Udarbejdelse af paradigma for udbuds- og anlægsforskrifter for nedrivning af betonbroer.

2.3 Baggrund

Behov for viden om betonbrydning

I forbindelse med det stadig stigende behov for reparation, renovering og nedrivning af betonkonstruktioner er det nødvendigt at udbygge den praktiske viden om de brudmekaniske forhold under betonbrydning. Denne viden har betydning for valg af demoleringsmetoder under hensyntagen til økonomi, tid, miljø og genanvendelse af nedrivningsprodukterne. Dertil

kommer behov for at kunne vurdere og begrænse risici for beskadigelse af konstruktionsdele, der skal bevares.

Det er konstateret, at der ikke foreligger viden af betydning om de brudmekaniske forhold i beton under demolering. Mange af de anvendte demoleringsmetoder er ikke tilfredsstillende beskrevet og klassificeret med hensyn til praktiske egenskaber, specielt vedr. effektivitet og miljøpåvirkninger. En generel orientering om demoleringsmetoder og -maskiner fremgår af "Nedrivningshåndbogen" [3] og RILEM-publikationen "Demolition Methods & Practice" [4].

En optimal genanvendelse af beton er betinget af, at der fremstilles det bedst mulige materiale, og at spild reduceres til et minimum. De seneste undersøgelser vedr. genanvendelse af beton, jf. Miljøprojekt nr. 157 "Anvendelse af nedknust beton i ny beton" [5] og Miljøprojekt nr. 181 "Beton med nedknust tegl som tilslag" [6], har indikeret, at planlægning og gennemførelse af nedrivningsarbejder har væsentlig betydning for genanvendelse af nedrivningsprodukterne.

Genbrugsbeton og miljøklasser

Dansk Betonforening har i oktober 1989 udgivet "Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton i passiv miljøklasse" [7]. Implementering af denne anvisning i den danske betonindustri og tilliden til beton, som fremstilles efter denne anvisning, afhænger af de dokumenterede resultater. Som opfølgning af de igangsatte demonstrationsprojekter ved anvendelse af genanvendelsesmaterialer i passiv miljøklasse vurderes det at være af stor betydning, at der udføres undersøgelser af genanvendelsesmaterialers egnethed til anvendelse i beton i moderat eller aggressiv miljøklasse.

Endelig er det vurderet af stor betydning, at der udføres et eller flere demonstrationsprojekter, hvor samtlige processer er nøje planlagt og styret. De fleste demonstrationsprojekter, som tidligere er udført med støtte fra Genanvendelsesrådet, har været koncentreret om enkelte delprocesser. Resultaterne har derfor været påvirket af, at andre processer i nedrivnings- og oparbejdningsforløbet ikke har været kontrolleret, og at disse undertiden er forløbet mindre hensigtsmæssigt.

Paradigma for nedrivning

De større bygherrer i Danmark for så vidt angår anlægsprojekter - DSB, Vejdirektoratet, A/S Storebæltsforbindelsen og A/S Øresundsforbindelsen anvender i udstrakt grad paradigmaer til styring af udbudsbetingelser og tekniske specifikationer for anlægsaktiviteter. Det er derfor fundet naturligt og hensigtsmæssigt at drage nytte af demonstrationsprojektets erfaringer og på dette grundlag udarbejde forslag til paradigma for nedrivning af betonbroer. Det er hensigten, at dette paradigma tilpasses i paradigmasystemet hos de nævnte bygherrer.

Projektet er tilrettelagt og gennemført med henblik på den størst mulige udnyttelse af erfaringer og resultater fra tidligere projekter, som er udført med støtte fra Genanvendelsesrådet, suppleret med de nyeste, internationale forskningsresultater.

2.4 Gennemførelse

Projektet og broen

Relativt tidligt i projektets forløb lykkedes det projektgruppen at opnå en principiel accept fra A/S Storebæltsforbindelsen (Storebælt) om, at den planlagte nedrivning af motorvejsbro 20205 ved Nyborg, populært kaldet "Bilgravsminde", kunne gennemføres som demonstrationsprojekt. Følgelig koncentreredes projektets ressourcer hovedsagelig om planlægning og gennemførelse af denne nedrivningsopgave med efterfølgende oparbejdning af materialer.

En del af disse materialer er anvendt til opførelse af "Genbrugshuset" i Odense og i skørtelementer i en støjskærm i Nyborg. Resterende materialer blev anvendt i dæmningerne til Vestbroen i Storebæltsforbindelsen.

Umiddelbart forinden demoleringsforsøg gennemførtes belastningsforsøg af broen. Disse forsøg er ikke medtaget i nærværende projekt, og der henvises til særskilt rapport [19].

Foruden projektgruppen bestående af DEMEX A/S, Axel Nielsen · Carl Bro as og Dansk Beton Teknik A/S har følgende medvirket i projektet:

- A/S Storebæltsforbindelsen	Bygherre, demonstrationsprojekt
- Andelsboligforeningen Højstrup	Bygherre, genanvendelsesprojekt
- Vejdirektoratet	Bygherre, støjskærm ved Nyborg
- Byfornyelsesselskabet Odense	Koordinator, genanvendelse
- Per Aarsleff A/S	Hovedentreprenør, nedrivning
- Kingo Karlsen A/S	Nedrivningsentreprenør
- TARCO VEJ A/S, Fjelsted	Knusning af materialer
- Det Danske Sprængstofselskab A/S	Levering af sprængstof
- ONODA Cement Corp. Ltd. Tokyo	Levering af ekspanderende mørtel
- John Stæhr Videoproduktion	Videoproduktion

2.5 Følgegruppe

I henhold til Miljøstyrelsens betingelser [1] har der været nedsat en følgegruppe under Miljøstyrelsens formandskab med følgende repræsentation:

- Lars Søborg	Miljøstyrelsen
- Nils Havsten	A/S Storebæltsforbindelsen
- Christian Sylvest Pedersen	Vejdirektoratet, Broafdelingen
- Bjarne Chr. Jensen	Det europæiske Normarbejde
- Ole Wang Sørensen	DSB Anlægstjenesten
- Palle Matzen	Fyns Amtskommune
- Peter Dansholm	Nyborg kommune
- Erik Bitsch Olsen	Axel Nielsen · Carl Bro as
- Anders Henrichsen	Dansk Beton Teknik A/S
- Erik K. Lauritzen	DEMEX Rådgivende Ingeniører A/S
- Jens Kirketerp Jensen	DEMEX Rådgivende Ingeniører A/S

Følgegruppen har afholdt i alt 5 møder.

2.6 Vurdering af projektforløb

Det er projektdeltagernes vurdering, at projektet er gennemført i overensstemmelse med det oprindelige grundlag og formål med projektet.

Det aktuelle nedrivningsprojekt viste sig at være særdeles velegnet som demonstrationsprojekt, og gennemførelse af såvel demoleringsforsøg som nedrivning resulterede i en stor mængde af erfaringer og konkrete data med en tilfredsstillende kvalitet.

På grund af den lave byggeaktivitet i området, kunne der ikke udpeges et bygge-/anlægsprojekt, hvor de nedknuste betonmængder med økonomisk fordel kunne genanvendes som tilslagsmateriale til ny beton. Projektgruppen er dog af den opfattelse, at genanvendelse af et mindre parti til "Genbrugshuset" (Møllebrogård, Andelsboligforeningen Højstrup, Carlsgade) i Odense og til skørtelementer i støjskærm ved motorvej i Nyborg har resulteret i tilfredsstillende undersøgelsesresultater og erfaringer, der i passende omfang har opfyldt forventningerne til denne del af projektet.

Projektet har under hele forløbet været præget af stor interesse hos de medvirkende parter, og den tilfredsstillende gennemførelse tilskrives for en meget stor del de respektive bygherrer og entreprenører.

2.7 Rapportering

Denne foreliggende rapport dækker hele projektforløbet fra 1.5.1990 til afslutning af nedrivningsprojektet og knusning af materialer pr. 1.5.1992. Endvidere indeholder rapporten de foreløbige erfaringer, der er opnået ved genanvendelse af nedknust beton som tilslagsmateriale i ny beton i "Genbrugshuset" og skørtelementer i støjskærm ved projektafslutningen pr. 31.3.1993.

Væsentligste vurderinger og konklusioner

Rapporten er en sammenfatning af de væsentligste vurderinger og konklusioner, som fremgår af arbejdsrapport, august 1993, indeholdende alle detaljer for de udførte forsøg.

Der udarbejdes en videofilm om "Genbrugshuset" i Odense, hvori der indgår klip fra nedrivning af bro 20205.

Med hensyn til de anvendte fagudtryk m.v. inden for genanvendelsesområdet henvises til en ordliste, som er udarbejdet af Koordinationsgruppen vedr. bygningsaffald [8].

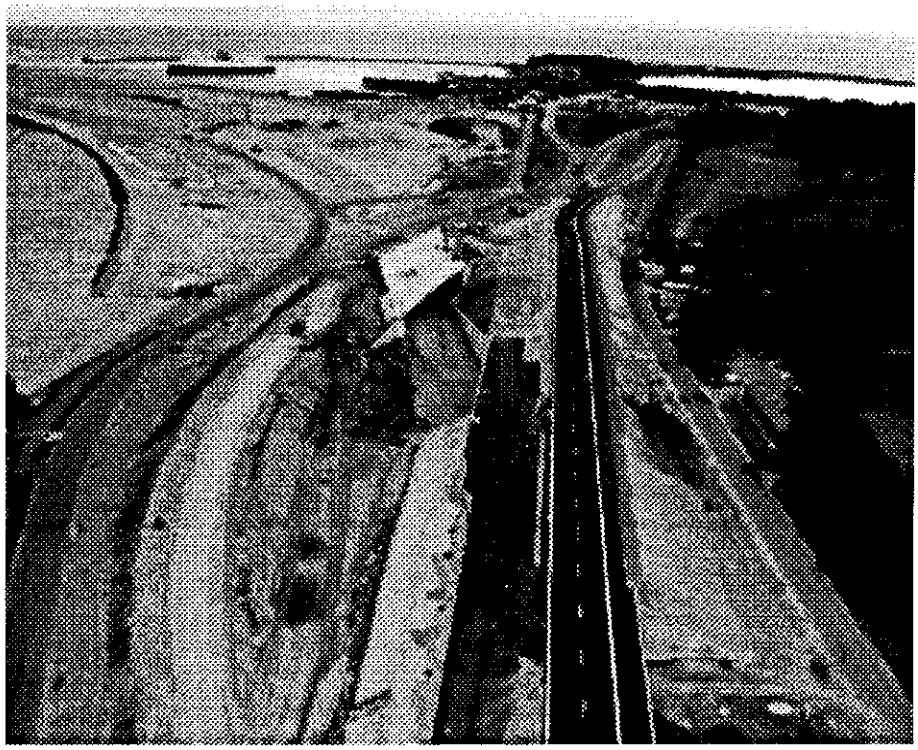
3 Nedrivningsprojekt

3.1 Beskrivelse af bro nr. 20205

I årene 1985 - 1986 opførtes en motorvejsbro for DSB, bro 20205, ved færgelejet i Knudshoved i forbindelse med de tidligere planer vedr. sammenlægning af færgedriften for tog og biler over Storebælt.

Fast forbindelse overflødiggjorde bro 20205

I 1987 vedtog Folketinget at etablere en fast forbindelse over Storebælt. I den endelige udformning viste det sig ikke muligt at indpasse bro 20205 i den planlagte linieføring for den faste forbindelse, og der blev truffet beslutning om at erstatte broen med en ny bro umiddelbart ved siden af. På figur 3.1 ses i midten bro 20205 og nærmere i billedet den nye bro.

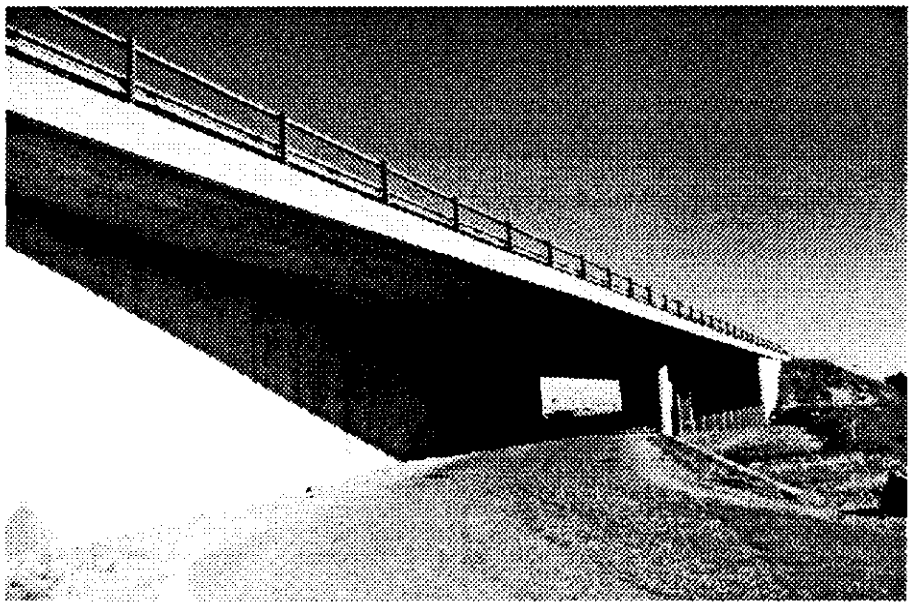


Figur 3.1. *Luftfoto visende bro 20205 efter affræsning af asfalt og umiddelbart før nedrivning. Til højre ses motorvejen til færgeterminalen omlagt over den nye bro og yderst til venstre anes Storebæltsforbindelsens vestbro under bygning.*

Bro 20205 blev opført i perioden 19. september 1985 til 9. oktober 1986 som en skævvinklet overføring af motorvej over bane og vej. Skæringsvinklen er ca. 20°. Broen er opført som en lukket kontinuerlig 2-fags pladebro med en stor mængde tæt, slap armering og spændarmering i tre retninger.

Broen blev færdiggjort af A/S Storebæltsforbindelsen i 1988 og anvendt til midlertidig forlægning af motorvejen over en kommunevej og senere over en arbejdsvej til landanlægget til Storebæltsforbindelsen.

Til opførelse af broen er der anvendt ca. 3700 m^3 armeret beton, heraf ca. 500 t stål.



Figur 3.2. Foto visende bro 20205 set fra vest. Under broen er anlagt en midlertidig kommunevej/arbejdsvej til Vestbroen.

3.2 Projektering og udbud

A/S Storebæltsforbindelsen planlagde at udføre nedrivning af bro 20205 snarest efter ibrugtagning af ny bro, jf. figur 3.1, og flytning af trafikken ultimo juli 1991. Af hensyn til de planlagte landanlæg i tilslutning til Vestbroen skulle nedrivning af broen afsluttes snarest herefter og senest med udgangen af oktober 1991.

Det blev herefter planlagt at gennemføre belastningsforsøg af broen og udføre nedrivningsarbejdet i tiden fra 5.8. til 1.11.1991.

Projektering af nedrivningsarbejdet blev udført af Axel Nielsen · Carl Bro as under hensyntagen til de fremsatte ønsker fra projektgruppen om at gennemføre nedrivningsprojektet som et demonstrationsprojekt.

Da der var tale om begrænsede pladsforhold og en kraftig og tæt armering af pladen, vurderede DEMEX A/S, at sprængning var en relativ gunstig metode til nedrivning af bropladen. Vederlag og søjler forventedes at kunne nedrives med kugle og hydraulisk hammer.

Idet tilsynet under broens bygning har fundet injiceringen af spændkablerne tilfredsstillende og udført på betryggende vis, forudsås der ingen umiddelbare risici for utilsigtede energiudløsninger i forbindelse med overskæring af kablerne.

3.3 Nedrivning

Nedrivningsentreprisen blev overdraget til Per Aarsleff A/S. Selve nedrivningen blev foretaget af Kingo Karlsen A/S, Silkeborg. Tilsyn med projektets gennemførelse blev varetaget af A/S Storebæltforbindelsen med bistand fra Axel Nielsen · Carl Bro as.

To uger til forsøg

Efter fjernelse af asfaltbelægning m.v. blev der brugt to uger til gennemførelse af demoleringsforsøg, som er nærmere beskrevet i kap. 4, hvorefter den egentlige nedrivningsentreprise kunne færdiggøres.

Den forspændte broplade blev nedrevet v.h.a. 2 stk. gravemaskiner med hydrauliske mejselhamre.

Mellemsøjler, endevederlag og fløjmur blev nedrevet til nedrivningsgrænsen, hovedsageligt med kugle. Assistance fra den hydrauliske hammer var påkrævet visse vanskelige steder. Nedrivningens fremdrift pr. 4. oktober 1991 fremgår af figur 3.3.

Nedrivningsgrænser var bestemt af terræn- og konstruktionsforholdene for de nye anlæg på stedet. Af udbudsmaterialet fremgår følgende grænser:

- Sydlige endevæg og syd-vestlige fløjmur skulle nedrives til 0,7 m under fremtidigt terræn.
- Nordlige endevæg skulle nedrives til overside fundament.
- Mellemsøjlerne med tilhørende støttemur skulle nedrives til 1,0 m under råjordsplanum for den kommende bane.

De nedrevne betonbrokker blev neddelt med en hydrauliske betonknuser monteret på en gravemaskine til en størrelse, som var passende til knuseanlægget. Den største del af armeringsstålet (både spændt og slapt) blev frasorteret samtidig.

De neddelte brokker blev oplagt umiddelbart i nærheden af brostedet, og det frasorterede armeringsstål læsset på lastvogn, bortkørt og solgt som skrot.

Mobilt knuseanlæg

Et mobilt knuseanlæg blev opstillet på arbejdsområdet, og al betonen fra hovednedrivningen blev knust til fyldmateriale med største diameter d_{max} på 100 mm, og indbygget i dæmningen til den kommende motorvej til Vestbroen, ca. 500 m fra nedrivningspladsen. En stor del af det knuste materiale blev læsset direkte på dumper og kørt til fyldplads uden en mellemliggende oplægning.

Figur 3.3 Foto visende nedrivningsarbejdernes fremdrift d. 4. oktober 1991.

Den resterende del af de nedknuste materialer er anvendt som tilslag i ny beton i betonkonstruktioner i "Genbrugshuset" i Odense og til skørtelementer i støjskærm i Nyborg.

Mindre mængder af ikke-genanvendelige materialer (plastrør, m.v.) blev kørt til forbrænding.

Nedrivning, knusning og indbygning fulgte entreprenørens arbejdsplan, og tidsfristerne blev overholdt.

3.4 Arbejdsmiljø

Håndværktøj og vibrationer

Nedrivningsarbejdet blev gennemført med særlig opmærksomhed rettet mod arbejdsmiljøproblemer. Det gjaldt specielt problemer vedr. vibrationer ved boring med håndværktøj. Disse problemer var foranlediget af, at der i starten af arbejdet var store problemer med det maskinelle boregrej, hvorfor det var nødvendigt at foretage boring af sprænghuller med håndkraft. Desuden var der til stadighed problemer med opretholdelse af afspærring af broens kanter med hensyn til risiko for nedstyrtning samtidig med gennemførelse af nedrivningsarbejdet. Alle spørgsmål vedr. arbejdsmiljø afklaredes løbende med støtte fra Arbejdstilsynet, kreds Fyns amt.

3.5 Paradigma for nedrivningsprojekt

Paradigma er supplement

Af tillæg til rapporten fremgår udkast til paradigma for nedrivning af betonbroer. Dette paradigma er udarbejdet som et supplement til "Udbuds- og anlægsforskrifter for betonbroer", der anvendes af Vejdirektoratet til brug ved udbud af anlægsarbejder.

Udbuds- og anlægsforskrifterne for nedrivning af betonbroer indeholder:

- Vejledning
- Paradigma for særlig arbejdsbeskrivelse (SAB-P)
- Paradigma for tilbuds- og afregningsgrundlag (TAG-P)
- Paradigma for tilbudsliste (TBL-P)

4 Fragmentering af beton

4.1 Grundlag og forudsætninger

Denne del af projektet vedrører undersøgelser af de brudmekaniske forhold i armeret beton i forbindelse med:

- Tilsigtet brydning af armeret beton med henblik på demolering og genanvendelse
- Utilsigtede revneskader på betonkonstruktioner i forbindelse med partiel demolering

Inden for råstofindustrien er der foretaget omfattende studier af fragmentering af sten og klippe med henblik på optimal fremstilling af sten- og grusmaterialer af højeste kvalitet til lavest mulige produktionsomkostninger.

Fragmentering af beton

I takt med den stigende udvikling af genanvendelsesindustrien, specielt inden for bygge- og anlægssektoren, er der opstået behov for viden om fragmentering af beton for at kunne nedrive (demolere) betonkonstruktioner og oparbejde betonmaterialerne til genanvendelige materialer af højeste kvalitet og til lavest mulige produktionsomkostninger.

I forbindelse med tidligere undersøgelser vedr. genanvendelse af beton, fx Miljøprojekterne nr. 157 [5] og nr. 181 [6] er man blevet opmærksom på, at såvel kvalitet som den procentuelle mængde af spild afhænger bl.a. af nedrivningsarbejdets udførelse og af nedrivningsmaterialets behandling af før det oparbejdning i knuseanlæg.

De forskellige demoleringsmetoders brudmekaniske egenskaber har desuden en væsentlig betydning for partiel demolering af betonkonstruktioner i forbindelse med ombygnings- og reparationsarbejder. Som regel vil de mest effektive og billigste demoleringsmetoder medføre de største miljøgener og risici for skader på konstruktionsdele, der skal bevares.

4.1.1 Partiel demolering

Reparation og metode

Foranlediget af de senere års reparationsarbejder på broer og andre anlæg rundt om i landet er der etableret forståelse for behovet for effektive og skånsomme metoder til partiel demolering.

Almindeligt forekommende betonreparationsopgaver på vejbroer er udskiftning af søjler og kantdragere. Ved reparation af kantdragere forudsættes sædvanligvis, at hovedarmeringen i dragere og broplade skal bevares og derfor ikke må beskadiges. Det samme gælder naturligvis eventuelle spændbetonforankringer. Der kan nævnes følgende relevante demoleringsmetoder:

- Hugning med håndholdt hammer
- Hugning med maskinhammer
- Knusning med betonsaks
- Sprængteknik
- Ekspanderende mørtel
- Højtryksspuling

De enkelte metoders egnethed afhænger i høj grad af de aktuelle omstændigheder. Det gælder specielt mængder og dimensioner af beton, som skal fjernes.

Materiel til hugning

Hugning med håndholdt hammer er meget tidkrævende og belastende for såvel arbejdsmiljø som eksternt miljø. Hugning med maskinmonteret hammer bør udføres efter nærmere overvejelse af hammerens størrelse i forhold til opgavens karakter, idet meget store hamre kan foranledige skader i brokonstruktionen samt ødelæggelse af armeringen.

Knusning med betonsaks, monteret på en gravemaskine, vil ofte være en effektiv og miljøvenlig demoleringsmetode; men det kan være forbundet med problemer at undgå at beskadige armeringsjern.

Sprængning

Sprængteknik har med vellykkede resultater været anvendt til partiel demolering af søjler og kantbjælker på mange broer i de senere år. Sprængningsarbejdet udføres som "MINI-BLASTING" med mange små sprængladninger anbragt i 18-20 mm borehuller. Sprængningsstedet afdækkes effektivt med tæpper, fx af aramidfibre eller geotekstiler, således at sprængningsarbejdet kan udføres på arbejdspladsen uden gene for trafikken og andre på pladsen. Der er sædvanligvis kun ringe risiko for skader på armeringen.

Ekspanderende mørtel

Udviklingen af ekspanderende mørtler er fortrinsvis sket i Japan, og demoleringsmetoden har endnu ikke slået an i Europa, idet metoden bl.a. på grund af boreomkostninger og relativ høj materialepris er mindre konkurrencedygtig. Fra tidligere forsøg i Danmark har man erfaret, at effekten i kraftigt armerede konstruktioner er meget begrænset.

Højtryksspuling af beton har vundet betydeligt terræn inden for overfladebehandling og fjernelse af dæklag. Metoden er mindre konkurrencedygtig med hensyn til fjernelse af større betonpartier på grund af det relativt høje tids-, energi- og vandforbrug. Sammenlignet med de øvrige metoder er højtryksspuling meget kontrollabel med hensyn til uønskede påvirkninger på den resterende betonkonstruktion og armeringsstål. Derfor forventes det, at højtryksspuling vil få stor betydning for partiel nedrivning i fremtiden.

Forskel i egnethed

Sammenfattende for de nævnte demoleringsmetoder skal anføres, at der er betydelig forskel i deres egnethed med hensyn til de mange forskellige opgaver og, at der savnes konkret viden og dokumentation med hensyn til de uønskede og skadelige påvirkninger på arbejdsmiljø, miljø og konstruktion i forbindelse med reparationsopgaver på større broer.

4.1.2 Hultagning

En særlig form for partiel demolering af beton er hultagning. Herved forstås etablering af huller til døre, vinduer og forsyningsåbninger m.v. i eksisterende betonkonstruktioner. Metoden, som bl.a. er beskrevet i [3], er almindelig anerkendt i Danmark. Cement- og Betoninstituttet i Stockholm har i midten af 80'erne gennemført undersøgelse af demoleringsmetoder, specielt sprængning, til hultagning i beton, jf. Molin [9,10]. Undersøgelserne konkluderer generelt, at sprængteknik er en konkurrencedygtig metode til hultagning i beton. Det er imidlertid ønskeligt, at der fortsat indhentes praktisk erfaring og yderligere dokumentation med hensyn til løsning af specifikke opgaver.

Redningsoperationer

Et særligt behov for hultagning i beton optræder i forbindelse med redningsoperationer, hvor mennesker er indespærret i betonbygninger og hulrum under nedstyrtede betonkonstruktioner. Hultagning i sådanne situationer skal gennemføres hurtigt, sikkert og uden utilsigtede skadespåvirkninger. Eksempelvis voldte hultagning i den nedstyrtede CYPRESS ELEVATED FREE WAY efter jordskælvet i Californien 17. oktober 1989 store problemer.

I Danmark har Rigspolitiet i samarbejde med DEMEX gennemført en lang række forsøg med hurtig hultagning under forskellige omstændigheder ved anvendelse af sprængteknik. Det er herunder påvist, at man kan kontrollere udkast og trykpåvirkninger i stor udstrækning. Men da man ikke kan se bort fra risici for utilsigtede påvirkninger, især udkast og rystelser, kræver hultagning med sprængteknik betydelig erfaring og en høj grad af teknisk dokumentation.

4.2 Indledende undersøgelser

Det har været en nødvendig forudsætning for demoleringsforsøgene, at der blev foretaget en nærmere undersøgelse af de praktiske muligheder for at registre og måle virkningerne af de enkelt demoleringsmetoder. I den anledning er der indledningsvis foretaget undersøgelse af virkningerne ved sprængning af piloteringspæle og pilotforsøg i forbindelse med nedrivningsarbejder på Tuborgs Bryggerier A/S.

4.3 Demoleringsforsøg

4.3.1 Forsøgsplanlægning

På grundlag af A/S Storebæltsforbindelsens planer for nedrivning af bro 20205 blev der i februar 1991 udarbejdet dispositionsforslag for nedrivningsprojekt og demonstrationsprojekt. Formålet med sidstnævnte var følgende:

- Undersøgelse af forskellige demoleringsmetoders egnethed til partiel nedrivning (hultagning, fjernelse af kantdragere m.v.)

- Undersøgelse af påvirkninger og skader på konstruktionen uden for nedrivningsområdet
- Ydelsesstudier for de forskellige demoleringsmetoder
- Undersøgelse af produkterne fra de forskellige nedrivningsmetoder med hensyn til genanvendelse som tilslag i ny beton.

Forsøgsområderne, som fremgår af fig. 4.1, blev fastsat under hensyntagen til broens stabilitet under forsøgene og ønsket om at undgå de tættest armerede områder i bropladen.

Under den endelig planlægning af forsøgene blev det af økonomiske og praktiske grunde besluttet at undlade diamantskæring af hul og knusning med betonsaks.

Projektgruppen planlagde og forestod selv prøveudtagning, målinger og øvrige registreringer.

Valg af materiel var i princippet lagt op til entreprenørens afgørelse under forudsætning af, at alt indsat materiel var i god vedligeholdelsesstand, driftsklart og uden fejl.

4.3.2 **Gennemførelse af demoleringsforsøg**

Forsøgene startede som planlagt i uge 33 (12. - 18.8). Demoleringsforsøgene blev udført med sædvanligt entreprenørmateriel. Fra de tre nedrivningsmetoder blev der opsamlet 3 partier nedrivningsprodukter:

- 56 m^3 brokker fra hugning med hydraulisk hammer
- 50 m^3 brokker fra nedrivning med kugle
- 82 m^3 brokker fra sprængning

Materialerne blev oplagt adskilt i depot med henblik på senere nedknusning og genanvendelse.

4.3.3 **Sprængningsforsøg**

Sprængning af kantbjælke og betonplade blev gennemført med sprængladninger anbragt i borehuller og antændt med elektriske millisekundforsinkelsesdetonatorer. Til forsøgene anvendtes tre forskellige sprængstoftyper: Dynamex, Sprængsnor (PETN) og Gurit.

Sprængstoftyper

Dynamex er et gængs, industrielt sprængstof med en detonationshastighed på 5.000 m/s og et gasvolumen på 877 l/kg. Det relativt store gasvolumen giver en kraftigere virkning i betonen sammenlignet med de to øvrige sprængstoftyper.

Sprængsnor med et indhold af PETN har en hurtigere detonationshastighed end Dynamex, men et mindre gasvolumen: 700 l/kg. Formbart PETN og sprængsnor er almindelig anvendt til MINI-BLASTING.

Gurit, som har en detonationshastighed på 2.400 m/s og et gasvolume på 393 l/kg, er det mest "skånsomme" af de tre sprængstoffer, idet eksplosionen er langsommere og giver en lavere impuls og chokpåvirkning. Gurit er derfor ofte anvendt til sprængning, hvor der skal tages særlige hensyn til risici for rystelser og udkast.

Sprængsnor og Gurit har den fordel, at sprængstoffet let fordeles til lange ladninger i borehuller, hvilket er medvirkende til at frembringe relativt pæne brudflader efter sprængning. Dette kunne fx konstateres ved sprængning af kantbjælke.

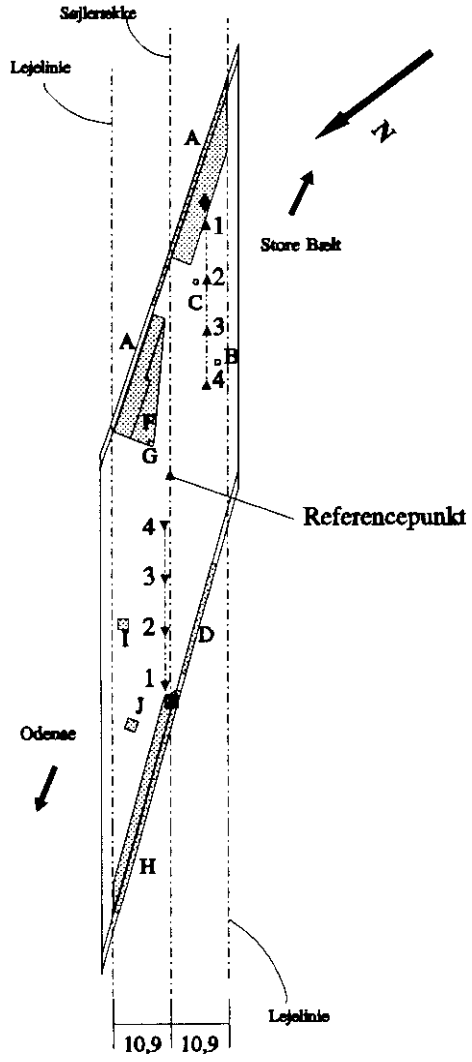
Afdækning

Sprængningstederne blev afdækket mod udkast ved en kombination af gummimåtter og fibertex, som blev lagt lagvis over sprængningsområdet og suppleret med et overliggende gruslag.

Fastsættelse af ladningsstørrelser og afstande mellem huller skete indledningsvis ud fra nogle erfaringsmæssige regler og enhedsmængder. For bro 20205 kunne man på dette grundlag regne med et sprængstofforbrug på 0,6 - 1 kg/m³.

Signaturforklaring

- ⁞⁞: Forsøgsområde (se desuden bogstav).
- A: Nedbrydning af kantdrager og brodæk ved sprængning.
- B: Hultagning i brodæk ved hastig sprængning.
- C: Hultagning i brodæk ved skånsom sprængning.
- D: Nedbrydning af kantdrager ved ekspanderende mørtel.
- F: Nedbrydning af brodæk med kugle.
- G: Hultagning i brodæk ved hastig sprængning.
- H: Nedbrydning af kantdrager og brodæk med hydraulisk hammer.
- I: Hurtig hultagning i dæk med hydraulisk hammer.
- J: Skånsom hultagning i dæk med hydraulisk hammer.
- ▲,▼: Målepunkt, vibrationsmåling.
- ⊠: Slag med hammer for viste målekæde.
- ◆: Sprængningssted for viste målekæde.



Figur 4.1. Plan af broplade med angivelse af forsøgsområder og eksempelvise målelinier for vibrationsmåling.

Prøvesprængninger

Til nærmere bestemmelse og verifikation af den optimale sprængstofmængde til sprængning af kantdragere og broplade udførtes et antal prøvesprængninger med varierende sprængningsparametre, som beskrevet i arbejdsrapportens afsnit 4.1.4. I nærværende forsøg var der tale om at ændre sprængstoftype, ladningsstørrelse, borehulsdybde og hulafstande.

Boring af huller for sprængning skete med trykluftbor. Borearbejdet var påvirket af den kraftige og tætte armering, og der måtte ofte foretages omboring.

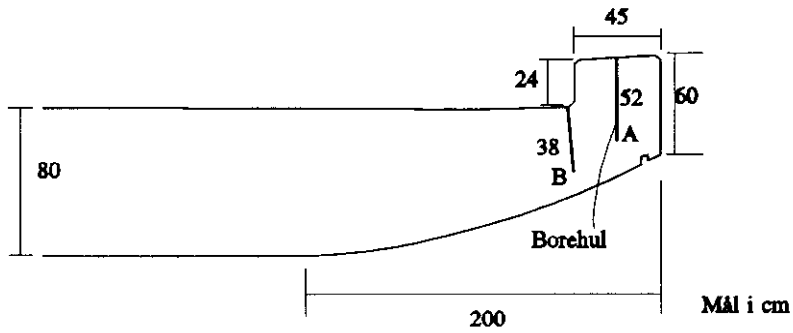
Sprængning af kantdrager:
Forsøg på sprængning af kantdrager omfattede 9 sprængningsserier. Sprængningerne er udført i to rækker af huller, henholdsvis en række midt i kantbjælken og en række med kortere huller lige bag kantbjælken.

Sprængningsforsøgene omfattede:

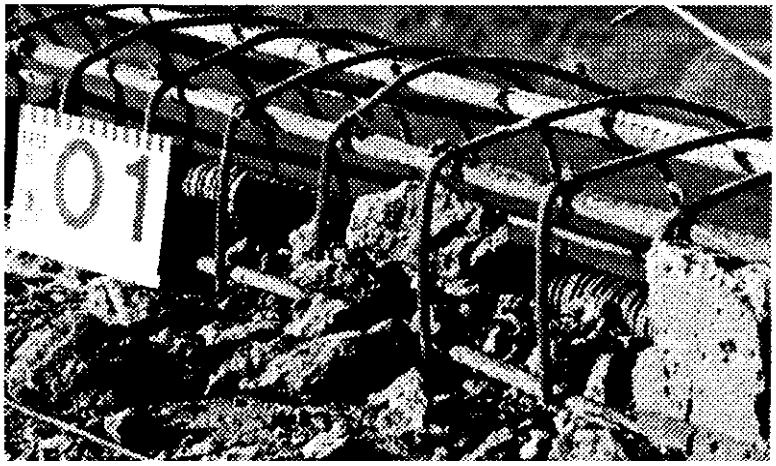
- Sprængning af ladninger i kantbjælken (A) og ladninger i pladen (B) som to separate sprængninger.
- Sprængning udført som én sprængningsserie med forsinkelse mellem antændelse af ladninger A og B, se fig. 4.2.

Ni forsøg

På grundlag af resultaterne af de 9 sprængningsforsøg kunne man fastsætte den optimale sprængningsmetode med en sprængstoffordeling på ca. 1 kg/m³. Fig. 4.3 viser foto af kantdrager efter sprængning.



Figur 4.2. *Snittegning af broplade med kantdrager visende placering af borehuller til sprængningsforsøg i kantdrager.*



Figur 4.3. Kantdrager efter sprængning, armeringen ses at være kun let beskadiget.

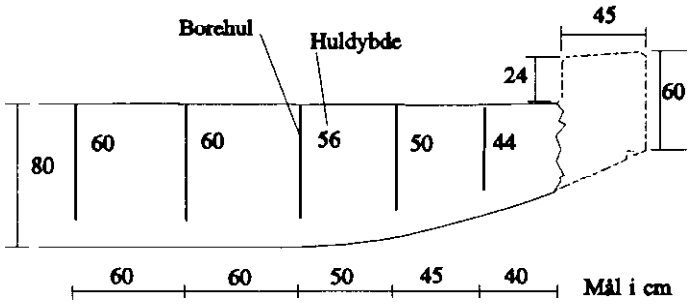
Serie, løbenr.	Hul-afstand	Modstands-linie	Antal huller	Hul-dybde	Fordæm-nings-højde i borehul	Ladnings-type	Ladnings-størrelse	Total ladning (afrun-det)	Specifik ladning
	[cm]	[cm]		[cm]	[cm]		[g]	[g]	[kg/m³]
Ak1	30	21	8 A	52	40	Dynamex	62,5	500,00	0,69
Ak2	30	21	4 A	50	25	Gurit	50	200,00	0,56
Ak3	30	21	4 B	35	17	Gurit	40	152,00	0,42
Ak4	30	21	8 A	42	20	Gurit	50	408,00	
	30	21	8 B	35	25	Dynamex	40	336,00	1,15
Ak5	30	21	8 A	52	20	Gurit	70	552,00	
	30	21	7 B	30	15	Gurit	35	238,00	1,27
Ak6	-	21	1 B	35	25	Dynamex	40	40,00	0,44
Ak7	20	21	14 A	52	20	Spr. Snor	20	302,40	0,36
Ak8	40	21	7 A	48	25	Dynamex	80	560,00	0,67
Ak9	30	21	6 B	35	20	Spr. Snor	10	64,80	0,12
Op-timal	30	21	8 A	52	20	Gurit	70	552,00	
	30	21	8 B	35	20	Spr. snor	10	86,40	1,0

Figur 4.4. Oversigt over sprængninger i kantbjælke. Sprængningerne Ak4 og Ak5 samt "Optimal" er udført som én sprængningsserie med 30 ms forsinkelse mellem ladningerne i kantbjælken (A) og ladningerne i pladen bag kantbjælke (B). Den specifikke ladning er beregnet ud fra det aktuelle sprængstofforbrug og det sprængte område. I de tilfælde, hvor der er udført sprængning i kantbjælken alene (det gælder lb.nr. Ak1, 2, 7 og 8), regnes med sprængning af 90% af kantbjælken.

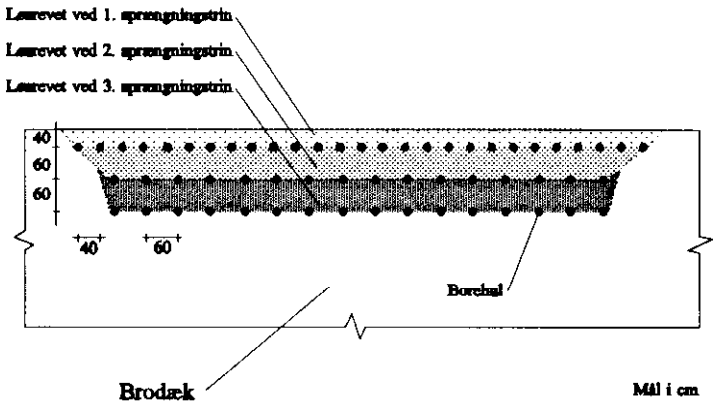
Sprængning af broplade:
Der blev udført 13 sprængningsserier med varierende ladninger, hulafstande og sprængstoftyper. Forsøgene viser, at den optimale specifikke ladning er 0,7 kg/m³.

Sprængning af huller - hultagning:
Gennembrydning af brodækket havde til formål at bestemme gennembrydningstiden for forskellige demoleringsmetoder. Til gennembrydningerne var udpeget områder i brodækket, B, C og G, med mindst mulig armering for derved at lette arbejdet mest muligt.

Figur 4.5. Kantdrager efter sprængning, afrensning og skæring af armeringen.



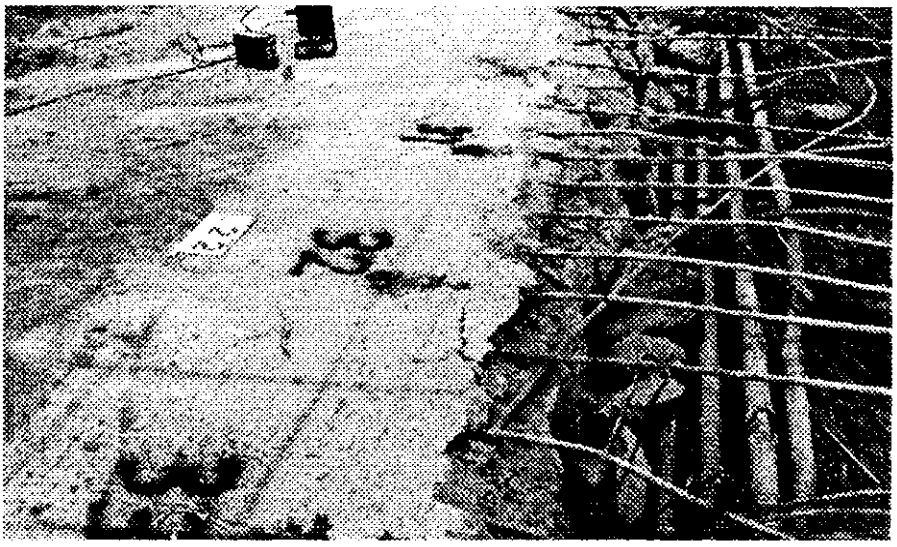
Figur 4.6. Snit i broplade visende placering af borehuller ved sprængningsforsøg i broplade efter borthugning/-sprængning af kantdrager.



Figur 4.7. Oversigtsplan visende sprængning nr. A13 med angivelse af sprængladninger og sprængningsforløb.

Skånsom hultagning

Der blev udført et forsøg med skånsom sprængning og to forsøg med hastig sprængning. Forskellen mellem de to metoder er, at man udfører skånsom hultagning med to eller flere adskilte sprængningsserier, medens den hastige sprængning udføres med én sprængningsserie.



Figur 4.8. Brodæk efter opladning, umiddelbart før sprængning. På brodækket ses måleudstyr og markering for registrering af udsprængt område.

Område nr	Række nr	Antal huller	Hul-afstand	Mod-stands linie	Ladning pr. hul	Total ladning	Udsprængt område			Specifik ladning
							Dybde	Længde	Mængde	
			m	m	g	kg	m	m	m³	kg/m³
A1	1	8	0,4	0,4	62,5	0,50	0,40	3,20	1,02	0,49
A2a	1	6	0,4	0,4	125	0,75	0,40	2,40	0,77	0,97
A2b	1	3	0,4	0,4	90	0,27	0,40	1,20	0,38	0,71
A2c	1	4	0,4	0,4	90	0,36	0,40	1,60	0,51	0,71
A3	1	3	0,4	0,4	60	10,93	1,60	12,60	16,13	0,68
	2	21	0,6	0,6	250					
	3	22	0,6	0,6	250					
A4	1	20	0,4	0,4	60	9,20	1,60	8,00	10,24	0,90
	2	16	0,6	0,6	250					
	3	16	0,6	0,6	250					
A5	1	36	0,6	0,6	187,5	15,75	1,20	21,60	20,74	0,76
	2	36	0,6	0,6	250					
A6	1	4	0,25	0,5	62,5	0,25	0,50	1,00	0,40	0,63
A7	1	5	0,25	0,5	62,5	0,31	0,50	1,25	0,50	0,62
A8	1	23	0,5	0,5	187,5	10,06	1,00	11,50	9,20	1,09
	2	23	0,5	0,5	250					
A9	1	3	1,0	0,5	250	0,75	0,50	3,00	1,20	0,63
A10	1	3	0,5	0,5	125	0,38	0,50	1,50	0,60	0,63
A11	1	3	0,5	0,5	250	0,75	0,50	1,50	0,60	1,25
A12	1	3	1,0	0,5	125	0,38	0,50	3,00	1,20	0,32
A13	1	27	0,4	0,4	62,5	9,69	1,60	10,80	13,82	0,70
	2	16	0,6	0,6	250					
	3	16	0,6	0,6	250					

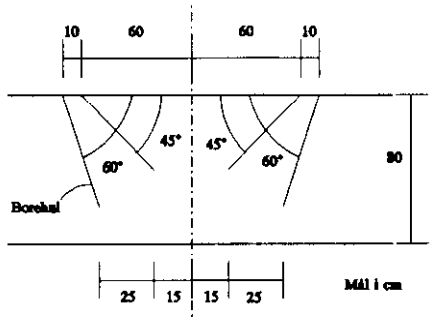
Figur 4.9. Oversigt over sprængninger i brodæk. Sprængningerne A3, A4, A5, A8 og A13 er udført som én sprængningsserie med forsinkelse mellem ladningerne i rækkerne, jf. figur 4.7. Den specifikke ladning er beregnet ud fra det aktuelle sprængstofforbrug og det sprængte område.

Afdækning mod udkast

Ved sprængningerne anvendtes på brodækkets overside afdækning med gummimåtter, Kevlarmåtter og Fibertex med et overliggende lag grus, 1 - 1,5 m tykkelse. Under broen var der ikke foretaget afdækning, idet der ved sprængningen kun forventedes lodret nedadrettet udkast, som ville blive opfanges af det underliggende terræn. Desuden ville udstødning fra dækkets underside være tilnærmelsesvis lodret, således at ingen fragmenter forventedes at blive kastet væk fra broen.

Begge hastige hultagninger ved sprængning resulterede i huller med en veldefineret form og udstrækning. Varigheden for hastig hultagning var pr. hul ca. 3 timer, inkl. boring, opladning, afdækning og skæring af jern.

Forskellen mellem tidsforbruget til skånsom og hastig hultagning er ca. 2 timer, svarende til hhv. 3 og 5 timers varighed, idet der skal foretages afdækning, opladning og oprensning to gange ved den skånsomme sprængning. Til gengæld er rystelserne betydeligt mindre.



Figur 4.10. *Lodret snit i brodæk visende bore- og ladeplan for hastig sprængning i område B og G med skitse af udsprængt område med angivelse af boreretninger/brudgrænser. Forsøget viste, at der ved én sprængning kunne etableres et tilfredsstillende hul i brodækket i løbet af 3 timer. Der anvendtes for hastig hultagning samme boremønster som ved skånsom hultagning, dvs. 4 rækker á 6 huller. Til sprængningen var sprængstofmængderne i de to inderste hulrækker 125 g pr. hul og i yderste hulrækker 185 g pr. hul, ialt 3.720 g. Forsinkelsen mellem sprængning af inderste og yderste række er 25 ms. Der blev udsprængt huller med åbninger på ca. 1,5 m x 1,5 m, med et udsprængt betonvolumen på 1,8 m³. Specifik ladning opgjort til 2,1 kg/m³.*

4.3.4 Forsøg med ekspanderende mørtel

Demolering med anvendelse af ekspanderende mørtel udføres ved boring af ∅ 40 mm huller og efterfølgende fyldning med mørtelen. Under mørtelens hærdning sker en udvidelse, der efter specifikationerne medfører et tryk på op til 60 MPa, hvorved betonens trækstyrke overskrides, og der sker revnedanelse.

Armering hæmmer revnedannelse

Ved anvendelse af ekspanderende mørtel i armerede betonkonstruktioner hæmmer armeringen revnedannelsen og den efterfølgende udvidelse og

adskillelse af fragmenterne. Fænomenet er særlig udtalt i tætarmerede områder og i områder med forspændt armering.

Knusning af kantbjælke med ekspanderende mørtel:
I kantbjælke, område D, blev der gennemført forsøg med to typer ekspanderende mørtel:

- BRISTAR 100 og
- BRISTAR SUPER 2000

Ifølge tekniske specifikationer og brugsanvisninger er virkningstiden for BRISTAR 100 ca. 16 timer og for BRISTAR SUPER 2000 ca. 3 timer. Mørtlerne blev testet på to områder i forlængelse af hinanden i område D.

Mørtlen ihældtes uden vanskeligheder i.h.t. den medfølgende brugsanvisning.

1 dag efter kunne man konstatere en mindre revnedannelse i området, hvor der var anvendt SUPER 2000 og ingen synlig effekt ved type 100.

2 dage efter kunne der registreres revner på kantdragerens yderside. Disse revner voksede i de efterfølgende dage.

1 uge efter ihældningen ophørte reaktionen tilsyneladende, og den opnåede virkning fremgår af figur 4.11. Ved banken på kantbjælken lød denne hul og der kunne konstateres en tydelig, horisontal lagdeling.

Med hensyn til de to typer Bristar skal bemærkes følgende:

BRISTAR 100

Kun 1 - 2 mm revner

Revnedannelse på langs og tværs af kantbjælken. Der konstateredes maksimale revnevidder på 8 mm for langsgående revner. For tværgående revner observeredes revner med vidde på 1-2 mm. Der var afskalning til armering på bjælkens overside. Efter fjernelse af afskalningsflager lød bjælken hul ved banken. Der observeredes tydelig, horisontal lagdeling og kraftig afskalning på kantbjælkens yderside.

BRISTAR SUPER 2000

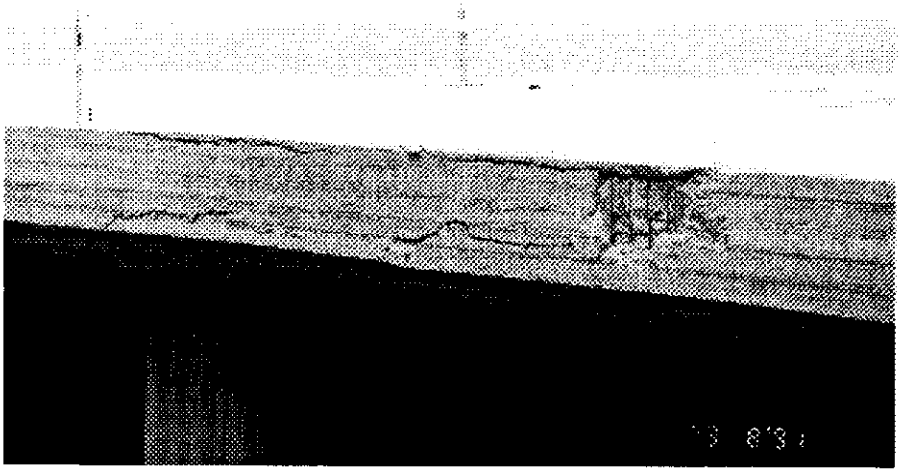
Der konstateredes kun revnedannelser på langs af kantbjælken. Revnevidderne mellem huller i yderste hulrække var 2 mm og derunder. I inderste hulrække var revnevidden på op til 1 mm. Der konstateredes afskalning med tykkelse på ca. 1 cm på kantbjælkens overside. Kantbjælken lød hul ved banken.

Ved den endelige nedrivning af broen konstaterede maskinføreren ved hugning i kantbjælken, at der i områderne, hvor der var anvendt ekspanderende mørtel, var tydelig svækkelse, samt at der var en klar revnedannelse.

Det kunne endvidere konstateres, at demoleringsvirkningen i kantdrageren var mindre effektiv, idet det var nødvendigt at foretage den endelige adskillelse med maskinelt udstyr.

BRISTAR er ved flere lejligheder tidligere forsøgt anvendt i Danmark; men resultaterne har som regel været skuffende. Ofte har der været problemer med temperaturen, idet reaktionen forløber meget trægt ved temperaturer under 10°C, uanset den anvendte type BRISTAR. I det foreliggende tilfælde er der anvendt BRISTAR-typer, som efter fabrikantens angivelser kan anvendes i temperaturintervallet 15 - 35°C. Ved forsøgets afvikling lå temperaturen omkring 18-19°C.

Med hensyn til arbejdsøkonomien skal det bemærkes, at boring af huller, ∅ 40 mm, i armeret beton kræver diamantboring, som er bekostelig og tidkrævende. Den ekspanderende mørtel blev leveret gratis fra fabrikken, Onoda Corporation i Japan, hvorfor der ikke foreligger dagspris på mørtlen. Tidligere har dagsprisen i Danmark været 80 - 100 kr. pr. kg. Endelig skal det bemærkes, at der ved blanding og ihældning skal anvendes personlige værnemidler (briller, handsker), hvilket medvirker til at gøre brugen besværlig.



Figur 4.11. Foto visende virkning af BRISTAR 100 og - SUPER 2000 9 dage efter ifyldning.

4.3.5 Knusning af plade med kugle

Ved forsøgene med kugle i område F anvendtes en wiremaskine, Ruston RB 30 med en 2,2 t kugle påmonteret. "Kuglen" var udformet som en cylinder med en mindre klods på anslagsfladen.

Maksimal faldhøjde for nedbrydningskugle

Stødene på brodækket påførtes ved at lade kuglen falde frit mod brodækket fra en højde af ca. 2 m. Dette var den maksimalt opnåelige faldhøjde, begrænset af maskinens placering på det underliggende terræn ved siden af broen og udlæggerens længde.

Der kunne ved de første stød med kuglen mærkes en kraftig rystelse i brodækket.

Ingen virkning fra kugle

Ved disse første stød pulveriseredes betonen i overfladen ned til umiddelbart under den slappe armering. Herved dæmpedes virkningen af kuglens stød væsentligt, og ved de efterfølgende stød udeblev virkningen (yderligere knusning), således kunne tilnærmelsesvis ingen rystelser mærkes i brodækket. Kuglens virkningsløse stød fjedrede i den slappe armering, og en forklaring på denne udeblivende virkning kan være, at hovedparten af kuglens potentielle energi er blevet omdannet til elastiske deformationer i den slappe armering.

Betonen under betonpulveret viste, efter rensning med trykluft, ikke synlige tegn på skader.

Efter længere tids arbejde med kuglen lykkedes det imidlertid at få den ønskede mængde beton nedrevet, idet der hovedsaligt blev dannet store brokker, som måtte klippes fri af den slappe armering og knuses med betonsaks.

Brokkerne hang fast i den slappe armering og blev derfor ikke løsrevet fra den ikke nedrevne del af brodækket. Brokkerne måtte nedknuses med betonsaks inden sortering og deponering.

Det konstateredes på ovenstående baggrund, at nedbrydning af det forspændte brodæk er vanskelig, hvis den udelukkende gennemføres ved anvendelse af kugle.

4.3.6 **Hugning med hydraulisk hammer**

Hugning af kantbjælke:
Hugning med hydraulisk hammer indledtes med hugning af kantbjælke tæt ved landfæste i område H. Der anvendtes hydraulisk hammer MONTABERT BRH 1100, vægt 1.350 kg, monteret på gravemaskine KOBELCO 914. Hammeren sattes lodret på midten af bjælken og gennembrød i én huggesekvens drageren uden problemer.

Hugning af dæk:

Hugning fra frikant

Efter hugning af kantdrager fortsattes hugning i område H successivt fra fri kant.

Bemandingen ved hugningen var én mand samt gravemaskine samt en mand til skæring af jern, når dette var påkrævet for den videre hugning.

Hugningen var mindre afhængig af armeringens art og tæthed. Armeringsjernene blev kappet og frasorteret, efter at hugningsarbejdet var tilendebragt. Der konstateredes en god adskillelse af armering og beton. Ved håndsorteringen benyttedes tre mand samt en gravemaskine til udtagning af jern og en gummihjulslæsser til bortkørsel af betonbrokker.

Skånsom hugning af hul:

Til skånsom hugning i område I anvendtes en eldrevet minimaskine, BROKK 250, med en 250 kg hammer.

Langsom metode

Gennembrydning af dækket med BROKK blev ikke tilendebragt, idet denne metode tidligt viste sig at være for langsom og tidkrævende. BROKK'ens manglende mulighed for at gennemtrænge brodækket skyldes maskinens begrænsede brydeevne samt det forhold, at brokkerne ikke kunne trænges til side under mejslens fortsatte arbejde ned gennem betonen. Der var behov for at have en fri kant, hvor det frithuggede materiale kunne fortrænges.

Hastig hugning af hul:
Gennemtrængningen ved hastig hultagning udførtes relativt hurtigt med gravemaskine med MONTABERT hammer 1100, som i øvrigt anvendtes til nedrivningsarbejdet.

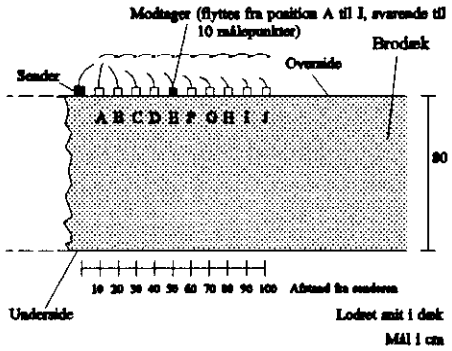
Stor hammer hæmmes af beton

Gennemtrængningen med hammeren hæmmedes ligesom ved skånsom hultagning af at betonen ikke kan trænges til side, når hugningen sker inde på en flade, men dog ikke i nær samme grad. Hugningen foregik med successiv skæring af armering, idet nederste armeringslag ikke blev fjernet af sikkerhedsmæssige årsager.

4.4 Ultralydmåling

Non-destruktiv test

I forbindelse med demoleringsforsøgene; sprængning og hugning i områderne A, H og I blev der udført ultralydmålinger med PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) instrument med det formål at registrere revneskader i betonkonstruktionen tæt ved demoleringsstederne.



Figur 4.12. Principskitse visende ultralydsmåling efter demolering. Skitsen viser den fast stationerede sender og de ti forskellige placeringer af modtageren, svarende til ti målepunkter. Modtageren er vist fremhævet i målepunkt E (50 cm fra senderen). Målingerne registrerer transmission af signaler i betonoverfladen, og der kan ikke forventes detekteret revner i bropladen indre.

Der skal vedr. gennemførelse af ultralydmålinger på brodækket gøres følgende bemærkninger mht. forholdene omkring målingernes kvalitet og gennemførlighed:

- Overfladen af brodækket var ved affræsning af asfalt blevet ujævn, hvorfor god forbindelse mellem betonen og PUNDIT-sender og -modtager kun kunne opnås ved at påføre betonen et tykt fedtlag. Dette medførte en betydelig usikkerhed ved sammenligning af målinger foretaget før og efter demoleringsforsøgene.
- Målinger foretaget før demoleringsforsøgene er sket ved randen af de områder, der var opmærket efter den oprindelige plan for forsøgsområdernes placering. Udformningen af visse af forsøgsområderne blev ændret, således at ultralydmålingen foretaget efter demoleringsforsøgene ikke kunne ske samme sted som målingerne foretaget før. Dette har også bidraget til usikkerhed, idet betonens egenskaber og overfladens ruhed varierer betydeligt.
- De konstaterede spring i værdier i en måleserie kan bl.a. skyldes lagdeling af betonen nær overfladen, hvilket kan være forårsaget af, at der har været en kraftig påvirkning (oprivning) af øverste armeringslag som følge af sprængning.

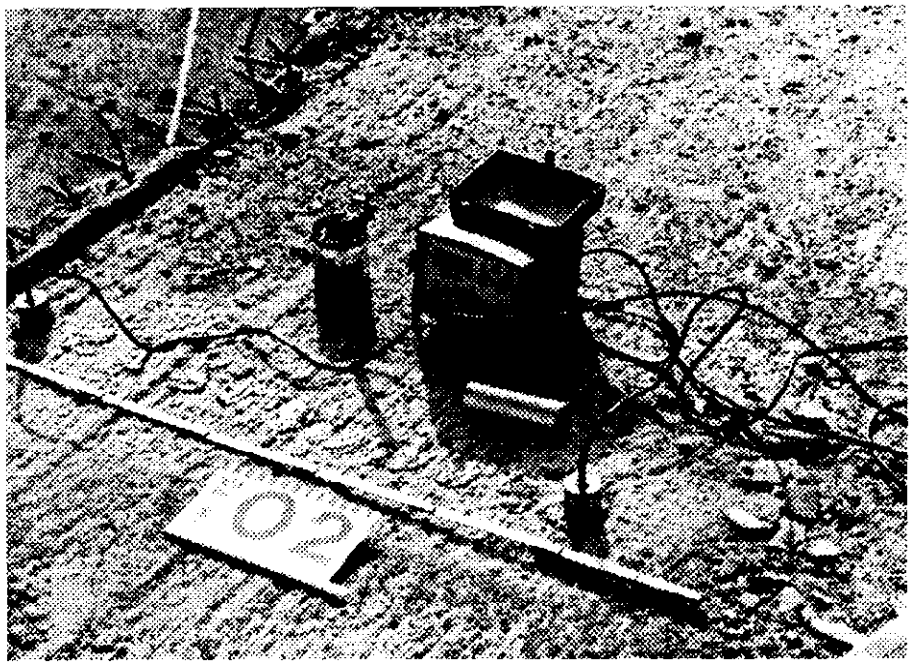
Ultralydmålingerne er gennemført som indirekte målinger, d.v.s. at både sender og modtager er placeret på brodækkets overside, se figur 4.12. Ved den indirekte måling vokser transmissionstiden med voksende afstand mellem sender og modtager. Revnedannelsen som følge af demolering kan med denne målemetode konstateres med varierende forøgelse af transmissionstiderne.

En væsentlig forøgelse af transmissionstiden indikerer, at der forekommer en revne mellem to målepunkter. Virkningen af en revne vil aftage med yderligere forøgelse af afstanden mellem sender og modtager, idet effekten af revnen reduceres.

Sammenlignet med ultralydmålingerne under pilotforsøgene er målingerne under demoleringsforsøgene gennemført under vanskelige betingelser, som tidligere anført. Dels har det været svært at få ordentlig kontakt mellem sender/modtager og beton, og dels har der været længere tid mellem de enkelte før- og eftermålinger.

Vejledende målinger

Det skal derfor understreges, at det er en afgørende forudsætning for et troværdigt og pålideligt måleresultat, at før- og eftermålinger kan udføres og reproduceres, hvilket ikke ubetinget har været tilfældet med en tilfredsstillende nøjagtighed. De givne betingelser for målingerne, det gælder specielt kontakt mellem instrumentets sender og betonoverfladen, har ikke været tilfredsstillende. Måleresultaterne, som er nærmere beskrevet i arbejdsrapporten, bør derfor betragtes som vejledende. Målingerne har imidlertid bekræftet, at der ikke kan konstateres skader fra sprængning i større afstande end 40-50 cm fra sprængningssted, jf. svenske erfaringer [9,10].



Figur 4.13. Foto af ultralydmåling på betonplade for sprængningsforsøg. I midten ses måleinstrumentet, PUNDIT. Til venstre ses sender og til højre modtager i position J, 100 cm fra sender.

4.5 Vibrationsmåling

Måling af chokpåvirkning

I forbindelse med forsøgene er der foretaget vibrationsmåling for at skabe et sammenlignende grundlag for at vurdere rystelserne i den resterende konstruktion og de eventuelle skadelige påvirkninger. Da der ikke gives normer eller foreligger erfaringer om måling af chokpåvirkninger på konstruktioner under nedrivning eller på nabokonstruktioner, vurderes det af væsentlig betydning, at der søges et orienterende overblik over påvirkningernes egenskaber og niveauer med hensyn til acceleration, svingningshastighed, forskydning og frekvenser.

Frekvenser

Vibrationer, der opstår i konstruktionen som følge af påvirkningen ved sprængning, hugning med hydraulisk hammer eller stød med kugle, danner et bredt bånd af frekvenser. Afhængig af påvirkningens art vil forskellige frekvenser være mere eller mindre fremherskende. Det er derfor væsentligt at undersøge frekvensindholdet af påvirkningerne, hvorved man kan få et indtryk af påvirkningens energi, idet energiindholdet for samme påvirkningsniveau er størst ved lavfrekvente vibrationer og i øvrigt er aftagende med stigende frekvens. Vibrationer med et dominerende indhold af lavere frekvenser vil således have den mest ødelæggende effekt på den resterende konstruktionen.

4.5.1 Måleopstilling og instrumentering

Der er udført vibrationsmålinger i målelinier parallelt med broens lejelinier, jf. figur 4.1. I hver målelinie er der anvendt måleopstilling, som vist

på figur 4.14, med 4 accelerometre (type 4370 fra Brüel & Kjær) monteret vertikalt i afstande på 2 m til 32 m fra demoleringsstedet.

Signalerne fra transducerne blev filtreret med et filter med en øvre afskæringsfrekvens på 1 kHz, før signalerne blev samplet med dataopsamlingsudstyr bestående af en Compaq Portable II transportabel datamat og programmellet ET ver. 3 fra DEMEX A/S.

Da målelinierne blev flyttet mellem hvert forsøg og placeret i overensstemmelse med det aktuelle forsøgsdemoleringspunkt, var det nødvendigt at etablere et fast referencepunkt på broens midte med måling i vertikal og horisontal retning.

4.5.2 Signalbehandling

Behandlingen af det digitalt opsamlede signal er gennemført med programmet DADiSP ver. 2.0 Beta fra DSP Development Corporation. Der er på baggrund af de foretagne registreringer og integration af accelerationssignaler foretaget udskrift af:

- Accelerationsforløb
- Hastighedsforløb
- Forskydningsforløb
- Energispektrum "Energy Spectral Density" (ESD)

Desuden er følgende værdier bestemt:

- Maksimal acceleration
- Maksimal hastighed
- Maksimal forskydning
- Interval for dominerende frekvenser i ESD-spektrum

Accelerations-, hastigheds- og forskydningsudskrifterne er gengivelser af registreringerne i tidsdomænet, d.v.s. bevægelsen i afhængighed af tidsforløbet. Ved benyttelse af den velkendte digitale "Fast Fourier Transform - FFT" algoritme er signalernes frekvensspektrum beregnet. I frekvensdomænet er signalerne valgt præsenteret ved deres energispektrum beregnet ud fra det komplekse frekvensspektrum.

Energimængdebestemmelse

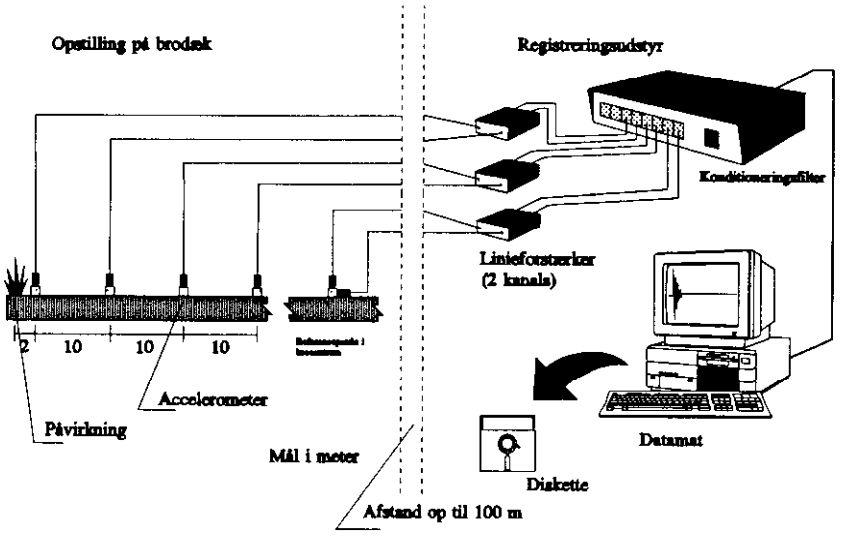
Da der her er tale om signaler med endelig energi (transienter) i modsætning til signaler med endelig effekt (stationære signaler), vil det normalt omtalte "Power Spectrum - PSD" blive omtalt som et energi spektrum. Da transformationen er foretaget over hele signalet, har spektret dimension af energi pr. frekvensenhed, dvs. "Energy Spectrum Density - ESD". Den samlede, registrerede energimængde kan således bestemmes ved en summation af ESD.

Ved disse indledende målinger og forsøg har formålet været en registrering af den relative energiudbredelse i konstruktionen afhængig af de forskellige nedbrydningsmetoder. Således er der ikke forsøgt en konvertering af de relative niveauer i spektret til absolutte energistørrelser.

Bestemmelse af hastigheds- og forskydningssignalerne er af signalbehandlingsmæssige årsager foretaget i frekvensdomænet og herefter transformeret tilbage til tidsdomænet.

Eliminering af potentiel drift fra transducerne og forstyrrelser af netspændingsfrekvensen (≈ 50 Hz fra mobil generator) er ligeledes foretaget.

Nærmere beskrivelse og forklaringer af målinger og resultater fremgår af arbejdsrapporten.



Figur 4.14. Principskitse visende vibrationsmåleudstyr og -opstilling på brodæk.

Sprængning:
Med henblik på en sammenlignende vurdering af resultaterne fra de forskellige sprængningsforsøg gives der i fig 4.15 - 17 en grafisk fremstilling af registrerede maksimalværdier som funktion af ladningsstørrelse og afstand mellem sprængningssted og målepunkt sammenfattet i en skaleret afstand d_s, som beskrevet i det følgende.

$$d_s = \frac{d}{L^{1/2}}$$

Skalalov

For udbredelse af virkningerne fra en sprængning til det omgivende medium gælder simple skalalove, henholdsvis kubikrodsloven ved sprængning i sfærisk medium og kvadratrodsloven ved sprængning i et plant me-

dium [16]. Ved anvendelse af fx kvadratrodsloven kan virkningen fra en sprængning med en samlet sprængladning på L (kg) i afstanden d (m) udtrykkes som funktion af den skalerede afstand d_s (m/kg^{½}).

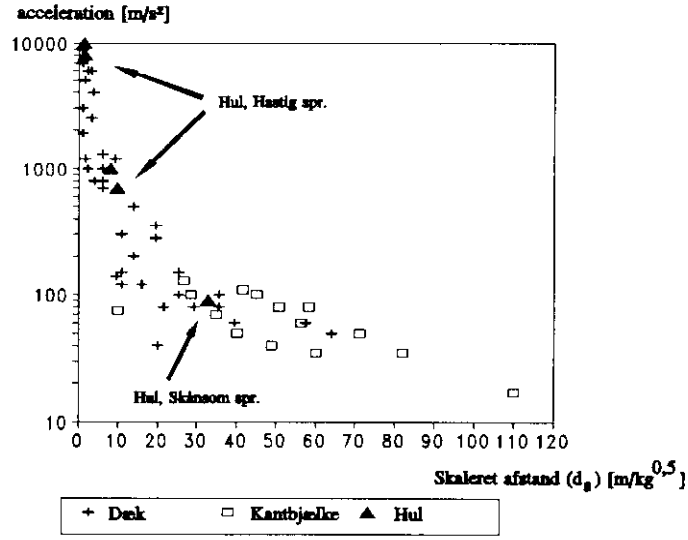
Fx vil virkningen af 100 kg dynamit i afstanden 100 m være af samme størrelsesorden som virkningen af 25 kg dynamit i afstanden 50 m, forudsat alle andre betingelser er uændret.

Ved anvendelse af denne skalalov er det således muligt at præsentere måleresultater i en to-dimensional grafisk fremstilling med sprængvirkningen (acceleration, hastighed eller forskydning) som funktion af den skalerede afstand.

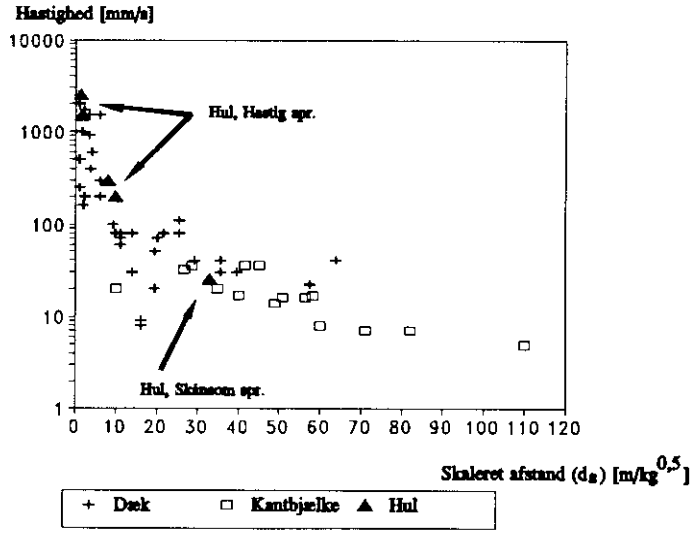
Af de tre figurer 4.15 - 4.17 ses, at de indplottede påvirkninger for sprængning af dæk hhv. kantbjælke grupperes i to områder. Det fremgår således, at påvirkninger stammende fra sprængning af dæk generelt antager et højere niveau end for sprængning af kantbjælke, hvilket hænger sammen med, at der ved sprængning af dæk blev brugt betydelig større, samvirkende ladninger. At denne gruppering kommer til udtryk ved afbildning af virkning som funktion af den skalerede afstand skyldes, at der i de foretagne målinger konsekvent er anvendt samme måleopstilling og dermed samme afstande mellem sprængningssted og målepunkter i de forskellige sprængningsforsøg.

Reduceret påvirkning

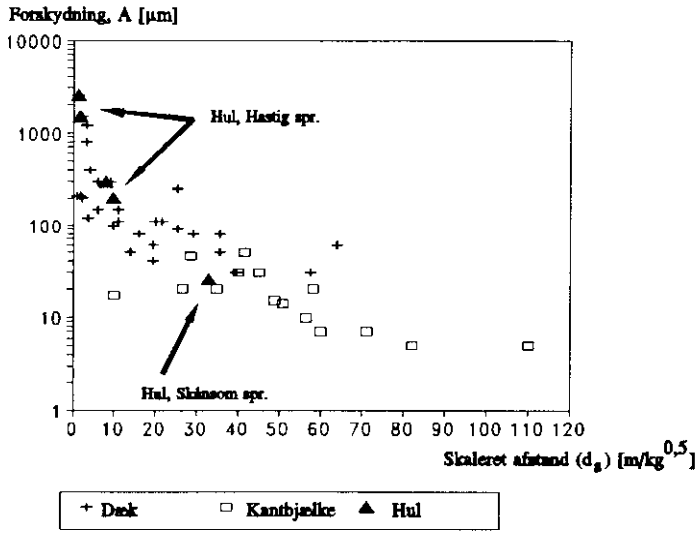
I fig. 4.15 - 4.17 er endvidere medtaget resultaterne fra sprængning af huller (hultagning). Det ses heraf, at man ved skånsom sprængning, hvor der er foretaget to separate sprængninger, opnår en betydelig reduktion af påvirkningerne på konstruktionen sammenlignet med hastig sprængning, hvor sprængningen er udført på én gang med betydelig større samvirkende sprængladning.



Figur 4.15. Maksimale accelerationer som funktion af den skalerede afstand ved sprængning af dæk, kantbjælke og hul.



Figur 4.16. Maksimale svingningshastigheder som funktion af den skalerede afstand ved sprængning af dæk, kantbjælke og hul.



Figur 4.17. Maksimale forskydninger som funktion af den skalerede afstand ved sprængning af dæk, kantbjælke og hul.

Hugning:
I fig. 4.18 - 20 ses registrerede maksimale accelerationer og beregnede maksimale svingningshastigheder og forskydninger ved hugning med hydraulisk hammer i hhv. brodæk og kantbjælke.

Figurerne gengiver accelerationer, svigningshastigheder og forskydninger i afhængighed af den absolutte afstand til hammerens hugningspunkt i kantbjælke hhv. brodæk.

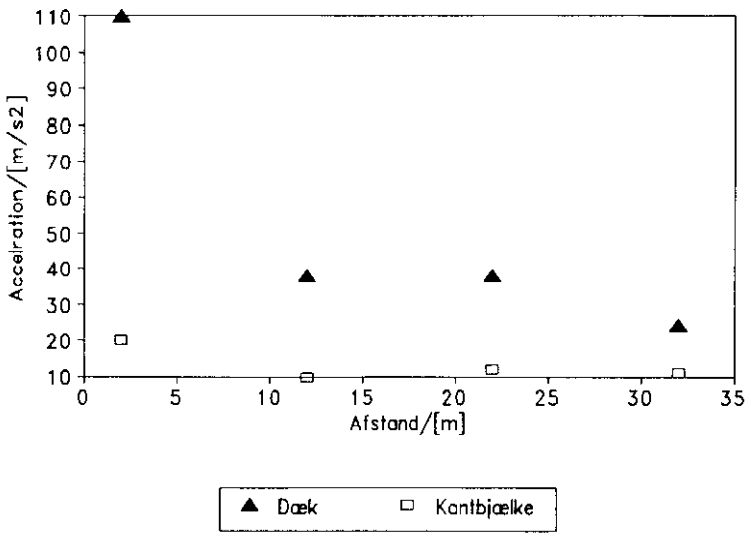
Påvirkning aftager hastigt

Det fremgår af den grafiske opstilling, at hugning i brodækket generelt medfører en kraftigere påvirkning af konstruktionen end den tilsvarende hugning i kantbjælken. Endvidere viser de tre figurer, at accelerationer, svingningshastigheder og forskydninger for hugning i dækket aftager væsentligt kraftigere med den øgede afstand end påvirkningerne for hugning af kantbjælken.

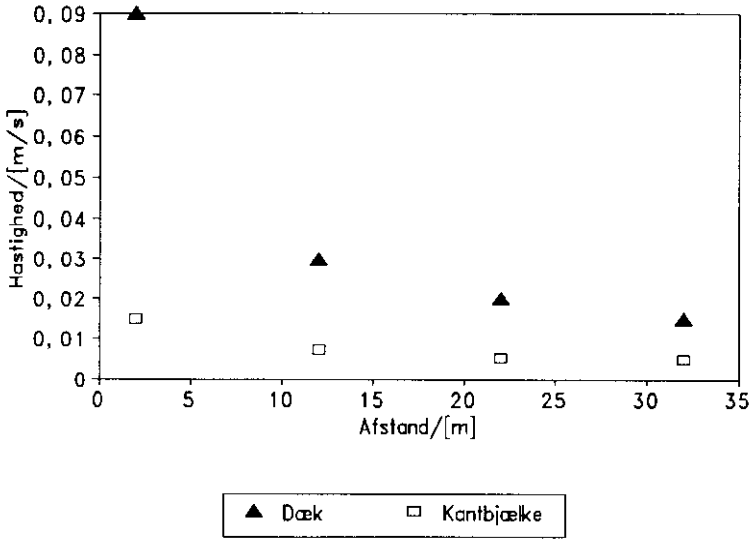
Sammenligning af resultater fra sprængning og hugning:
Forskellene mellem de maksimale accelerationsniveauer ved hhv. sprængning af brodæk i område A4, hugning i område H og stød med kugle i område F fremgår af figur 4.21. Talværdierne for de målinger, der er plottet i figur 4.21, er ligeledes givet i tabellen i fig. 4.22, der endvidere indeholder registreringerne i referencepunktet.

Direkte sammenligning er ikke mulig

Det er ikke umiddelbart muligt, fx med henblik på vurdering af energiemissionen fra demoleringsmetoderne, at sammenligne de plottede accelerationsniveauer for sprængning, hugning og stød m. kugle. Dette er begrundet i, at registreringerne for hugning og stød med kugle svarer til ét enkelt hug hhv. stød, mens registreringen for sprængning svarer til fjer-



Figur 4.18. Maksimale accelerationer ved hugning i brodæk og kantbjælke. Plot angiver den maksimale acceleration, der er målt ved ét enkelt hug med den hydrauliske hammer.

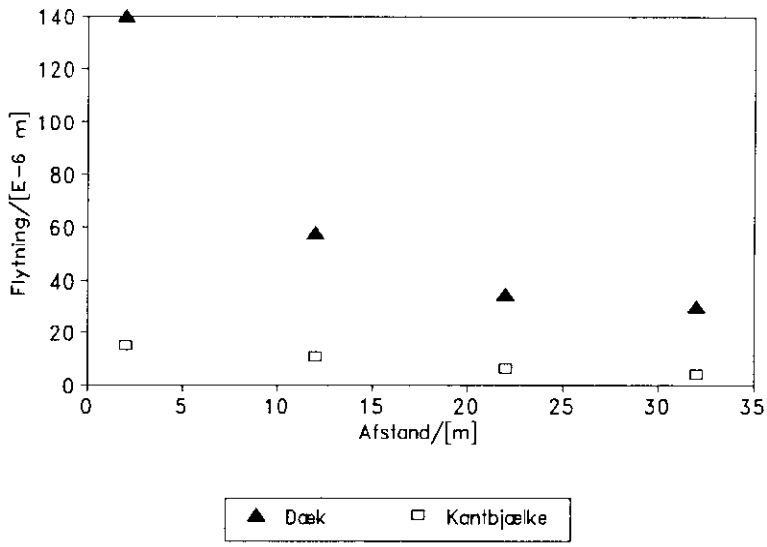


Figur 4.19. Maksimale svingningshastigheder ved hugning i brodæk og kantbjælke. Plot angiver den maksimale svingningshastighed, der er målt ved ét enkelt hug med den hydrauliske hammer.

nelse af et større volumen beton. For det i figur 4.21 illustrerede eksempel kan følgende således gøres gældende, idet en sammenligning kræver betragtning af det totale opnåede relative energiniveau (ubenævnt) for samme volumen fjernet beton:

- Ved sprængning A4 er der udsprængt ca. 10 m^3 beton af bropladen, og der er opnået et relativt energiniveau på ca. $0{,}9 \cdot 10^6$ jf. det tilhørende ESD-spektrum. Se evt. afsnit 4.5.2.

- Til borthugning af 1 m^3 beton fra bropladen medgår ca. 3.000 slag med hydraulisk hammer, hvor der ved hvert enkelt slag opnås et relativt energiniveau på ca. 270 jf. ESD-spektret.

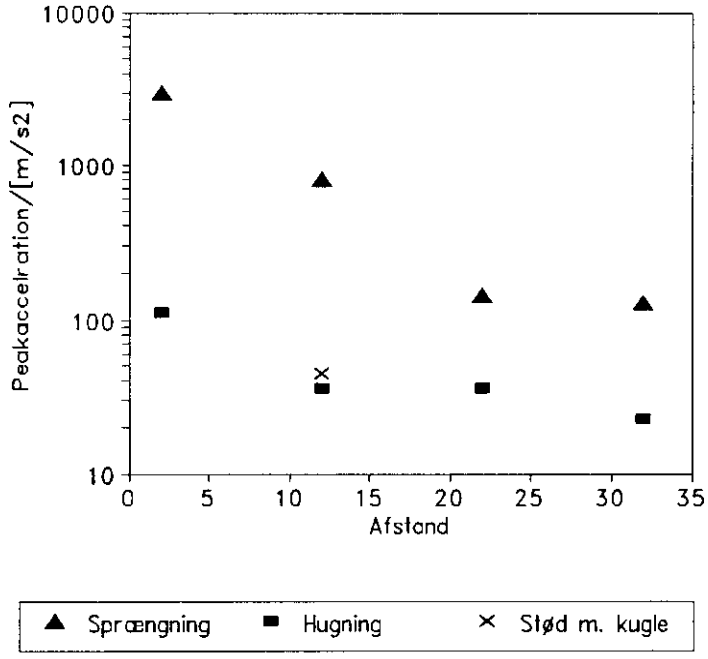


Figur 4.20. Maksimale flytninger ved hugning i brodæk og kantbjælke. Plot angiver den maksimale flytning, der er målt ved ét enkelt hug med den hydrauliske hammer.

Til borthugning af 10 m³ beton fra bropladen medgår således ca. 30.000 slag svarende til et samlet opnået relativt energiniveau på ca. $8{,}1 \cdot 10^6$.

Totalenergi for beton volumen

- Der er således opnået et væsentligt større totalt energiniveau ved hugning end ved sprængning for fjernelse af samme volumen beton.



*Figur 4.21. Af plottene ses, at påvirkningen dæmpes hurtigere for sprængning end for hugning. Accelerationerne kan **ikke** umiddelbart tages som udtryk for energiemissionen ved de pågældende demoleringsmetoder.*

Art	Reg.nr.	2 m	12 m	22 m	32 m	ref. V	ref. H
		m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²
Spr.	A4	2980	805	144	129	147	174
Hugn.	H	113	36	36	23	19	-
Kugle	F	-	45	-	-	-	-

Figur 4.22. Eksempelvis sammenligning af måleresultater; accelerationspåvirkninger på brodæk fra sprængning, hugning og kugle.

4.6 Betonundersøgelser

Skadevirkningen på betonkonstruktionen er vurderet, og konklusionen af undersøgelserne er følgende:

Der kan ikke ud fra de gennemskårne, imprægnerede helkerner eller de imprægnerede planslib påvises nogen skade på betonen som følge af demolering i område A (sprængning af dæk og kantbjælke) og område H (fjernelse af kantbjælke ved hugning).

Skader 300 mm ind i beton

I område C (hultagning i dæk ved sprængning) vurderes det, at betonen er stærkt skadet som følge af demoleringsforsøgene ind til en afstand af minimum 300 mm fra demoleringsstedet. På kernerne udtaget i større afstand end 300 mm fra demoleringsstedet er der iagttaget revnedannelse i mindre omfang. Sammenholdt med betonens tilstand før demoleringsforsøgene kan det ikke udelukkes, at disse revner var til stede allerede før demoleringsforsøgene.

At skader registreret i område C er markant større end skader registreret i område A kan skyldes, at område C har en langt højere armeringsgrad med hensyn til både spændt og slap armering. Det vurderes, at specielt spændkablerne, bl.a. grundet deres stivhed, kan give kraftige påvirkninger af betonen uden for selve demoleringsområdet.

For område H (hultagning i dæk ved hugning) kan der observeres skader i de øverste 20-40 mm af betonen. Disse kan iagttages ind til en afstand af ca. 150 mm fra demoleringsstedet.

Af praktiske årsager er det ikke muligt at bore kerner ud nærmere end ca. 50 mm fra kanten af demoleringsområdet. På baggrund af pilotforsøgene må det dog antages, at betonen i områderne A og H, er skadet i de yderste cm som følge af såvel sprængning som hugning. Ved partiel nedbrydning bør betonoverfladen ved demoleringsstedet derfor under alle omstændigheder højtryksspules, inden ny beton støbes mod den gamle.

5 Genanvendelse af beton

5.1 Grundlag og forudsætninger for genanvendelse

Parallelle udredningsprojekter gennemført med støtte fra Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi indikerer, at der ikke i europæiske standarder findes klare, generelle regler for udførelse af forundersøgelser af betonkonstruktioner, der påtænkes genanvendt efter knusning og sortering som tilslag til ny beton.

Det kan ligeledes konstateres, at der tilsyneladende ikke findes andre standarder for kvalitet af genbrugsmaterialer end følgende anvisninger, som finder anvendelse for materialer til beton i passiv miljøklasse:

- Danmark; DBI's Anvisning for Genanvendelsesmaterialer i Beton til Passiv Miljøklasse [7].
- Holland; Anbefaling nr. 4 og 5 vedrørende anvendelse af beton- og murværksprodukter som tilslag til beton.

Ud over krav til materialer, som fremgår af DS 411 og Basisbetonbeskrivelsen [20], findes der på nuværende tidspunkt ikke regler for materialer, der påregnes anvendt i moderat, aggressivt eller særlig aggressivt miljø. Genbrugsmaterialer, som ønskes anvendt i disse miljøklasser, må derfor opfylde krav, der gælder for primære råstoffer.

Anvendelsespotentiale

Ved vurdering af anvendelsespotentialet for materialer i et nedrivningsobjekt skønnes det ikke at være hensigtsmæssig at anvende de eksisterende regler for primære råstoffer. I visse tilfælde kan det føre til tidlige skader i de nye betonkonstruktioner. Det er derfor hensigten med undersøgelserne i dette projekt, at de skal bidrage til udvikling af et europæisk regelsæt inden for dette område.

I denne rapport vil resultaterne fra vurdering af kvaliteten af materialerne i motorvejsbroen ved Nyborg blive summeret.

På grundlag af de indvundne erfaringer fra disse undersøgelser vil det blive forsøgt at udarbejde en foreløbig anbefaling for undersøgelsesomfang ved vurdering af genanvendelsespotentiale.

5.1.1 Vurdering af materialeressourcer i motorvejsbro

Med henblik på vurdering af kvaliteten af beton i motorvejsbroen i relation til genanvendelse er der gennemført en række analyser af borekerner udboret i bygværket før nedrivning.

Som anført var formålet med undersøgelsen at verificere de enkelte konstruktionsdeles potentiale som tilslagsmateriale efter nedknusning til beton i henholdsvis moderat eller aggressiv miljøklasse.

Bedømmelsen er gennemført ved petrografisk analyse af i alt 6 stk. udborede kerner fordelt over broens bærende konstruktioner. Af praktiske årsager er betonkvaliteten i broens fundamenter ikke undersøgt.

De udborede betonprøver er undersøgt med henblik på vurdering af følgende egenskaber af de fremtidige genbrugsmaterialer:

- Frostbestandighed
- Alkali-kisel-reaktivitet
- Tilslagets styrke

På grundlag af de gennemført undersøgelser konkluderedes følgende:

- Alle dele af betonkonstruktionen vurderes at bestå af frostbestandig og alkaliresistent beton.
- Betontilslag fremstillet af den nedbrudte beton er egnet som tilslag til beton i enhver styrkeklasse.
- Betontilslag fremstillet af den nedbrudte beton er egnet som tilslag til beton i moderat miljøklasse.
- Inden det kan afgøres, hvorvidt den nedknuste beton kan anvendes som tilslag i aggressiv miljøklasse, bør der bl.a. gennemføres absorptionsanalyse af det nedknuste materiale.

Mikrorevner

Det skal bemærkes, at specielt beton hidrørende fra brodækket indeholder mange mikrorevner og mange porøse områder, hvilket kan medføre, at genanvendelsesmaterialet ikke vil være egnet i aggressiv miljøklasse på grund af risiko for problemer med den nye betons frostbestandighed og/eller chlorid-diffusionsegenskaber.

5.1.2 Vurdering af materialeressourcer generelt

Som grundlag for en vurdering af en given betonressources potentiale i relation til genanvendelse som tilslag til beton, må der nødvendigvis fastlægges et referencegrundlag for anvendelsesområdet, beskrivende de belastninger af miljømæssig art, materialet vil blive udsat for i den efterfølgende livscyklus, ligesom de styrkemæssige krav, der vil blive stillet til materialet, skal defineres.

Referencegrundlag

I lyset af det europæiske samarbejde, der allerede eksisterer på betonområdet i CEN-regi, vil det være naturligt at søge et sådant referencegrundlag i den kommende europæiske betonnorm, Eurocode no.2, part 1 (nuværende betegnelse er DS/ENV 1992-1-1).

I denne standard anvendes miljøklasser, de såkaldte exposure classes, jf. omstående figur 5.1: Exposure classes related to environmental conditions, Eurocode no. 2, 4.1.3 Design.

Principielt bør genanvendelsesmaterialer, afhængig af materialernes kvalitet, kunne anvendes i alle disse "exposure classes". Det foreslås at begrænse anvendelse af genbrugstilslag til klasse 1-4.

Styrkemæssigt bør samme principielle synspunkt anlægges, dog må det på nuværende tidspunkt skønnes urimeligt at anvende genbrugstilslag, uanset kvaliteten, i forbindelse med spændt armering.

Det vil formentlig være hensigtsmæssigt at inddele tilslagsmaterialer i 2 eller 3 styrkegrupper, f.eks.:

- overvejende tegl,
- overvejende beton og
- overvejende primære råmaterialer med begrænset indhold af cementmørtel.

Regler for konstruktionens genbrugspotentiale

Det vil på et sådant grundlag være muligt at opstille regler for undersøgelse af bygningsværker med henblik på bedømmelse af konstruktionens genbrugspotentiale som tilslag i beton.

Exposure class		Examples of environmental conditions
1 dry environment		interior of buildings for normal habitation or offices[1]
2 humid environment	a without frost	- interior of buildings where humidity is high (e.g. laundries) - exterior components - components in non-aggressive soil and/or water
	b with frost	- exterior components exposed to frost - components in non-aggressive soil and/or water and exposed to frost - interior components when the humidity is high and exposed to frost
3 humid environment with frost and de-icing salts		interior and exterior components exposed to frost an de-icing agents
4 seawater environment	a without frost	- components completely or partially submerged in seawater, or in the splash zone - components in saturated salt air (coastal area)
	b with frost	- components partially submerged in seawater or in the splash zone and exposed to frost - components in saturated salt air and exposed to frost
The following classes may occur alone or in combination with the above classes:		
5 aggressive chemical environment	a	- slightly aggressive chemical environment (gas, liquid or solid) - aggressive industrial atmosphere
	b	moderately aggressive chemical environment (gas, liquid or solid)
	c	highly aggressive chemical environment (gas, liquid or solid)

1) This exposure class is valid only as long as during construction the structure or some of its components is not exposed to more severe conditions over a prolonged period of time.

Figur 5.1. "Exposure classes" i relation til miljøbestemte vilkår, jf. Eurocode no. 2, 4.1.3 Design.

5.1.3 Forundersøgelser, genbrugsmaterialer

Definition af vejledningens anvendelsesområder:
Der arbejdes i nærværende forslag alene med en bedømmelse af betonkonstruktionens egnethed som ressource for fremstilling af genbrugstilslag med kornstørrelse over 4 mm.

Primære nedbrydningsmekanismer i relation til kvaliteten af stentilslaget i beton:
De overvejende årsager til betons nedbrydning i Danmark kan tilskrives følgende mekanismer:

- Overbelastning som følge af
  - manglende pastastyrke,
  - manglende tilslagsstyrke,
  - kombination heraf.

- Frost-tø nedbrydning som følge af manglende frostbestandighed af
  - betonens cementpasta,
  - tilslaget,
  - kombination heraf.

- Alkalikiselreaktioner som følge af
  - højt indhold af alkalireaktivt tilslag i kombination med højt alkaliindhold i betonen og manglende modforanstaltning i form af puzzolantilsætning,
  - armeringskorrosion som følge af
    - utilstrækkelige passiveringsegenskaber af cementpasta,
    - porøse tilslagsmaterialer,
    - kombination heraf.

Det kan endvidere fastslås,

- at frostnedbrydning forudsætter en samtidig kombination af
  - frostfarlig beton,
  - mulighed for etablering af kritisk vandmætningsgrad,
  - gentagne frostbelastninger.

- at alkalikiselreaktioner forudsætter tilstedeværelse af
  - alkalireaktive materialer,
  - alkali,
  - vand,

  idet det dog bemærkes, at alkalireaktive stentilslag ofte registreres ved frostspringere i betonens overflade, der således ikke forudsætter tilstedeværelse af alkali.

- at korrosionsmekanismer i det store og hele kan relateres til karbonatisering og chloridindtrængning i cementpasta under fugtbelastning. (Kvaliteten af tilslaget er af mindre betydning. Det kan dog noteres, at porøse tilslag fremmer hastigheden af karbonatisering og chloriddiffusion).

- at overbelastningsskader som følge af utilstrækkelig betonstyrke normalt kan undgås ved forprøvning og kvalitetskontrol.

Forslag til gennemførelse af forundersøgelse:

Miljøklasse 1

Forundersøgelser skønnes ikke nødvendige (se dog afsluttende generel bemærkning vedr. styrke).

Miljøklasse 2a

Forundersøgelse bør omfatte:

- Bestemmelse af indhold af reaktivt materiale, herunder fastlæggelse af dette materiales restreaktivitet.

- Bestemmelse af indhold af chlorider.

Miljøklasse 2b

Forundersøgelse bør omfatte:

- Bestemmelse af indhold af reaktivt materiale, herunder fastlæggelse af dette materiales restreaktivitet.
- Bestemmelse af indhold af chlorider.
- Bestemmelse af betonens frostbestandighed.

Miljøklasse 3

Forundersøgelse som anført under miljøklasse 2b.

Miljøklasse 4a

Forundersøgelse bør omfatte:

- Bestemmelse af indhold af reaktivt materiale, herunder fastlæggelse af dette materiales restreaktivitet.
- Bestemmelse af indhold af chlorider.
- Bestemmelse af betonens absorptionsegenskaber.

Miljøklasse 4b

Forundersøgelse bør omfatte:

- Bestemmelse af indhold af reaktivt materiale, herunder fastlæggelse af dette materiales restreaktivitet.
- Bestemmelse af indhold af chlorider.
- Bestemmelse af betonens absorptionsegenskaber.
- Bestemmelse af betonens frostbestandighed.

Betonmaterialers styrkeegenskaber verificeres

For alle miljøklasser er gælder generelt, at det oprindelige betonmateriales styrkemæssige egenskaber bør verificeres, såfremt genanvendelse påregnes i konstruktioner, hvortil der kræves en beton med usædvanlig høj styrke (f.eks. > C 50/60).

5.2 Knusning, sortering og undersøgelser

Betonmaterialet til knusning og sortering består af materialer fra demoleringsforsøgene, dvs. materialer fra nedrivning med kugle, hydraulisk hammer og ved sprængning.

Forknust til et 0-100 mm

Betonbrokkerne blev forknust ned til et 0-100 mm materiale vha. et mobilt knuseanlæg og derefter oplagt i depot på arbejdsområdet. Sigtekurver viser ingen signifikant forskel i kornstørrelsefordeling for materialerne fra de forskellige demoleringsmetoder.

Efter forknusning blev materialerne transporteret til Tarco Vej A/S i Fjelsted for videre knusning og sortering:

1. 0-4 mm materialet blev frasorteret.
2. 4-100 mm materialer blev knust og fraktionssorteret.

Figur 5.2 viser mængderne, som fremkom ved knusning og sortering af materialerne. Flow'et af disse mængder af knuste og sorterede materialer er vist grafisk i figur 5.3.

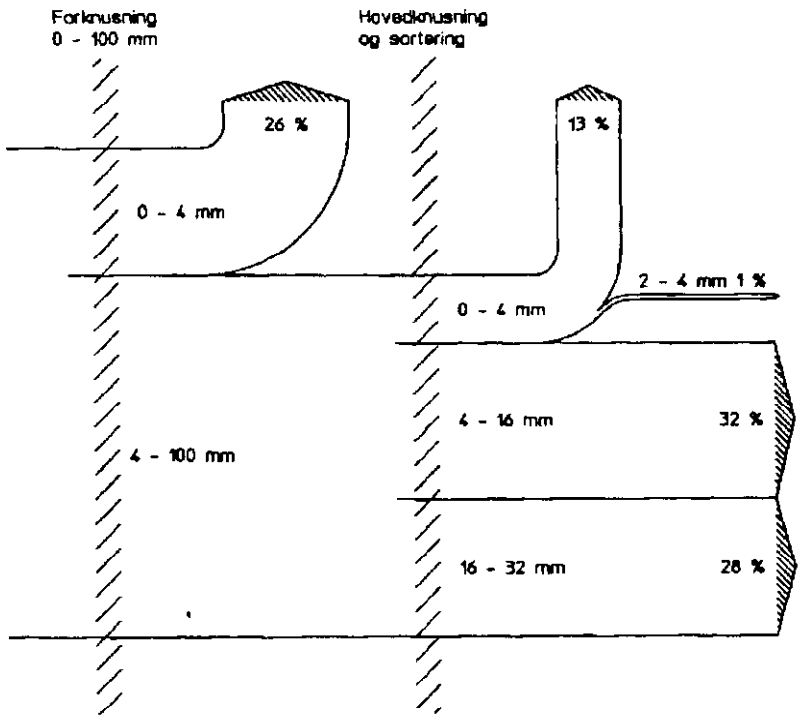
Materialemængder (tons) efter knusning/sortering		Kugle	Hammer	Sprænging
Sortering efter forknusning	0-4 mm	34	32	33
	4-100 mm	99	89	90
Sortering efter knusning af 4-100 mm materiale	0-2 mm			14
	0-4 mm	17	16	
	2-4 mm			6
	4-16 mm	43	34	41
	16-32 mm	38	33	34

Figur 5.2 Materialemængder efter knusning/sortering.

Sorteringsprodukt blev udtaget for analyse

Karakteristiske prøver af hvert sorteringsprodukt blev udtaget og sendt til Dansk Beton Teknik for analyse og kvalitetskontrol.

Efter prøveudtagning blev fraktionerne fra de forskellige demoleringsmetoder sammenblandet og oplagt i depot på pladsen.



Figur 5.3 Flowdiagram visende mængderne af knuste og sorterede materialer.

5.2.1 Undersøgelse af materiale efter knusning

Der er foretaget en analyse af de nedknuste materialer fra bro 20205. Materialerne er efter analyserne anvendt i hhv. "Genbrugshuset" i Odense og støjskærmen i Nyborg.

Indflydelse fra demoleringsmetode ?

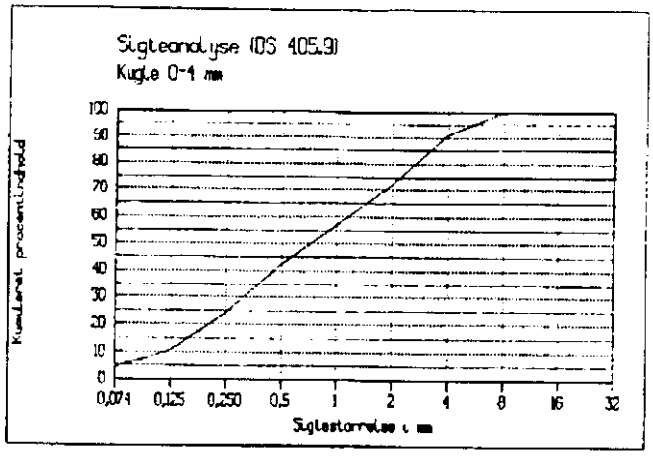
Formålet med undersøgelsen var at verificere den nedknuste betons potentiale som tilslagsmateriale. Det blev undersøgt, hvorvidt de forskellige demoleringsmetoder havde indflydelse på det nedknuste materiales anvendelighed som tilslagsmateriale. Desuden blev der fremstillet en serie prøvestøbninger med de nedknuste materialer.

Betonen fra de forskellige demoleringsmetoder (sprængning, hugning og slag med kugle) blev holdt adskilt. Efter demoleringsforsøgene nedknustes betonen til et materiale med maksimal kornstørrelse på 32 mm. Det nedknuste materiale sorteredes i følgende fraktioner: 0-4 mm, 4-16 mm og 16-32 mm. For materialet fra sprængningen er 0-4 mm fraktionen yderligere delt op i 0-2 mm og 2-4 mm fraktioner.

Der udførtes følgende analyser af den nedknuste beton:

- Kornstørrelsesfordeling
- Kornform
- Vandabsorption
- Densitet
- Indhold af lette korn
- Chloridindhold
- Analyse af om tilslaget over 4 mm har indre revner eller andre skader, der kan formodes at skyldes den anvendte demoleringsmetode

Kornstørrelsesfordeling:
Kornstørrelsesfordelingen af det nedknuste materiale er bestemt ved sigteanalyse i henhold til DS 405.9.



Figur 5.4 Sigtekurve for 0-4 mm fraktionen fra nedbrydning med kugle (fuldt optrukket linie).

Sandfraktion i BS zone 2

Sandfraktionen fra samtlige tre demoleringsmetoder tilhører BS zone 2, se eksemplet i figur 5.4. Det bemærkes, at sigtekurven ligger meget højt for de fine fraktioner og overstiger den maksimalt tilladelige afvigelse på 5 % fra den angivne zonegrænse, jf. BS 882. For de grove fraktioner ligger sigtekurven derimod tæt på den nedre grænse for BS zone 2 sand. Resultaterne af sigteanalyserne indikerer, at 0-4 mm fraktionerne (0-2 mm fraktionen for sprængning) ikke er velegnede til betonfremstilling.

Der kunne ikke iagttages nogen signifikant forskel på kornkurverne for det nedknuste materiale for de tre demoleringsmetoder.

Kornform:
Kornformen for fraktionerne 4-8 mm, 8-16 mm og 16-32 mm blev analyseret. Analysen blev udført i henhold til DS 405.6. Resultatet af analysen er angivet i figur 5.5.

Demolerings-metode	Fraktion mm	Kornform. Vægt % af:			
		kubiske	flade	lange	flade/lange
Sprængning	4-8	90	4	6	0
	8-16	94	3	3	0
	16-32	95	2	3	0
Hugning	4-8	93	2	5	0
	8-16	93	4	3	0
	16-32	96	0	4	0
Kugle	4-8	90	5	5	0
	8-16	92	5	3	0
	16-32	98	0	2	0

Figur 5.5. *Den nedknuste betons kornform.*

Kubisk form

For en kvalitetsbeton kræves normalt, at betonens indhold af kubiske korn er større end 70 %. Dette krav blev opfyldt af de undersøgte fraktioner for samtlige demoleringsmetoder. Resultaterne i figur 5.5 indikerer desuden, at den anvendte demoleringsmetode ikke havde nogen indflydelse på kornformen af det nedknuste materiale.

Vandabsorption:

Væsentlig vandabsorption

Nedknust betons vandabsorptionsevne er væsentligt højere end vandabsorptionsevnen for naturlige tilslagsmaterialer. Dette skyldes, at mørtelandelen af de nedknuste materialer er porøs og dermed har en høj absorptionsevne.

På grund af den ru og/eller porøse overflade er det vanskeligt at afgøre, hvornår materialet netop er i vandmættet, overfladetør tilstand ved hjælp af den standardiserede metode beskrevet i DS 405.2. Metoden er derfor ikke velegnet til bestemmelse af nedknust betons vandabsorptionsevne.

Den vandmættede, overfladetørre tilstand af det nedknuste materiale kan bestemmes ud fra materialets desorptionsisoterm, jf. I.R. metoden [18]. Denne metode giver en langt mere pålidelig bestemmelse af den vandmættede, overfladetørre tilstand for nedknust beton og dermed en mere korrekt værdi for materialets absorptionsevne.

Idet I.R. metoden ikke er standardiseret, angives også absorptionsværdierne bestemt ved hjælp af DS 405.2. Absorptionsværdierne bestemt ved hjælp af I.R. metoden anvendes ved beregning af den nedknuste betons densitet og ved proportioneringen af genbrugsbetonen.

Demolerings-metode	Fraktion mm	Absorption i % bestemt i.h.t.	
		DS 405.2	I.R.
Sprængning	0-2	6,5	4,5
	2-4	-	4,0
	4-16	4,2	2,6
	16-32	5,5	2,6
Hugning	0-4	8,9	4,2
	4-16	4,2	2,4
	16-32	5,7	1,8
Kugle	0-4	8,1	4,7
	4-16	4,9	2,4
	16-32	5,3	3,4

Figur 5.6. *Vandabsorption bestemt efter DS 405.2 samt efter I.R. metoden [18].*

Absorptionsværdierne bestemt i henhold til såvel DS 405.2 som I.R. metoden stemmer overens med de tilsvarende resultater rapporteret for nedknust beton i [18]. Bemærk, at absorptionsværdierne bestemt ved hjælp af DS 405.2 ligger markant højere end absorptionsværdierne bestemt ved I.R. metoden.

Der kan ikke påvises nogen signifikant forskel på de nedknuste materialers vandabsorptionsevne for de tre demoleringsmetoder.

Densitet:
Den nedknuste betons densitet er bestemt i henhold til DS 405.2, dog er betonens masse i vandmættet, overfladetør tilstand bestemt ved I.R. metoden; se afsnittet vedr. vandabsorption.

Tørdensiteten δ_d og densiteten i vandmættet overfladetør tilstand δ_{ssd} er anført i figur 5.7.

Demolerings-metode	Fraktion mm	δ_d (kg/m³)	δ_{ssd} (kg/m³)
Sprængning	0-2	2109	2246
	2-4	2384	2480
	4-16	2419	2481
	16-32	2430	2492
Hugning	0-4	2357	2456
	4-16	2442	2500
	16-32	2454	2497
Kugle	0-4	2209	2313
	4-16	2450	2509
	16-32	2371	2451

Figur 5.7. *Tørdensitet δ_d og densitet i vandmættet, overfladetør tilstand δ_{ssd}.*

Det fremgår af resultaterne i figur 5.7, at densiteten for de nedknuste materialer, specielt for 0-4 mm fraktionen, er noget lavere end for de fleste typer naturligt tilslag.

Det må i den forbindelse nævnes, at der i Basisbetonbeskrivelsen for stentilslag til beton i moderat og aggressiv miljøklasse stiller krav om et maksimalt indhold af lette korn under 2.400 kg/m³ (vandmættet, overfladetør tilstand, VOT) på henholdsvis 5,0 % og 1,0 %.

Det nedknuste materiale mindre end 4 mm vil således næppe kunne godkendes til beton til moderat og aggressiv miljøklasse.

Der kan ikke observeres nogen signifikant forskel på densiteten af de nedknuste materialer for de forskellige demoleringsmetoder.

Indhold af lette korn:
Figur 5.8 angiver mængden af lette korn under henholdsvis 2.200, 1.800, og 1.600 kg/m³ i vægtprocent. Resultaterne er bestemt i henhold til TI-B 76.

Ikke forskel i densitet

Da der ikke er observeret nogen signifikant forskel på densiteten af de nedknuste materialer som følge af den anvendte demoleringsmetode, er der ved bestemmelse af indholdet af lette korn ikke skelnet mellem materialerne hidrørende fra de tre metoder.

Densitet (VOT)* (kg/m³)	Fraktion		
	2-4 mm	4-16 mm	16-32 mm
< 2200	29 %	3,2 %	0 %
< 1800	0,05 %	0 %	0 %
< 1600	0 %	0 %	0 %

*Vandmættet, overfladetør tilstand

Figur 5.8. Indhold af lette korn.

Dansk Beton Forenings anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton i passiv miljøklasse [7] stiller krav om maksimalt indhold af lette korn under hhv. 2.200, 1.800 og 1.600 kg/m³.

4-16 mm og 16-32 mm fraktionerne opfylder kravene til såvel GP1- som til GP2-materiale.

2-4 mm fraktionen kan ikke godkendes som GP1 materiale, da indholdet af lette korn under 2.200 kg/m³ overstiger 10 %.

Chloridindhold:
Figur 5.9 angiver chloridindholdet i procent af betonens masse bestemt i henhold til DS 423.28.

Fraktion	Cl^- (%)
2-4 mm	0,0027
4-16 mm	0,0035
16-32 mm	0,0018

Figur 5.9. *Chloridindhold i procent af betonens masse.*

DS 411 stiller krav om et maksimalt indhold af $CaCl_2$ på 0,5 vægtprocent af betonens cementindhold, når der er tale om slapt armeret beton i aggressivt miljø. For en beton som den foreliggende, med et cementindhold på 300 kg/m³ og en densitet på ca. 2.400 kg/m³, svarer dette krav til et indhold af Cl^- på ca. 0,04 % af betonvægten. Det fremgår af figur 5.9, at de observerede chloridmængder for samtlige fraktioner er langt mindre end denne grænse.

Analyse af revner eller andre skader i korn:
Med henblik på at undersøge, om den nedknuste beton har skadelige revner som følge af nedknusningen og/eller den anvendte demoleringsmetode, udførtes to tyndslib af hver af fraktionerne større end 4 mm.

Revner i pastaen nær overfladen af kornene

Generelt kan der observeres nogle revner i pastaen, specielt nær overfladen af de enkelte korn. Det antages, at mange af disse revner skyldes nedknusningen.

Der kan ikke observeres nogen signifikant forskel på antallet af revner i det nedknuste materiale for de forskellige demoleringsmetoder.

Genbrugsbeton:
Der fremstilledes fire prøveblandinger med de nedknuste materialer. Der udføres to blandinger, hvor tilslaget udelukkende består af nedknust materiale samt to blandinger, hvor 0-4 mm fraktionen af det nedknuste materiale erstattes af natursand (søsand). Der udføres blandinger med karakteristiske styrker på 20 MPa og 35 MPa, svarende til proportioneringsstyrker på henholdsvis 31 MPa og 47 MPa. Samtlige blandinger er luftindblandede.

Materiales anvendelighed som tilslagsmateriale

Resultaterne af analyserne indikerer, at den anvendte demoleringsmetode ikke har nogen indflydelse på det nedknuste materiales anvendelighed som

tilslagsmateriale. Ved proportionering af prøveblandingerne tages der således ikke hensyn til hvilken demoleringsmetode, der er anvendt ved nedbrydningen.

I figur 5.10 ses en oversigt over de anvendte materialekombinationer samt karakteristiske styrker for de fire prøveblandinger.

Blanding nr.	f_{ck} (MPa)	Nedknust beton		Søsand
		0-4 mm	4-32 mm	0-4 mm
1	20		x	x
2	20	x	x	
3	35		x	x
4	35	x	x	

Figur 5.10. Anvendte materialekombinationer samt karakteristiske styrker, f_{ck}.

Betonsammensætningen for de fire blandinger fremgår af figur 5.11. De angivne mængder er baseret på, at tilslaget er i vandmættet, overfladetør tilstand. For det nedknuste materiale er den vandmættede, overfladetørre tilstand fastlagt i henhold til I.R. metoden [18].

Blanding nr.	1	2	3	4
Cement	344	344	389	389
Søsand (0-4)	656	-	665	-
Nedkn. (0-4)	-	633	-	642
Nedkn. (4-16)	541	523	549	530
Nedkn. (16-32)	442	427	449	433
Vand	165	165	137	137
Luftindbland.	0.3	0.3	0.3	0.3
SPT	-	-	4.5	4.5

Figur 5.11. Betonsammensætning.

I figur 5.12 ses 28 døgns trykstyrken for de fire blandinger. Den angivne trykstyrke er gennemsnittet af 6 prøver. Spredningen er angivet i procent til højre for middelværdien.

Blanding nr.	Trykstyrke (MPa)
1	$30{,}9^{9\%}$
2	$35{,}0^{13\%}$
3	$40{,}6^{9\%}$
4	$45{,}1^{10\%}$

Figur 5.12. 28 døgnstrykstyrken, gennemsnit af seks prøver. Spredningen er angivet i procent til højre for middelværdien.

Det fremgår af figur 5.12, at trykstyrken ligger lidt højere for serie 2 og 4, hvor 0 - 4 mm fraktionen består af nedknust materiale, end for serie 1 og 3, hvor 0 - 4 mm fraktionen består af natursand. Dette kan evt. skyldes usikkerhed ved bestemmelse af det nedknuste materiales absorptionsevne.

Konklusion:
Med hensyn til betonfremstilling har 0-4 mm fraktionen for de nedknuste materialer en ugunstig kornstørrelsesfordeling med et meget højt indhold af fint materiale. Dette medfører en markant forringelse af betonens bearbejdelighed.

Kornformen for det nedknuste materiale større end 4 mm opfylder kravene til tilslag for kvalitetsbeton.

Densiteten for det nedknuste materiale, specielt densiteten for 0-4 mm fraktionen, er noget lavere end for de fleste typer naturligt tilslag. Desuden opfylder 0-4 mm fraktionen ikke kravet i Dansk Beton Forenings anvisning [7] til maksimalt indhold af lette korn for GP1-materiale.

Det observerede chloridindhold er langt mindre end det, ifølge DS 411, maksimalt tilladte indhold af chlorid for slapt armerede konstruktioner i aggressivt miljø.

Vandabsorptionsevnen for de nedknuste materialer er væsentlig højere end for naturlige tilslagsmaterialer, hvorfor der skal gives materialerne lejlighed til at blive vandmættede ved blandeprocessen.

De opnåede trykstyrker svarer til proportioneringsstyrkerne.

Trykstyrkerne for blanding 2 og 4, hvor tilslaget udelukkende består af nedknust beton, er lidt højere end trykstyrken for blanding 1 og 3, hvor 0-4 mm fraktionen er erstattet af natursand. Dette kan evt. skyldes usikkerhed ved bestemmelse af vandabsorptionsevnen for den fine fraktion af den nedknuste beton.

Der kan ikke påvises nogen signifikant forskel på de nedknuste materialers egenskaber som følge af den anvendte demoleringsmetode.

Nedknust materiale velegnet til betonfremstilling

På baggrund af de udførte undersøgelser kan det konkluderes, at de nedknuste materialer over 4 mm synes velegnede til betonfremstilling. 0-4 mm fraktionen kan ligeledes anvendes til betonfremstilling, dog skal man være opmærksom på, at bearbejdeligheden af betonen hermed forringes mærkbart. Desuden kan 0 - 4 mm fraktionen ifølge [7] kun klassificeres som GP2-materiale, hvorfor en beton indeholdende denne fraktion, kun kan anvendes til beton med karakteristisk trykstyrke til og med 20 MPa.

5.3 Genanvendelse

Knusning og sortering af de nedrevne materialer fra demoleringsforsøgene (ca. 5% af den totale mængde) resulterede i ca. 230 tons materiale, som er egnet til betontilslag.

Dette materiale er genanvendt i beton til passiv og aggressiv miljøklasse i de to demonstrationsprojekter: Møllebrogården i Odense og støjskærm ved motorvejen i Nyborg.

5.3.1 Genanvendelse i husbyggeri

Genbrugsbeton i boliger

Møllebrogård, Andelsboligforeningen HØJSTRUP, Carlsgade, Odense: Bygningen er på ca. 1.050 m² i 2½ etage med kælder og indeholder 14 lejligheder. Byggeriet er specielt derved, at store dele af de indbyggede materialer stammer fra nedrevne bygninger og anlægskontruktioner. Byggeriet er støttet af Miljøstyrelsen i bestræbelserne på at fremme renere teknologi (herunder genanvendelse) i bygge- og anlægssektoren. Der er anvendt genanvendte materialer til:

- Kapillarbrydende lag: 75 m³ knust beton
- Tilslagsmaterialer: 600 t knust beton
- Afrensede teglsten: 136.000 stk.
- Genbrugt, opskåret tømmer: ca. 16 km
- Skifer: 7000 stk.

I boligbyggeriet Møllebrogården indgår knust materiale fra motorvejsbroen som betontilslag i 2 betonkvaliteter i passiv miljøklasse:

Beton 30:
Denne betontype er anvendt i konstruktioner omkring et sikringsrum og et offentligt beskyttelsesrum.

Beton 20:
Dækkonstruktioner over normale beboelses- og kælderrum er udført af beton 20.

Figur 5.13 Møllebrogården, Odense.

Figur 5.14 Støbning af kældervægge med genanvendelsestilslag

For projekteringen gælder, at:

- Statiske beregninger er udført i henhold til Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner, DS 411, samt Dansk Betonforenings publikation nr. 34.
- Kravene i Basisbetonbeskrivelsen og Dansk Betonforenings Publikation nr. 34 er overholdt.

Selv om det er et demonstrationsprojekt, er aktiviteterne i forbindelse med genanvendelse gennemført som ved en traditionel byggesag.

Sædvanlig arbejdsgang

Materialer hentes på det kommunale oparbejdningscenter (Tarco Vej, Fjelsted) af færdigbetonleverandøren (Unicon), som leverer betonen på byggepladsen til entreprenøren (Højgaard & Schultz Vest A/S) i betonkanoner, og entreprenørens betonfolk udstøber materialet på sædvanlig vis.

"en positiv oplevelse"

Betonproducentens konklusion vedr. forsøget er, at det har været "en positiv oplevelse" at anvende knust byggeaffald. Da det er et enkeltstående forsøg, har det givet nogle - også økonomisk belastende - gener i den daglige produktion, bl.a. fordi der måtte reserveres ibrugværende tilslagssiloer specielt til det knuste betonmateriale, ligesom blandeanlæg og betonkanoner er rengjort ekstraordinært efter levering af beton med genanvendelsestilslag.

Dette er dog gener, som hænger sammen med, at der her er tale om et enkeltstående demonstrationsprojekt. Når der etableres en kontinuert produktion af beton med knuste genanvendelsesmaterialer, vil disse gener forsvinde sammen med de ekstraordinære udgifter til forprøvning og kontrol.

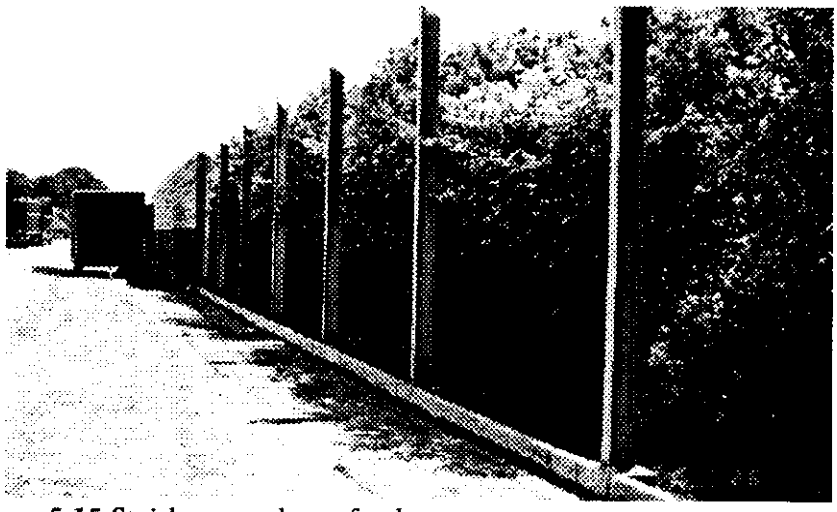
Udstøbningen på pladsen forløb - i lighed med erfaringer fra andre demonstrationsprojekter - normalt, idet entreprenøren gav udtryk for, at bearbejdeligheden af betonen ikke adskiller sig fra normal beton.

5.3.2 Knust beton i skørtelementer

Støjskærm, Nyborg:

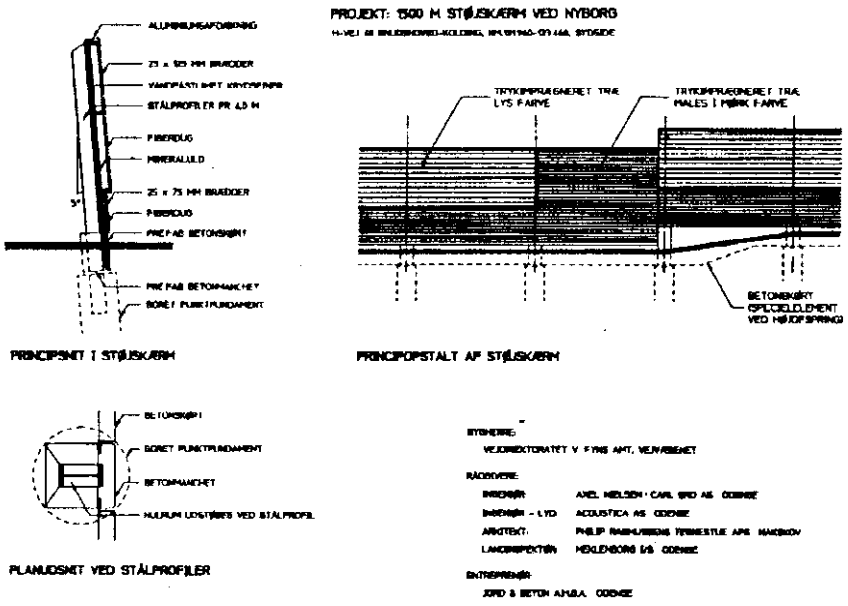
Støjskærme

I perioden november 1992 til juni 1993 opførtes en ca. 1,5 km støjskærm langs sydsiden af motorvejen i Nyborg, se figur 5.15. Af støjskærmens præfabrikerede dele blev ca. 170 m, i.e. ca. 42 betonskørtelementer, udført med tilslagsmaterialer af knust beton. Figur 5.16 viser en principskitse af støjskærmen.



Figur 5.15 Støjskærm under opførelse

Betonrecept:



Figur 5.16 Principskitse af støjskærmen.

På grund af støjskærmens placering, udendørs og tæt ved en trafikeret motorvej, henhører konstruktionen under aggressiv miljøklasse, hvilket medfører, at det er krav til betonens tæthed og ikke til dens styrke, som er bestemmende for blanderecepten. Figur 5.17 indeholder nøglefaktorer for de 3 betonblandinger for genbrugsbetonen samt for standardbetonen.

	Standard-beton	Forsøgs-beton 1	Forsøgs-beton 2	Forsøgs-beton 3
Ækv. cementindh.	385 kg/m³	407 kg/m³	392 kg/m³	407 kg/m³
Eff. vandindh.	143 kg/m³	154 kg/m³	154 kg/m³	154 kg/m³
Ækv. V/C-forh.	0,372	0,379	0,394	0,379
Sand 0/4	Bakkesand	Bakkesand	Bakkesand	Bakkesand
Sten 2/4		Genknus	Genknus	
Sten 4/8	St.granit		St.granit	
Sten 4/16		Genknus		Genknus
Sten 8/16	St.granit		St.granit	
Sten 16/32		Genknus		Genknus

Figur 5.17. Blanderecepter for standardbetonen og for de 3 prøveblandinger.

Prøvningsresultater:
For hver af de nævnte blandinger udførtes både makro- og mikroanalyser af kerne udboret af prøvestøbninger.

Makroanalysen betegner samtlige prøver som pæn og homogen beton, dog indeholder forsøgsbeton 1 noget indkapslet luft fordelt i hele kernen.

Lavt defektomfang

Mikroanalysen betegner samtlige prøver som beton med lavt defektomfang. Dog bemærkes, at den knuste beton er stedvis karbonatiseret, gennemvævet af fine revner og mikrorevner, og har et varieret kapillarporesystem, samt at der ingen alkalikiselreaktioner er observeret ved tilslaget i den knuste beton.

Montage af forsøgselementer:
Betonskørtelementer, som er mærket tydeligt og holdbart, blev monteret i 14 gentagne frekvenser: I, II, III, normalelement, I, II, III, osv. Forsøgsstrækningen på ca. 220 m er udvalgt således, at skørtelementerne i varierende grad er jordtildækket, samt at de udsættes for mere eller mindre aggressiv påvirkning, der skønnes afhængigt af placering i forhold til motorvejens kørebanekant.

Projektopfølgning:
Det er hensigten, at der fastlægges et program med opfølgende undersøgelser af betonskørtelementerne.

Inden montagen udboredes 4 kerner; en fra et standardbetonelement og tre fra elementer fremstillet af forsøgsbeton. Disse kerner opbevares som reference for senere undersøgelser.

5.4 Opfølgning

Der foreligger for indeværende ingen konkrete planer fra projektgruppen om opfølgning af det her rapporterede projekt "fragmentering og genanvendelse af beton".

Yderligere opfølgende forsøg

Projektets forsøg og undersøgelser har imidlertid lukket op for yderligere, opfølgende forsøg med og diskussion af metoder til vurdering af påvirkninger og skader på restkonstruktioner i forbindelse med partiel demolering. Ligeledes er der i sammenhæng med de tilknyttede genanvendelsesprojekter inddraget vurdering af genanvendeligheden af den nedknuste beton for sammenligning med tidsafhængige resultater, idet de tilknyttede genanvendelsesprojekter, der er beskrevet i nærværende rapport, og hvori der indgår materialer fra bro 20205, indeholder kontrolprogrammer til opfølgning af den genanvendte betons tidsafhængige udvikling.

For skørtelementerne udarbejdes en plan, som fastsætter omfanget af de kommende års inspektion og kontrol. I planen defineres registrerings- og rapporteringsrutiner. Planen indeholder bl.a.:

- Årlig, visuel inspektion af forsøgsstrækningen,
- Periodisk analyse af udboret kerne.

6 Sammenfattende konklusioner

På grundlag af de udførte fragmenteringsforsøg med afprøvning af demoleringsmetoder samt de efterfølgende betonundersøgelser og genanvendelsesprojekter kan man konkludere følgende:

6.1 Vurdering af ydelser af demoleringsmetoder

Sprængning

1. Sprængningsforsøg har vist, at den optimale størrelse af den specifikke ladning til sprængning af kantdrager og dæk har ligget på henholdsvis 1,0 og 0,7 kg/m³, hvilket harmonerer med den vejledende ladningstabel.

2. Tidsforbruget til sprængning af hhv. kantbjælke og dæk, inkl. boring og skæring af jern, har ligget på 6,3 og 1,1 mandtime pr. m³ demoleret armeret beton.

3. Udsprængning af hul med dimensionerne 1,3 m × 1,8 m kan gennemføres med specifik ladning på 2,1 kg/m³ på 3 timer inkl. borearbejde, friskæring og rensning af hul.

4. Forsøg med de to typer ekspanderende mørtel BRISTAR 100 og BRISTAR SUPER 2000 viste, at demoleringsmetoden tager betydeligt længere tid end opgivet af mørtelleverandøren. Virkningen for begge typer ophørte først efter 10 dage, og det var nødvendigt at anvende hydraulisk hammer for at fuldføre nedrivningsarbejdet.

Nedbrydningskugle

5. Nedrivning med 2,2 t stålkugle viste sig at være meget lidt effektiv, indtil de første brokker var løsnet. Der blev demoleret ca. 5,2 m³ armeret beton pr. maskintime, hertil kom 1 mandtime til friskæring af jern.

Hugning

6. Resultatet af demolering af kantbjælke hhv. dæk ved hugning afhang af hammerens størrelse. Med 1.350 kg hammer kunne man nedrive 5,3 m³ beton pr. maskintime. Effektiviteten af en 250 kg hammer var meget begrænset.

7. Med 1.350 kg hammer kunne man etablere et hul i dækket med størrelse 3 m x 3 m med 1,5 maskintime og 2,5 mandtime til skæring.

8. Nedrivning af brodækket med kugle viste sig at være ufordelagtig. Ved den efterfølgende nedrivning af støttemure og søjler (de lodrette konstruktionsdele) viste kugle sin effektivitet og hurtighed. Metoden kan dog ikke anbefales til partiel demolering, da det ikke er

muligt at undgå skader på den del af konstruktionen, der ønskes bibeholdt.

9. Den valgte nedrivningsmetode med 1.350 kg hammer viste sig at være hensigtsmæssig. Det er dog ikke muligt ud fra de gennemførte forsøg at foretage en umiddelbar sammenligning mellem hugning og sprængning m.h.t. effektivitet.

   Bemærkninger:
   Såfremt der havde været behov for en kortfristet rydning af broen fx p.g.a. hensyn til mindst mulig afbrydelse af trafikken, ville en sprængningsløsning kunne foretrækkes fremfor for andre metoder, som kræver længerevarende afspærringer og trafikbegrænsninger.

   Ved anvendelse af sprængningsmetoden til nedrivning af bropladen, ville det formentlig være mest hensigtsmæssigt at sprænge hele pladen ved én samlet sprængning.

   Som følge af, at der ikke har været væsentlige risici for energiudløsninger ved overskæring af spændarmeringskabler, er denne problemstilling ikke undersøgt nærmere i dette projekt.

6.2 Vurdering af skader på betonkonstruktionen

1. Undersøgelse af betonmaterialet i brokonstruktionen grænsende op til nedbrydningsområder er gennemført ved sammenlignende, petrografisk analyse af borekerner udtaget før og efter nedbrydning.

   Det kan konstateres, at metoden var velegnet hertil i det omfang, brobetonen før nedbrydning har været fejlfri.

   I enkelte tilfælde, hvor betonen allerede før nedbrydning udviste inhomogeniteter eller revnedannelser, har det ikke været muligt med sikkerhed at drage konklusioner på grundlag af den petrografiske analyse.

Ikke signifikant forskel på skadevirkning

2. Der er ikke konstateret signifikant forskel på skadevirkning på tilstødende konstruktionsdele fra nedbrydning ved sprængning eller ved hugning.

3. Ved anvendelse af sprængning eller hugning i områder med ringe armeringsgrad synes de opståede skader på bibeholdte konstruktionsdele at være beskedne. Der er i sådanne konstruktionsdele ikke observeret skader på beton i afstande, der overstiger 15 cm fra demoleringsstedet.

4. I områder med høj armeringsgrad med hensyn til såvel spændt som slap armering må det forventes, at betonen vil være stærkt beskadi-

get i en afstand af min. 30 cm fra demoleringsstedet. De gennemførte undersøgelser kan ikke danne sikkert grundlag for en sammenligning af metodernes egnethed.

Det vurderes imidlertid, at specielt spændkabler ved sprængning kan overføre kraftige påvirkninger til betonen uden for selve demoleringsområdet.

5. Det konstateredes, at ved partiel nedbrydning af betonkonstruktionen bør tilbageblivende konstruktionsdeles kvalitet verificeres ved egnede metoder (ultralyd, impact ekko, petrografi), og demoleringsstedet bør under alle omstændigheder renhugges med håndkraft og/eller højtryksspules, inden ny beton støbes mod den oprindelige konstruktionsbeton.

6.3 Vurdering af dynamiske påvirkninger

Skader på den tilbagestående beton

1. Resultaterne af ultralydmålingerne bekræftede, at der efter sprængning ikke kan konstateres skader på den tilbagestående beton i større afstande end 40-50 cm fra sprængstedet. Undersøgelse af borekerner viser imidlertid kun skader indtil 15 cm fra sprængningsstedet. Forskellen kan bero på påvirkningen af armeringen, der i overfladen kan skabe udløbende skader p.g.a. oprivning.

2. Ved de kraftigere sprængninger må der forventes accelerationspåvirkninger nærmest sprængstedet af størrelsesorden 10.000 m/s² (1.000 g), svingningshastigheder på 10 m/s og flytninger på ca. 1 mm.

3. Ved at kontrollere sprængninger og afpasse ladningsstørrelse kan man imidlertid reducere svingningspåvirkningerne væsentligt. Dette mindsker påvirkningerne på den omgivende konstruktion, men gør samtidig arbejdet mere tidkrævende.

4. Ved hugning med 1.350 kg hammer registreredes accelerationspåvirkninger tæt på demoleringsstedet på ca. 110 m/s² (10 g), svingningshastigheder på 0,1 m/s og flytninge på 0,1 mm.

Kraftigere dæmpning

5. Der observeredes en tydelig tendens til en kraftigere dæmpning af påvirkningerne fra sprængning end påvirkningerne fra hugning i afhængighed af afstanden fra demoleringsstedet.

Højere kumuleret energiudslip ved hugning

6. Som mål for energitransmissionen til den omgivende betonkonstruktion er der foretaget undersøgelse af Energy Spectral Density (ESD-spektrum), anvendt som et relativt mål for en sammenlignende vurdering af de dynamiske påvirkninger fra forskellige demoleringsmetoder. Metoden viser et højere kumuleret energiudslip til den reste-

rende konstruktion ved hugning med hydraulisk hammer end ved sprængning henset til samme volumen beton.

6.4 Genanvendelseserfaringer

1. Undersøgelse af de nedknuste materialer viste, at der uanset valg af demoleringsmetode ikke er signifikant forskel på tilslagsmaterialer fremstillet på baggrund af de tre forskellige demoleringsmetoder.

BS zone 2 opfyldt

2. Kornkurverne for det nedknuste materiale opfylder kravene til tilslag som BS zone 2.

3. Der er i forbindelse med de genanvendelsesprojekter, der er gennemført med anvendelse af tilslag hidrørende fra den nedknuste beton fra bro 20205, i lighed med tidligere erfaringer, konstateret gode egenskaber med bearbejdelighed og udstøbning. Der er således efter justering af vandindholdet ikke konstateret afvigelser fra standardbeton.

4. Fremstillingen af de forskellige typer genbrugsbeton er af producenten, trods de små mængder, blev opfattet som en positiv tildragelse. Endvidere vil en kontinuert produktion af genbrugsbeton ikke adskille sig fra produktion af standardbeton.

Overvågning i de kommende år

5. Der kan endnu ikke drages konklusioner vedr. betonens holdbarhed. Den vil løbende blive overvåget i de kommende år.

6. Nedknusningen af betonen medfører, at op til 40 % af det nedknuste materiale tilhører fraktionen 0 - 4 mm, der normalt ikke anses for anvendeligt som tilslagsmaterialer i ny beton, hvilket forringer økonomien ved genanvendelse som tilslag.

7 Referencer

[1] Miljøstyrelsens skr. j.nr. M 321-0591 af 3. maj 1990

[2] DEMEX skr. 41/219 af 17.04.90 vedr. projektansøgning

[3] Lauritzen, E.K. og Jakobsen, J.B.: Nedrivning af bygninger og anlægskonstruktioner, teknik, miljø, genanvendelse, SBI-anvisning 171. Statens Byggeforskningsinstitut 1991

[4] Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo 7-11 1988:
Vol. 1. Demolition Methods and Practice
Vol. 2. Reuse of Demolition Waste
Chapmann & Hall 1988

[5] Axel Nielsen as: Anvendelse af nedknust beton i ny beton. Miljøprojekt nr. 157. Miljøstyrelsen 1990

[6] Axel Nielsen as og DEMEX: Beton med nedknust tegl som tilslag. Miljøprojekt nr. 181. Miljøstyrelsen 1991

[7] Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton i passiv miljøklasse. Dansk Betonforening 1989

[8] Ordliste for genanvendelse og renere teknologi i bygge- og anlægsbranchen. Dansk Teknologisk Institut, Byggeteknisk Institut 24.02.1992

[9] Molin, Christer: Localized cutting in concrete with careful blasting. CBI Research fo 2-83, Stockholm 1983

[10] Molin, Christer: A methods development study of localized cutting ub concrete with careful blasting. CBI Research fo 1-84, Stockholm 1984

[11] Molin, Christer og Lauritzen, Erik: Blasting of Concrete, Localized cutting in and partial demolition of concrete structures. Statens Provningsanstalt Rapport 1988: 9. Stockholm 1988

[12] European Demolition Association: RILEM Committee DRC 37, Task Force 1, Demolition Techniques. May 1985

[13] Lauritzen, E.K.: Kontrolleret sprængning af armeret beton. Forprojekt udarbejdet med støtte af Statens Teknisk-Videnskabelige Forskningsråd. København 1983

[14] Lauritzen, E.K.: MINI-BLASTING for repair Work. Building Research and Practice, vol 14, no. 5, September - October 1986

[15] Det Danske Sprængstofselskab A/S: Kursus i betonsprængning, kursusmappe

[16] Lauritzen, E.K.: Vibrationsskader på bygninger som følge af konventionelle sprængninger, Forsvarsakademiet 1978

[17] Brüel & Kjær, R.B. Randall: Frequency analysis. September 1987

[18] Henrichsen, A., Hansen, O.R. og Puckman, K., Genanvendelse af betonbelægninger, Delrapport 3: Bestemmelse af nedknust betons densitet, vandabsorption og mørtelindhold, rapport udarbejdet til Miljøstyrelsen

[19] Axel Nielsen · Carl Bro as: Belastningsforsøg på motorvejsbro i Knudshoved. 5. januar 1993

[20] Byggestyrelsen, Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner, marts 1987.

Der henvises i øvrigt til Arbejdsrapport, august 1993, som indeholder detaljerede beskrivelser og data.

Paradigma for nedrivningsprojektering

BRONEDRIVNING

UDKAST TIL PARADIGMA FOR

Udbuds- og anlægsforskrifter
for bronedrivning

Maj 1993

Udbuds- og anlægsforskrifter for bronedrivning

Udbuds- og anlægsforskrifterne indeholder følgende:

- Vejledning
- Paradigma for særlig arbejdsbeskrivelse (SAB-P)
- Paradigma for tilbuds- og afregningsgrundlag (TAG-P)
- Paradigma for tilbudsliste (TBL-P).

Forskrifterne kan anvendes ved udarbejdelse af udbudsmateriale for nedrivning af betonbroer og er et supplement til "Udbuds- og anlægsforskrifter for betonbroer", der anvendes ved udarbejdelse af udbudsmateriale for nye betonbroer.

Den almindelige arbejdsbeskrivelse (AAB) for betonbroer, oktober 1989, er derfor en del af grundlaget for nedrivningsarbejderne, og ved udarbejdelse af udbudsmateriale for bronedrivning anvendes nærværende paradigmaer sammen med de tilsvarende paradigmaer for betonbroer (nyanlæg).

"Udbuds- og anlægsforskrifter for nedrivning af betonbroer" indgår i systemet af udbuds- og anlægsforskrifter, jf. bind 0, Vejledning, i brug af det modulstrukturerede system.

BRONEDRIVNING

UDKAST

Vejledning

1. INDHOLD

For udbud af bronedrivninger findes:

- Udbuds- og anlægsforskrifter, betingelser m.v. udgivet af Vejdirektoratet, anlægs- og driftsområdet, april 1984.
- Udbuds- og anlægsforskrifter, Arbejdsplads m.v. udgivet af Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, april 1989.
- Udbuds- og anlægsforskrifter for jordarbejder, udgivet af Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, november 1984.
- Udbuds- og anlægsforskrifter, Betonbroer udgivet af Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, oktober 1989.

Alle indeholder bl.a. paradigmamateriale, som forudsættes redigeret, udskrevet og trykt ved hver enkelt anvendelse.

Med nærværende materiale er søgt tilgodeset et ønske om retningslinier for nedrivning af betonbroer med henblik på genanvendelse af nedrivningsprodukterne.

Materialet består af almindelige arbejdsbeskrivelser for bronedrivning og for betonknusning.

2. ANVENDELSE

Dette afsnit omhandler aftale med en udvalgt entreprenør, og det er forudsat, at bygherre og entreprenør ved en forhandling i forvejen er blevet enige om vilkårene, blandt andet om de anførte faste priser eller enhedspriser.

Afsnittet kan imidlertid også benyttes ved udbud, ved at felterne til faste priser eller enhedspriser står tomme og udfyldes af de bydende. De øvrige vilkår er da udbudsgrundlag. Dersom der spørges flere end to entreprenører, skal det anføres, hvilken sum der konkurreres på, idet bygherren er forpligtet til at vælge den lavestbydende.

I aftalen om udførelse af arbejdet indgår:

- Betingelser (jura)
- Beskrivelse (teknisk)
- Tilbuds- og afregningsgrundlag (økonomi).

De behandles på følgende måde:

2.1 Betingelser

AB 72 og ABT skal være gældende i relevant omfang.

I et følgebrev anføres aftalegrundlaget, hvoraf også arbejdets omfang skal fremgå.

2.2 Beskrivelse

AAB for betonbroer skal være gældende.

De særlige forhold, som skal gælde for en enkelt bro, skal fremgå af SAB og de udleverede tegninger eller anføres i følgebrevet.

2.3 Tilbuds- og afregningsgrundlag

Arbejdet kan betales på en af følgende måder; hvilken skal fremgå af følgebrevet.

Fast sum

Den faste sum anføres i følgebrevet.

Enhedspriser

Enhedspriser anføres i følgebrevet, eller der bilægges en tilbudsliste. Der må ikke være tvivl om opmålingen af enhederne.

Regningsarbejde

Reglerne fra Udbuds- og anlægsforskrifter, Betonbroer, anvendes og bilægges følgebrevet. Dertil anføres timelønssats og materiellejeliste.

BRONEDRIVNING

UDKAST

Paradigma for
Særlig arbejdsbeskrivelse (SAB-P)

1 ARBEJDSPLADS

SAB for arbejdsplads m.v. er supplerende særlige beskrivelser til AAB for arbejdsplads m.v. af april 1989. I SAB er indført et 1-tal i forhold til afsnitsnummereringen i AAB.

.
.
.
.

1.2 Afsætning

1.2.1 Bygherrens afsætning

Bygherren foretager normalt ingen afsætning, idet den nødvendige hovedafsætning er givet ved det eksisterende bygværk.

Bygherren tager forbehold for, at eksisterende tegninger i enkelthed er i fuld overensstemmelse med de virkelige forhold.

1.3 Arbejdsplads og adgangsveje

Ved arbejdets afslutning skal alle materialer såsom stykker af armeringsstål, asfaltrester, plastik m.v. være fjernet, og arbejdsområdet skal være renset for alle betonstykker med d_{max} større end 100 mm samt alle sammenhængende og/eller sammenkørte lag af betonstøv/betonsmåstykker.

.
.

1.4 Færdselsregulerende foranstaltning

.
.
.
.

Hvis der foretages sprængning eller andre arbejder, der gør færdsel farlig, skal veje afspærres efter forinden at have indhentet politiets, vejbestyrelsens og bygherrens tilladelse. En tidsplan for evt. afspærringer skal være indeholdt i nedrivningstidsplanen jf. SAB pkt. 13.20.1.

.
.

1.5 Ledninger og kabler

.
.
.
.

Bygherren har inden arbejdets igangsætning afbrudt/omlagt følgende ledninger og/eller kabler:

.
.
.
.

Følgende ledninger og/eller kabler skal bevares under arbejdets gennemførelse:

.
.
.
.

Entreprenøren skal træffe sådanne foranstaltninger, at disse ledninger og/eller kabler ikke beskadiges under nedrivningsarbejderne.

Entreprenøren skal påregne, at der ud over forannævnte i et vist omfang kan træffes ledninger, der ikke længere er i brug.

1.8 Særlige forhold

1.8.1 Demoleringsmetoder

Før arbejdet påbegyndes, skal entreprenøren indhente alle nødvendige tilladelser, især tilladelser vedrørende arbejdernes sikkerhed og indflydelse på miljøet (støj, vibrationer, støv, røg og forurening). Hvis det er angivet i kontraktgrundlaget, kan bygherren dog i forvejen have indhentet enkelte generelle tilladelser, hvis forudsætninger entreprenøren herefter skal opfylde.

Entreprenøren skal sikre sig, at alle på arbejdspladsen er bekendt med givne instrukser og sikkerhedsbestemmelser.

1.8.2 Bygge- og anlægsaffald

Kommunale og/eller andre bestemmelser/regulativer om bortskaffelse af bygge- og anlægsaffald er gældende for materialer nedrevet under nærværende entreprise.

Det påhviler entreprenøren at søge dispensation fra bestemmelsernes/regulativernes krav, såfremt nedrevne materialer oparbejdes eller bortskaffes ad andre veje end de af myndighederne foreskrevne
- (f.eks. til genanvendelse på byggepladsen)
.
.

2 **JORDARBEJDER**

SAB for jordarbejder er supplerende, særlige beskrivelser til AAB for jordarbejder af november 1984. I SAB er indført et 2-tal i forhold til afsnitsnummereringen i AAB.

2.1 Forberedende arbejde

2.1.1 Rydning

.
.
.
.

2.1.1.3 Udførelse

Rydning skal foretages i et omfang, der er nødvendigt af hensyn til nedrivningen af broen. Træer og buske må kun fjernes efter aftale med tilsynet.

.
.
.

2.1.2 Nedrivning

2.1.2.1 Alment

Nedrivningen af betonbroen, som udgør hovedparten af entreprisen, beskrives i SAB pkt. 13.20. Forberedende arbejder til nedrivningen beskrives under nærværende pkt. 2.1.

.
.
.

2.1.2.3 Udførelse

.
.
.
.

Nedtaget vej- og broudstyr tilhører bygherren og henlægges i depot efter nærmere aftale med tilsynet.

.
.
.

Alle ledninger og brønde, som afdækkes under frigravning af konstruktionen, skal fjernes. Opgravede materialer fra ledninger og brønde bortskaffes ved entreprenørens foranstaltning.

.
.
.

2.1.3 Opbrydningarbejder

.
.
.

2.1.3.2 Materialer

I henhold til oprindelig beskrivelse/tegninger består den eksisterende belægning og fugtisolering af følgende lag nævnt nedefra og opefter:

På broen:

.
.
.
.

På veje:

.
.
.
.

2.1.3.3 Udførelse

Alle opbrudte materialer fjernes ved entreprenørens foranstaltning, dog henlægges intakte kantsten, fliser og chaussésten, kantelementer og lignende i depot efter nærmere aftale med tilsynet.

.
.
.
.

13. ANDRE ARBEJDER

13.20 Nedrivning

13.20.1 Alment

Ved nedrivning forstås fjernelse af bygværker med tilbehør, fundamenter, mure, betonstøbninger m.v.

Entreprenøren skal udføre en plan for nedrivningsarbejder. Planen skal tage hensyn til tidsfristerne, som refereret i SB, og skal forelægges tilsynet til accept mindst 3 dage før nedrivningsarbejdet påbegyndes. Nedrivningsplanen skal indeholde bl.a.:

- En liste over alt materiel, der ønskes anvendt.
- En tidsplan for nedrivningen.
- En beskrivelse af rækkefølgen for nedrivningen af konstruktionsdelene. Beskrivelsen skal gøre rede for stabiliteten og restbæreevnen af konstruktionen under alle nedrivningsfaser.
- En beskrivelse af særlige hensyn, der skal tages i forbindelse med nedrivning af bestemte dele af konstruktionen, f.eks. forspændte brodæk.

(Eller:

Entreprenøren skal udarbejde en plan for nedrivningsarbejder, som skal udføres i den rækkefølge og med de restriktioner, som angivet i bilag nr. .... . Planen skal tage hensyn til tidsfristerne, som refereret i SB, og skal forelægges tilsynet til accept, mindst 3 dage før nedrivningsarbejdet påbegyndes. Nedrivningsplanen skal indeholde bl.a.:

- En liste over alt materiel, der ønskes anvendt.
- En tidsplan for nedrivningen.)

13.20.2 Materialer

I henhold til oprindelig beskrivelse/tegning består den eksisterende konstruktion af:

.
.
.

Det kan påregnes, at betonernes aktuelle styrker er højere end disse nominelle værdier.

13.20.3 Udførelse

Ingen form for nedrivning må påbegyndes, før der er foretaget forskriftsmæssig afbrydelse af alle installationer (el, gas, vand, telefon, kloak og lignende) jf. SAB pkt. 1.5.

Alle fra nedrivningen hidrørende genstande, materialer m.v. tilfalder entreprenøren. (Eller: Betonbrokker, som er egnet til knusning, tilhører bygherren. Alle andre fra nedrivningen hidrørende genstande, materialer m.v. tilfalder entreprenøren).

Entreprenøren er pligtig til straks at underrette tilsynet, såfremt han under arbejdet støder på ikke angivne bygningsdele, installationer, bygværker og lignende.

Arbejdet skal tilrettelægges på en sådan måde, at der intet øjeblik lægges hindringer for trafikken forbi arbejdsstedet. Hverken naboer, trafikanter, personale med relation til andre arbejder i området, bevoksning eller konstruktioner må på nogen måde udsættes for risiko, skade, forurening eller andre ulemper som følge af arbejdets udførelse.

Valget af nedrivningsmetode skal foretages ud fra hensynet til ovenstående.

Entreprenøren skal foretage en omhyggelig afdækning af .... til sikring mod beskadigelse i forbindelse med nedrivningen. Forslaget til afdækning skal forelægges tilsynet til accept mindst 3 dage før, nedrivningsarbejdet påbegyndes. Tilsynets accept fritager ikke entreprenøren for erstatningsansvar i tilfælde af beskadigelser.

Brudfladen på efterladte konstruktionsdele må ingen steder være højere end den angivne nedrivningsgrænse. Udragende armering skal skæres ved brudfladen.

Det påhviler entreprenøren at undgår forurening af materialerne under nedrivningen. Konstateres forurening, skal forurenet materiale behandles i h.t. myndighedernes krav.

Hvis forureningen skyldes entreprenørens arbejdsmetoder, påhviler det entreprenøren uden udgift for bygherren at bortskaffe disse forurenede materialer.

I tilfælde af ønske om sprængning skal navnet på sprængningsfirmaet angives i tilbudet.

Evt. sprængning må kun udføres af firmaer med ekspertise på området. Sprængningseksperten skal accepteres af tilsynet på forhånd. En sådan accept forudsætter, at der inden sprængningen foreligger en nøje udarbejdet sprængningsplan fra eksperten, herunder en beskrivelse af afdækningen af betonkonstruktionen samt sikring mod udkast.

Det vil endvidere blive krævet af entreprenøren, at han over for bygherren afgiver en erklæring om:

At han hæfter for enhver skade, der i anledning af sprængningen måtte ske på personer eller ejendom - offentlig såvel som privat.

At han påtager sig samtlige udgifter i forbindelse med afspærring af området samt underretning af alle omkringboende og øvrige vejfarende.

At han på alle måder vil undgå at påføre vejtrafikken samt de omkringboende gener ud over det strengt nødvendige. Udkast, der falder på vejareal samt på privat ejendom, vil omgående blive fjernet efter hver sprængning ved entreprenørens foranstaltning.

At han selv hos politimyndigheden indhenter fornøden tilladelse til sprængningerne. Politimyndighedens skriftlige tilladelse skal være tilsynet i hænde senest 3 dage, før sprængningerne udføres.

.
.
.
.

13.20.4 Kontrol

Nedrivningsgrænsen til efterladte konstruktionsdele skal kontrolleres ved nivellement (eller visuelt).

13.21 Knusning og sortering

13.21.1 Alment

Entreprenøren skal udarbejde en plan over principiel fremgangsmåde for udførelse og kontrol af knusearbejde. Planen skal bl.a. angive tekniske specifikationer for knuseanlægget samt maksimale dimensioner for betonbrokkerne, som skal knuses. Planen skal forelægges tilsynet og skal accepteres, inden nedrivningen påbegyndes.

13.21.2 Materialer

Nedrivningsmaterialet består af armerede betonbrokker. Efter knusning og frasortering af stålet er alle stenmaterialer bygherrens ejendom.

13.21.3 Udførelse

Betonen knuses, således at følgende krav opfyldes.

1. Maksimal stenstørrelse: d_{max} = .. mm
2. Uensformighedstal: ... ≤ U ≤ ...
3. Filler (< 0,25 mm) indhold: ≤ ... %

Det knuste materiale må ikke indeholde skadelige mængder af planterester, muld, ler eller siltklumper.

Alt stål frasorteres. Bortskaffelsen af stålet påhviler entreprenøren.

Såfremt ovennævnte krav til det knuste materiale ikke opfyldes, påhviler det entreprenøren at størrelsessortere materialet.

Efter endt knusning skal stenmaterialet oplægges i depot på arbejdsområdet efter nærmere aftale med tilsynet.

13.21.4 Kontrol

Kontrol af knusning skal ske ved bestemmelse af maksimal stenstørrelse, uensformighedstal og filler-indhold i kontrolafsnit, som består af ensartede knuste betonmaterialer.

Specificerede kontroller med og dokumentation af udførte arbejder påhviler entreprenøren.

Prøveudstyr og prøvningsmetoder skal forelægges tilsynet til accept inden knusning igangsættes.

Kornstørrelsesfordeling bestemmes i h.t. Dansk Ingeniørforenings "Prøvningsmetoder for sand, grus og stenmaterialer, DS 405" udført på repræsentativt materiale fra samme kontrolafsnit.

Kravene anses for opfyldt, når gennemsnittet af 5 på hinanden følgende målinger, bestemt ved tilfældig udtagning i kontrolafsnittet opfylder det som angivet i SAB pkt. 13.21.3.

BRONEDRIVNING

UDKAST

Paradigma for
Tilbuds- og afregningsgrundlag

TILBUDS- OG AFREGNINGSGRUNDLAG

0.1 GENERELT

I det øvrige udbudsmateriale er generelt nævnt aktiviteter, entreprenøren skal udføre eller tage hensyn til. Uanset at disse ydelser ikke overalt måtte fremgå tydeligt af TAG og TBL, skal alle nødvendige ydelser til arbejdets korrekte gennemførelse være indregnet i relevante poster/underposter, herunder forholdet til myndigheder, afsætninger, opmåling, naboforhold etc.

0.2 TILBUDSLISTENS POSTER

Nedenfor angives specielle bestemmelser vedrørende mængdefastsættelser og ydelsesomfang for tilbudslistens enkelte poster henholdsvis underposter. De angivne numre refererer til tilbudslistens post/underpostbetegnelser.

1. ARBEJDSPLADS M.V.

.
.
.
.
.
.

1.2 Færdselsregulerende foranstaltninger

.
.
.

1.2.2 Afspærring og afmærkning

.
.
.

Tilbudslistens faste sum skal inkludere alle udgifter til etablering, drift, vedligeholdelse og fjernelse af afspærringer, afmærkning, belysning m.v., som er nødvendig for at regulere færdselen i forbindelse med kortvarige afspærringer p.g.a. nedrivningsarbejde.

.
.
.

2. JORDARBEJDER

2.1 Forberedende arbejder

2.1.1 Rydning

.
.
.

2.1.1.2 Nedtagning af vej- og broudstyr

Enhedsprisen skal omfatte alle udgifter til nedtagning og til henlæggelse af .....
De nedtagne materialer tilhører .....
.
.

2.1.3 Oprydning.

2.1.3.1 Optagning af kantsten/fliser/brosten

Enhedsprisen/summen skal omfatte alle udgifter til optagning og til henlæggelse af .....
De optagne materialer tilhører .....

2.1.3.2 Opbrydning af brobelægning og fugtisolering m.v.

Enhedsprisen skal omfatte alle udgifter til opbrydning og fuldstændig fjernelse af opbrudte materialer m.v. samt henlæggelse i depot af genanvendelige materialer.

Mængden er fastsat som .....

2.1.3.3 Opbrydning af vejbelægning uden for broender

Den faste sum skal omfatte alle udgifter til opbrydning og fuldstændig fjernelse af opbrudte materialer m.v.

Mængden er fastsat som .....
.
.
.
.

13. ANDRE ARBEJDER

.
.
.
.
.

13.20 Nedrivning

Enhedspriserne skal omfatte alle udgifter til nedrivning, neddeling til stykker af transportabel størrelse og fuldstændig fjernelse af nedrevne materialer. (Eller: Enhedspriserne skal omfatte alle udgifter til nedrivning, neddeling og oplægning på arbejdspladsen af betonbrokker, som er egnet til knusning, samt til fuldstændig fjernelse af alle andre fra nedrivningen hidrørende genstande og materialer).

I tilfælde af sprængning skal alle udgifter til afdækning af konstruktionen og sikring mod udkast inkluderes.

Udgifter til færdselsregulerende foranstaltninger i forbindelse med kortvarige afspærringer p.g.a. nedrivningsarbejde dækkes under post 1.2.2.

Nedrivningsmængderne afregnes som .....

.
.
.
.
.

13.21 Knusning og sortering

Enhedsprisen skal omfatte samtlige udgifter til knusning, evt. sortering, kontrol og oplægning i depot på arbejdspladsen af betonmaterialet i et omfang, som beskrevet i SAB, pkt. 13.21.

Mængden afregnes som .....

BRONEDRIVNING

UDKAST

Paradigma for
Tilbudsliste (TBL-P)

92

Post nr.	Underpost nr.	Betegnelse	Enh.	Antal enheder	Enhedspris	kr.	Post i alt kr.	
1		ARBEJDSPLADS						
	1	Indretning og rømning af arbejdsplads						
	1.1	Indretning og rømning af arbejdsplads	-	-	sum			
	2	Færdselsregulerende foranstaltninger						
	2.1	...						
	2.2	Afspærring og afmærkning	-	-	sum			
2		JORDARBEJDER						
	1	Forberedende arbejder						
	1.1	Rydning						
	1.1.1	Rydning	-	-	sum			
	1.1.2	Nedtagning af vej- og broudstyr	m					
		.						
		.						
	1.3	Opbrydning						
	1.3.1	Optagning af kantsten/fliser/brosten	m²					
	1.3.2	Opbrydning af brobelægning og fugtisolering m.v.	m²					
	1.3.3	Opbrydning af vejbelægning uden for broender	m²					
		.						
		.						
						Overføres		

ISSN 0908-9195 ISBN 87-7810-511-0
Pris (inkl. 25% moms): kr. 75,-
Kan købes hos: Miljøbutikken
Telefon: 33 37 92 92 Fax: 33 92 76 90

Miljø- og Energiministeriet **Miljøstyrelsen**
Strandgade 29 · 1401 København K · Telefon 32 66 01 00