

Genanvendelse af betonbelægninger

Delrapport 1:

Rapportering af udviklingsprojekt

Anders Henrichsen
Ole Rud Hansen
Knud Puckman

Dansk Vejbeton
Cowiconsult
Statens Vejlaboratorium

PROJEKT VEDRØRENDE GENBRUG AF BETONBELÆGNINGER
DELRAPPORT 1, RAPPORTERING AF UDVIKLINGSPROJEKTET

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. BAGGRUND
- 1.1 Generelt
- 1.2 Projektidé
- 1.3 Projektgruppen
- 1.4 Følgegruppen
- 1.5 Miljøstyrelsen
2. PROJEKTETS RESULTATER - KONKLUSION
3. LITTERATURSTUDIER
- 3.1 Teknisk stade
- 3.2 Aktuelle forekomster i Danmark
4. PROJEKTET
- 4.1 Formål
- 4.2 Opdeling
- 4.3 Tidsplan
- 4.4 Valg af forsøgsobjekter
5. OVERSIGTER, SAMMENSTILLING AF RESULTATER
6. RAPPORTERING AF PROJEKTARBEJDET
- 6.1 Materiale nr. 1
- 6.1.1 In situ beskrivelse
- 6.1.2 Laboratorierapporter vedr. det nedknuste materiale
- 6.1.3 Laboratorierapporter vedr. de fremstillede genbrugsbetoner
- 6.2 Materiale nr. 2
- 6.2.1 In situ beskrivelse
- 6.2.2 Laboratorierapporter vedr. det nedknuste materiale
- 6.2.3 Laboratorierapporter vedr. de fremstillede genbrugsbetoner
- 6.3 Materiale nr. 3
- 6.3.1 In situ beskrivelse
- 6.3.2 Laboratorierapporter vedr. det nedknuste materiale
- 6.3.3 Laboratorierapporter vedr. de fremstillede genbrugsbetoner
- 6.4 Materiale nr. 4
- 6.4.1 In situ beskrivelse
- 6.4.2 Laboratorierapporter vedr. det nedknuste materiale
- 6.4.3 Laboratorierapporter vedr. de fremstillede genbrugsbetoner

DELRAPPORT 2

FULDSKALAPROJEKT

DELRAPPORT 3

Bestemmelse af nedknust betons densitet, vandabsorption og mørtelindhold.

DELRAPPORT 4

PRØVNINGSMETODER

DELRAPPORT 5

DOKUMENTATION VEDR. UDFØRTE ANALYSER.

1. BAGGRUND

1.1 Generelt

Med udgangspunkt i Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 475 af 20. september 1984: "Bekendtgørelse om tilskud til genanvendelse og mindre forurenende teknologi", ansøgte en gruppe virksomheder om tilskud til gennemførelse af et projekt, der vil muliggøre en fremtidig genanvendelse af gamle betonbelægninger som hovedbestanddel i kvalitetsbeton, primært med henblik på udførelse af nye betonbelægninger.

Denne ansøgning blev imødekommet af Miljøministeriet ved Miljøstyrelsens skrivelse til Dansk Vejbeton A/S af 7. juni 1985.

Projektarbejdet indledtes 18. juni 1985 og forventes afsluttet 30. juni 1986, idet en opfølgingsperiode udenfor tilskudsrammen dog er forudset at forløbe indtil udgangen af 1990.

1.2 Projektidé

Ifølge ansøgningen anslås, at der i Danmark findes min. 4 mill. m² betonbelægninger, der er eller vil blive kasseret og ønskes fjernet. Disse ca. 1 mill. m³ materialer består af ca. 80% sand og sten og ca. 20% afbundet cement med en materialeleværdi på ca. 100 mill. kr.

En del af disse belægninger henligger idag enten med en overliggende asfaltbelægning eller ude af drift på grund af skader.

Det ønskes undersøgt om de kasserede betonbelægninger kan knuses og genanvendes til fremstilling af nye, holdbare belægninger, idet det forventes, at der herved opnås direkte rentabilitet, nedsat transportbehov, besparelse af eksisterende grusressourcer, løsning af problemet med fjernelse og deponering af de store elementagtige, ca. 10 tons tunge, betonplader.

Projektet opdeles i 3 delprojekter.

- Udviklingsprojekt vedrørende muligheden for genanvendelse af gl. betonbelægninger og -bygningsdele samt dokumentation af de udviklede produkter.

Projektet har almennyttig karakter, og resultaterne publiceres i sin fulde udstrækning.

- Fuldskalaforsøg, hvori indgår afprøvning af fremstillingsteknikker og etablering af mobilt produktionsanlæg.

Projektets fremstillingsrelevante resultater påregnes

ikke publiceret, hvorimod opnåede produktresultater vil blive offentligt tilgængelige i lighed med udviklingsprojektet.

- Opfølgning af udviklingen i produktets egenskaber over en 5-års periode.

1.3 Projektgruppen

Virksomhederne bag projektet er følgende:

Virksomhedens navn

Virkefelt

Cowiconsult

Rådgivende Ingeniører A/S

Teknikerbyen 45, Virum

Rådgivende ingeniører

Dansk Vejbeton A S

Helleruplund Allé 21, Hellerup

Entreprenør- og

udviklingsvirksomhed

Vejdirektoratet

Statens Vejlaboratorium

Elisagårdsvej 5-7, Roskilde

Statslig forsknings-, ud-

viklings- og rådgivnings-

virksomhed.

Ovenstående virksomheder har til projektets gennemførelse udpeget en projektgruppe:

Ole Rud Hansen

Anders Henrichsen

Knud Puckmann

Cowiconsult A/S

Dansk Vejbeton A/S

Statens Vejlaboratorium

Dansk Vejbeton A/S er den formelle ansøger om projekttilskud og er den administrativt og økonomisk ansvarlige part i virksomhedsgruppen.

1.4 Følgegruppen

Med henblik på sikringen af det nødvendige faglige niveau, samt endvidere i ønsket om en inspiration for projektgruppen og løbende erfaringsudveksling mellem interessegrupper, forskningsinstitutioner og de deltagende projektparter, er der i projektansøgning og tilskudsbevilling forudsat nedsat en projektfølgegruppe, bestående af repræsentanter fra Danmarks Tekniske Højskole, Forsvarets Bygnings-tjeneste, Københavns Lufthavnsvæsen, Miljøstyrelsen og Vejdirektoratet. Endvidere deltager Dansk Vejbeton A/S som repræsentant for projektgruppen i følgegruppen.

Det er bestemt, at samtlige oplysninger om projektet skal stilles til rådighed for følgegruppen.

Miljøstyrelsen varetager formandsskabet for følgegruppen medmindre styrelsen bestemmer andet.

Projektgruppen ønsker hermed at takke for den beredvillig-

hed, hvormed de ovenfor nævnte institutioner har erklæret sig villige til at deltage i følgegruppearbejdet.

Følgegruppen har fået følgende sammensætning:

Georg Christiansen	Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium
Jan Christiansen	Forsvarets Bygningstjeneste
Torben C Hansen,	Danmarks Tekniske Højskole
Anders Henrichsen	Dansk Vejbeton A/S (sekretær)
Svend-Erik Kyed	Københavns Lufthavnsvæsen (indtil 14.10.1986)
H.V. Lundbye	Københavns Lufthavnsvæsen (fra 14.10.1986)
Henrik Paaby	Miljøstyrelsen (formand indtil 31.5.86)
Lars Søborg	Miljøstyrelsen (formand fra 1.6.86)

1.5. Miljøstyrelsen

Miljøstyrelsen medvirker i dette projekt som samfundets repræsentant.

Denne deltagelse motiveres bl.a. ved

- at en væsentlig del af projektomkostninger dækkes ved offentligt tilskud
- at samfundets ressourcebevidsthed er en grundlæggende forudsætning for projektets gennemførelse.
- at det vellykkede projekts benefit i det væsentligste vil vise sig i samfundsrelevante størrelser i valutabesparelser i de offentlige anlægs- eller vedligeholdelsesomkostninger.

2. PROJEKTETS RESULTATER - KONKLUSION

2.1 Sammenfatning af projektets omfang

Formålet med projektet har primært været at undersøge, om eksisterende nedslidte og nedbrudte betonbelægninger ved nedknusning kan genanvendes som tilslag i nye holdbare betonbelægninger.

I forbindelse med projektet har der været gennemført en serie undersøgelser af nedknuste materialer fra 4 betonbelægninger

- Standplads ved finger B i Kastrup Lufthavn
- Chr. X's Allé i Lyngby
- Sydmotorvejen, Cordoza-Dyrehavehus
- Motorringvejsen, Buddinge-Ring III

Undersøgelserne på det nedknuste materiale har omfattet:

- kornstørrelsesfordeling
- absorption
- densitet
- mørtel/sten forhold
- flintindhold
- vandbehov
- kloridindhold
- alkalitest ved ekspansion

Af de nedknuste materialer er blevet fremstillet en serie betonblandinger med identiske indhold af cement, mikrosilica, vand og tilsætningsstoffer. Der er både udført blandinger med anvendelse af hele det nedknuste materiale og blandinger, hvor det nedknuste materiale er sorteret fra.

Af blandingerne er udtaget prøver, der er blevet undersøgt med hensyn til:

- konsistens, luft og densitet i frisk tilstand
- densitet i hærnet tilstand
- tryk- og trækstyrke
- makro- og mikrostruktur
- luftporestruktur
- frost-tøsalt bestandighed
- alkalibestandighed
- svind

Alle undersøgelser er også gennemført på prøver fra en referenceblanding udelukkende med naturligt tilslag.

I forbindelse med forsøget er der endvidere udført en 70 m lang fuldskala prøvestrækning i Københavns Lufthavn, Kastrup, hvor en af genbrugsbetonerne er anvendt. Strækningen udsættes for samme miljøbelastning som øvrige standpladser i lufthavnen.

2.2 Konklusion

De udførte undersøgelser har vist, at det er muligt at genbruge materialerne fra eksisterende betonbelægninger ved fremstilling af højkvalitetsbeton til nye betonbelægninger, såfremt den eksisterende belægning er udført med en almindelig betonkvalitet.

Dette vil typisk være tilfældet for betonbelægninger, der er nedbrudt på grund af udmattelse og overbelastning efter mange års brug, hvilket formentlig vil gælde for den største del af de eksisterende belægninger i Danmark.

Hvor den eksisterende belægning har vist hurtig nedbrydning på grund af alkalikiselreaktioner og/eller dårlig betonkvalitet, som f.eks. Motorringvejens betonbelægning må det frarådes at genanvende materialerne til en ny betonbelægning, med mindre egnetheden kan dokumenteres.

Nedknuste materialer fra betonbelægninger, hvor alkalikiselreaktioner er konstateret, kan formentlig anvendes i de tilfælde, hvor en stor del af det reaktive materiale er brugt op i forbindelse med reaktionerne. Det skal dog først nærmere undersøges, hvorledes sådanne materialer skal vurderes og med hvilke undersøgelsesmetoder. Ud fra nærværende undersøgelse kan eksempelvis konkluderes, at petrografisk analyse af tilslaget næppe er en velegnet metode.

Projektet har også vist, at frostbestandigheden af genbrugsbetonen kan påvirkes, såfremt mørtelen i den oprindelige beton ikke er frostbestandig. Prøvningsmetoder og vurderingskriterier vedrørende dette forhold bør også nærmere undersøges.

Genbrugsbetonen skal generelt opfylde de samme kvalitetskrav som en belægningsbeton med naturlige materialer. Man skal være opmærksom på, at udtørringssvindet for genbrugsbetonen typisk vil være 50-100% større end for en beton fremstillet med naturlige materialer. Ligeledes vil densiteten være lavere p.g.a. tilslagets lavere densitet. Genbrugsbetonernes egenskaber sammenlignet med en referencebeton med naturlige materialer er angivet i oversigten på side 10.

På grund af materialernes større vandabsorption end naturlige materialer skal blandeteknikken være således, at der gives materialerne lejlighed til at blive vandmattede ved blandingen.

Den del af det nedknuste materiale, der er under 4 mm, kan anvendes i genbrugsbetonen, men det må i almindelighed frarådes, fordi andelen normalt er lille, og der derfor alligevel skal suppleres med naturligt sand. Genbrugssandet giver problemer, bl.a. på grund af øget vandbehov i betonen, tendens til sammenkitning i lagerbunker og vanskeligheder ved bestemmelse af absorptionen.

Bestemmelse af genbrugsmaterialernes vandabsorption bør næppe udføres efter prøvemethoden i DS 405.2. I nærværende projekt er udviklet en ny metode, som er detaljeret beskrevet og dokumenteret i delrapport 3. Ved metoden registreres kontinuert sammenhængen mellem tid og fordampet vandmængde, og herudfra bestemmes absorptionen.

Det anbefales, at denne prøvemethode verificeres yderligere med henblik på evt. standardisering.

Ander egenskaber ved genbrugsmaterialerne kan bestemmes i henhold til de almindeligt anvendte prøvemethoder for naturlige materialer.

Oversigt over betonegenskaber for de undersøgte genbrugsbetoner til betonbelægninger sammenlignet med en referencebeton udført med samme indhold af cement, silica, vand og tilsætningsstoffer.

	Betonegenskab	Genbrugsbeton c. referencebeton
Frisk beton	Sætmål	Uændret
	Luftindhold	Uændret
	Densitet	Lavere
Hærdnet beton	Densitet	Lavere
	Trykstyrke	Uændret/højere
	Trækstyrke	Uændret/lavere
	E-modul (dynamisk)	Lavere
	Luftporestruktur	Uændret
	Mikrostruktur	Uændret
	Makrostruktur	Uændret
	Frostbestandighed	Uændret*
	Alkalibestandighed	Uændret*
Udtørringssvind	50-100% større	

* For genbrugsbetoner udført med materialer fra Moterringvejen er dog konstateret lavere bestandighed.

3. LITTERATURSTUDIER

3.1 Teknisk stude

LITTERATURGENNEMGANG

Resultater og konklusioner fra rapporterede undersøgelser vedrørende genbrug af nedknust beton som tilslag.

Mørtelvedhæftning

Når betonen nedknuses vil en del af dens mørtel være bundet til de naturlige partikler.

Mængden af vedhæftet mørtel varierer - afhængig af bl.a. den nedknuste partikelstørrelse.

I [1] er angivet følgende værdier for gl. beton med v/c 0,40.

<u>Partikel størrelse mm</u>	<u>Andel mørtel Vol.%</u>
4 - 8	64
8 - 16	39
16 - 32	28

I [2] er der for fraktionen 5-25 mm tilsvarende fundet en mørtelandel på 36-38 vol.%.

Vandabsorption

Den mest markante forskel mellem almindelig beton med naturlige tilslagsmaterialer og beton med tilslag af nedknust beton er, at de nedknuste partiklers mørtelandel har en meget stor vandabsorption.

Vandabsorptionen for nedknust beton med v/c 0,40 er i [1] fundet til:

<u>Partikel størrelse mm</u>	<u>Andel abs. vægt %</u>
< 4	16-17
4 - 8	8,5
8 - 16	5,0
16 - 32	3,8

I [2] er der for fraktionen 5-25, målt en vandabsorption på 7% uafhængig af den nedknuste betons oprindelige kvalitet. For fraktionen under 5 mm blev vandabsorptionen bestemt til ca. 11%.

I Japan frarådes genbrug af nedknust beton, når vandabsorptionen er over 7% for stenfraktionen og/eller over 13% for sandfraktionen [3].

Bitumenindhold

Rester af asfalt i genbrugsbeton nedsætter betonstyrken. Beton med varierende indhold af asfaltbeton er undersøgt i [4], der bl.a. viser, at et indhold af asfaltbeton på 14,3 vol.% (i % af tilsat groft nedknust beton) giver en styrkereduktion på 2,4% og 30,8% asfaltbeton reducerer styrken med 15,8%.

Ved et indhold på 30,8% af groft materiale og samtidig 30,8% af fint nedknust beton reduceres styrken 36,6%.

Den japanske standard [3] angiver et max. asfaltindhold på 2 kg/m³ i såvel 0-4 som 4-32 mm genbrugsbeton.

I Holland angives, at mængden af asfalt i det nedknuste materiale ikke må være over 1% [10].

Genbrugsbetons egenskaber

Trykstyrke

Genbrugsbetons trykstyrke i forhold til beton med naturlige tilslagsmaterialer er undersøgt i stort omfang.

I [1] konkluderes det, at genbrugsbetons trykstyrke er afhængig af den oprindelige betons styrke og især af dennes v/c-forhold. Hvis den oprindelige betons v/c-forhold er lig med eller bedre end den oprindelige betons trykstyrke, og vice versa.

Ved de fleste undersøgelser, bl.a. [1 og 6] findes genbrugsbetonens styrke at ligge 10-30% under en tilsvarende beton med naturlige tilslagsmaterialer. Særlig lave styrker opnås, når der bruges såvel fint som groft nedknust beton.

I [5] anbefales det at udlade det fine materiale under 2 mm. Samtidig peges der på, at genbrugsbetons styrke normalt har stor spredning (variationskoefficient).

Trækstyrke og bøjningstrækstyrke

Der er udført undersøgelser, der såvel viser, at genbrugsbeton har mindre som samme styrke som almindelig beton [3].

Krybning

Genbrugsbetons krybning er typisk 50% større end for tilsvarende beton med naturlige tilslagsmaterialer. [7].

Udtørringssvind

Genbrugsbetons udtørringssvind findes i alle undersøgelser ca. 50% større end normal beton ved brug af naturlig sand og nedknust groft beton og ca. 70% større ved brug af såvel fint som groft nedknust beton. [2: 7: 8].

Frostbestandighed

Genbrugsbeton har lige så stor frostbestandighed, som beton fremstillet med naturlige tilslagsmaterialer, når genbrugsbeton er fremstillet af groft nedknust beton og naturlige sand [6]. I [2: 3] er der fundet, at frostbestandigheden reduceres meget, når der anvendes både fint og groft nedknust beton.

I [5] anbefales mere research på området, samt at fråsigte nedknust materiale under 2 mm.

Alkalikiselreaktion

Ingen undersøgelser er rapporteret m.h.t. genbrug af beton indeholdende reaktive materialer og skadelige alkalikiselreaktioner [5]

Effekt af tilsætningsstoffer

I [9] er undersøgt genbrug af 5-30 mm nedknust beton som tilslag i genbrugsbeton, hvor den nedknuste beton var fremstillet med 4 forskellige tilsætningsstoffer - plastificerende, luftindblandede, afbindings- og styrkeaccelererende samt afbindingsretarderende.

Undersøgelsen viser, at de nævnte tilsætningsstoffer i den oprindelige beton har lille eller ingen effekt med hensyn til det nedknuste materiales gradering, densitet og absorption, den nye betons egenskaber i frisk tilstand samt styrke og styrkeudvikling..

Ved brug af nedknust beton indeholdende calciumklorid kan dog chloridindholdet i genbrugsbetonen blive uønsket højt.

Chloridindhold

Gammel vejbeton, der har været udsat for saltning om vinteren, kan indeholde chlorid. I en 20 år gammel betonbelægning i Michigan fandtes op til $1,12 \text{ kg/m}^3$ NaCl i det nedknuste grove tilslag svarende til ca. 0,2% Cl- af cementindholdet i genbrugsbetonen.

I en 12 år gammel beton fra parkeringsareal fandtes i toppen af betonen 12 kg/m^3 og i bunden af den 27,5 cm tykke plade $1,3 \text{ kg/m}^3$ Cl-, svarende til henholdsvis ca. 3,4% og 0,37% af cementindholdet (350 kg/m^3). [11].

Litteratur

- [1] Hansen, T.C. and Narud, H.
"Strength of Recycled Concrete made from Crushed Concrete Coarse Aggregate"
Concrete International, vol. 5, No. 1, Januar 1983
- [2] Hasaba, S., Kawamura, M., Torick, K. and Takemoto, K.
"Drying Shrinkage and Durability of the Concrete Made of Recycled Concrete Aggregates".
Trans. of the Japan Concrete Institute Vol. 3, 1981.
- [3] B.C.S.J. Proposed Standard for the Use of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. Building Contractors Society of Japan. Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste. May 1977 (English version June 1981).
- [4] Fergus, J.S.
"Laboratory Investigation and Mix Proportions for Utilizing Recycled Portland Cement Concrete as Aggregate" Ibid. Ref. 7.
- [5] Hansen T.C.
"Recycled Aggregates and Recycled Aggregate Concrete. Second State-of-the-Art Report Developments 1978-1984".
Rilem TC-37-DRC. January 1985, and revision March 1986 named "Developments 1945-1985".
- [6] Nixon, P.J.
"Recycled Concrete as an Aggregate for Concrete - A review"
Rilem TC-37-DRC. Materials and Structures, No. 65, September-October 1978.
- [7] Wesche, K, und Schulz, R.
"Beton aus aufbereitetem Altbeton - Technologie und Eigenschaften"
Beton, Vol. 32, No. 2 und 3, Februar-März 1982.
- [8] Hansen, T.C. and Bøgh, E.
Elasticity and Drying Shrinkage of Recycled Aggregate Concretes".
AJT Journal
- [9] Hedegård, S.E.
"Genanvendelse af beton med tilsætningsmidler". Eksamensprojekt. Laboratoriet for bygningsmaterialer. Danmarks Tekniske Højskole. Juni 1981.
- [10] Gerardini, J.J.A. and Hendriks, C.F.
"Recycling of road pavement materials in the Netherlands"
Rijkswaterstaat Communications no. 38/1985.
- [11] Peterson, C.A.
"Survey of Parking Structure Deterioration and Distress".
Concrete International-Design and Construction, Vol. 2, No. 3, March 1980.

3.2 Aktuelle forekomster

Det har vist sig vanskeligt på grundlag af tilgængelige registreringer at fastslå det nøjagtige omfang dels af mængden af samtlige betonbelægninger i Danmark, dels omfanget af betonbelægninger, hvis tilstand betinger en renovering, når rimelige metoder er udviklet. Der er i det følgende foretaget en vurdering af de to nævnte kategorier indenfor følgende afgrænsede områder:

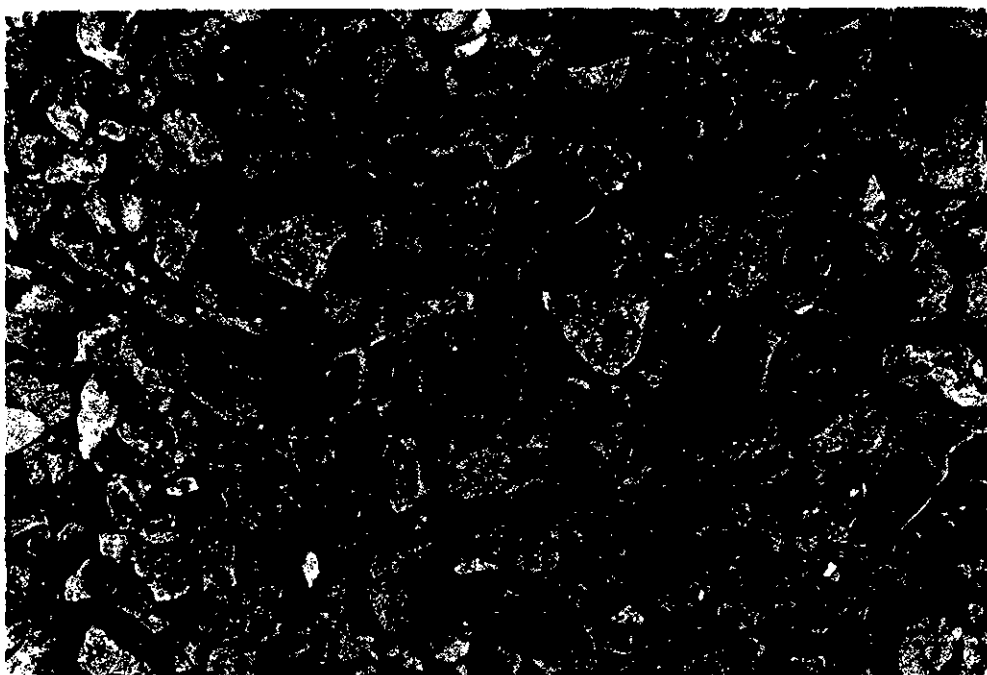
Militære anlæg
Civile lufthavne
Vejbelægninger

Denne vurdering har ført til følgende resultat:

Totalt belagt areal: 6,5 mill. m² ~ 1,7 mill. m³
Heraf nedbrudt : 3,0 mill. m² ~ 0,8 mill. m³

Udover de nævnte områder findes betydelige mængder af betonbelægninger i havneområder, jernbaneterminaler, mindre veje og pladser.

Projektgruppen har afstået fra at skønne herom, idet den totale mængde af specielt belægningsbeton skønnes af mindre betydning i en større sammenhæng. Det skal erindres, at det totale volumen af beton, der kan henregnes under kategorien "råmateriale for genbrugsbeton", er meget stort.



4. PROJEKTET

4.1 Formål

Det er projektets formål

- at dokumentere, at nedslidte betonbelægninger kan knuses og genanvendes til fremstilling af nye, holdbare belægninger.
- at undersøge, om der eksisterer tekniske begrænsninger i anvendelsen af vilkårlige dele af et nedknust materiale, samt om der er tekniske begrænsninger i anvendelsen af betoner, der er aktuelle for genanvendelse som følge af særlige skadesmekanismer.
- at opstille metoder til beskrivelse af grusmaterialer af nedbrudt beton.
- at projektet skal kunne danne baggrund for udarbejdelse af retningslinier for udførelse af betonbelægninger baseret på genanvendelse.

4.2 Projekttopdeling

Som indledningsvist anført opdeles projektet i 3 delprojekter:

- et dokumentations- og udviklingsprojekt
- et fuldskalaforsøg
- en opfølgingsfase.

Dokumentations- og udviklingsprojektet baseres på undersøgelser og forsøg med 4 udvalgte materialer.

De udvalgte materialer tilstræbes at repræsentere så bred en periode af danske betonbelægninger som muligt.

De udvalgte objekter beskrives in situ, suppleret med tilgængelige produktionsdata. Materialerne nedknuses, hvorefter det producerede grus beskrives.

Af dette grusmateriale sammensættes et nyt betonmateriale, hvis egenskaber i såvel konstruktiv som holdbarhedsmæssig henseende beskrives.

Struktur- og bestanddelsanalyse ved anvendelse af fluorescens- og polarisationsmikroskopi skal bl.a. indgå i disse vurderinger.

En forsøgsserie påregnes således at indeholde følgende elementer:

Redegørelse for basismaterialets fremkomst, sammenheng og tilstand.

Nedknusning.

Beskrivelse af det nedknuste produkt, herunder undersøgelse af:

Sigtekurve

Kornform (fraktionsopdelt)

Mørtel/sten-fordeling (fraktionsopdelt)

Densitet (fraktionsopdelt)

Vandbehov for 0/4 mm fraktionen

Flintindhold, indhold af porøs flint.

Sandets alkaliekspansion.

Sammensætning af genbrugsbeton

Af det nedknuste materiale fremstilles ny betoner ved sammensætning som følger:

Prøve	Nedknust beton		naturlige materialer	
	<u>0/4</u>	<u>4/32</u>	<u>0/4</u>	<u>4/32</u>
A	X	X		
B		X	X	
C			X	X

Prøvning af de fremstillede betoner, herunder fastlæggelse af den friske betons v/c-tal, bearbejdelighed, luftindhold, vandudskillelse og densitet.

Endvidere undersøges følgende parametre i den hærtnede beton:

- Svind
- Styrke
- Densitet
- Makro- og mikrostruktur
- Frostbestandighed
- Alkalikisel-ekspansion

Tillige trækforsøg med henblik på undersøgelse af sammenhæng mellem styrkeniveau og alkalireaktioner.

Fuldsalaforsøg

Med henblik på en tidlig etablering af en reference- eller demonstrationsbelægning ønskes på grundlag af den første laboratorieanalyse at gennemføre en udstøbning i fuld skala af en genbrugsbeton.

I forbindelse med anlæg af standpladser i Københavns Lufthavn, Kastrup i 1985 er opbrudt en del gamle belægninger med en ensartet sammensætning

Idet Københavns Lufthavnsvesen har erklæret sig villig til at være vært for et demonstrationsforsøg med genbrugsbeton, har projektgruppen sikret sig den tilstrækkelige mængde af opbrudt beton til at en belægning af størrelsen 100-150 m² kan gennemføres.

Dansk Vejbeton A/S har i forbindelse med udførelse af ovennævnte arbejder etableret en mobil betonstation i lufthavnens område. Der er ligeledes i samarbejde med Højgaard & Schultz A/S opnået kontrakt på udførelse af dele af de omhandlede belægninger, hvilket medfører, at projektgruppen vil kunne påregne at disponere over en moderne betonudlægger til udførelse af demonstrationsbelægningen.

Der vil således kunne fremstilles 2 belægninger, der med hensyn til udførelsesmåde og kravspecifikationer er identiske, ligesom belægningens anvendelse og belastning må formodes at blive ensartet. Hermed kan etableres et overbevisende sammenligningsmateriale.

I forbindelse med fremstilling af genbrugsbeton påregnes foretaget en del ændringer på blandestationen, således at optimal fremstilling efter de udviklede recepter muliggøres.

Opfølgning af produktets egenskaber

Resultatet af fuldskalaforsøget forventes at blive en belægning, der opfylder alle de krav, der er stillet til øvrige betonbelægninger i lufthavnen.

I en 5-års periode gennemføres halvårlige eftersyn af forsøgsbelægningen og den samtidigt udførte traditionelle betonbelægning.

Der påregnes foretaget en almen bedømmelse af belægningens egenskaber og i tilknytning hertil udføres på udborede betonkerner mikroskopisk strukturanalyse.

Der fokuseres i strukturanalysen hovedsageligt på følgende materialeegenskaber:

- Mikrorevner
- Alkalikiselreaktioner
- Karbonatisering
- Udfældninger
- Luftporesystem
- Makrodefekter

4.3 Tidsplan

Udviklingsprojekt

Delprojekt 1

Indsamling og bearbejdning af viden om emnet.

Opstilling af detaljeret forsøgsplan.

Udvælgelse af lokaliteter, der skal indgå i projektet.

In situ beskrivelse af disse.

Opbrydning af materialer samt nedknusning af disse.

Beskrivelse af 50% af det nedknuste materiale.

Delprojekt 2

Beskrivelse af resterende del af nedknust materiale.

Betonproportionering og udstøbning af 2 genbrugsbetoner på laboratorieniveau.

Undersøgelse af de udstøbte betoner.

Delprojekt 3

Projektering, udstøbning og dokumentation af samtlige prøver.

Delprojekt 4

Rapportering

Fuldskalaprojekt

Indsamling og nedknusning af betonmateriale, klargøring af blandestation for produktion af genbrugsbeton.

Fremstilling af referencebelægning samt dokumentation af materialeegenskaber.

Projektet er med udgangspunkt i ovenstående opdeling gennemført efter følgende tidsplan:

Delprojekt 1	:	15.06.-30.09.1985
Delprojekt 2	:	01.10.-30.06.1986
Delprojekt 3	:	30.06.-31.12.1986
Delprojekt 4	,	01.01.-30.04.1987
Fuldskalaforsøg:		30.06.-31.12.1985
Opfølgning	:	1986 - 1990

4.4 Valg af forsøgsobjekter

Projektgruppen har ved valg af forsøgsobjekter lagt megen vægt på at udvælge betoner, der i sammensætning, udførelsesmetode og nedbrydningsmekanisme adskiller sig fra hinanden.

Yderligere har projektgruppen fundet, at det var nødvendigt i særligt omfang at studere forhold vedrørende genanvendelse af materialer fra betoner med kraftige alkaliselreaktioner. Disse forhold er ikke tidligere belyst i Danmark eller i udlandet.

På dette grundlag er udvalgt følgende 4 forsøgsobjekter:

<u>Lokalitet</u>	<u>Skadetype</u> <u>Alkalikisel</u>	<u>Frost</u>	<u>Trafik</u> <u>Belastning</u>	<u>Udførelses</u> <u>tidspunkt</u>	<u>Sten</u> <u>materiale</u>	<u>v/c-tal</u>
1. Chr. Xs Alle			+	1929	granit	lavt
2. Finger B, Kastrup			+	1959	søsten	middel
3. Sydmotorvejen (+)		+		1968	granit	højere
4. Motorringvejen	++	(+)	(+)	1968	granit	højere

Belægning nr. 1 er udført med stampemaskine
 Belægning nr. 2 er udført med skinneskørende materiel.
 Øvrige belægnings er udført med slipform paver.

5. OVERSIGTER, SAMMENSTILLING AF RESULTATER

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. Prøvebetegnelser, betontyper og -sammensætning
2. Oversigt over egenskaber i frisk og hærnet beton
3. Luftporeanalyse af hærnet beton
4. Svindmålinger, udtørringssvind
5. Frost/tø prøvninger
6. Alkalireaktivitet
7. Sammenstilling af alkalireaktivitetsprognoser
8. Sammenstilling af trykstyrker
9. Sammenstilling af trækstyrker
10. Sammenstilling af E-modul

5.1 PROJEKT VEDRØRENDE GENBRUG AF GL. BETON

SAMMENSTÅNING AF LABORATORIEFREMSTILLEDE GENBRUGSBETONER

Prøve- betegnelse	Cement	Silica slurry	Totalmateriale nedknust MOT	4/32 mm nedknust MOT	Søsand 0/4 mm MOT	Vand	SPT
0 Reference	305	27	-	1152	660	126	3,7
1 Sydmotorvejen > 4 mm	310	28	-	1021	636	128	3,8
2 Motorringvejen > 4 mm	306	28	-	1029	645	127	3,7
3 Finger B > 4 mm	317	29	-	1045	655	129	3,8
4 Chr. X's Alle > 4 mm	318	29	-	1071	671	132	3,9
5 Finger B, Total	323	29	1248	-	470	134	3,9
6 Sydmotorvejen, total	316	29	1116	-	565	131	3,8
7. Chr. X's Alle total	313	28	1106	-	560	130	3,8
8 Motorringvejen Total	315	29	1116	-	565	131	3,8

Alle angivelser i kg.

I blanding 0, referencebeton, udgøres stentilslaget af knust Rønnegranit.

I "vand" er indeholdt bidrag fra silicaslurry og SPT.

Cementtype: lavalkali, sulfatbestandig. Silicaslurry: 50% tørstof.

5.2 OVERSIGT OVER EGENSKABER I FRISK OG HÆRDNET BETON

Prøvebetegnelse	Frisk beton		Hærdnet beton			
	Luftindhold %	Rumvægt kg/m	Luftindhold %	Rumvægt kg/m	Trykstyrke MPa	Frost- bestandighed
0, Reference	8,5	2.260	6,5	2.297	40,6	høj
1, Sydmotorvej > 4 mm	8,3	2.099	7,4	2.221	45,4	høj
2, Motorringvej > 4 mm	8,0	2.121	6,3	2.220	37,8	lav
3, Finger B > 4 mm	7,6	2.154	5,5	2.211	41,3	høj
4, Chr.X's Allé > 4 mm	6,5	2.208	5,3	2.282	48,1	høj
5, Finger B, total	6,2	2.214	4,8	2.261	47,0	middel
6, Sydmotorvej, total	7,2	2.143	5,8	2.217	41,9	høj
7, Chr.X's Allé, total	8,5	2.125	6,3	2.248	44,2	høj
8, Motorringvej, total	6,3	2.143	6,5	2.215	35,8	lav

5.3 ØVERSIGT OVER ANALYSEDATA VEDR. LUF I PORESTRUKTUR I LABORATORIEFREMSTILLEDTE BETONPRØVER MED NEDKNUST BETON SOM TILSLAG.
 PRØVNING AF HÆRDNET BETON IFØLGE ASTM C457.

Prøve mrk.	LUF TINDHOLD Total % d < 0,350 mm		Afstandsfaktor mm	Specifik overflade mm
0-1	7,64	4,34	0,09	35,52
0-2	6,16	4,34	0,09	45,89
0-3	7,40	4,01	0,09	38,07
0-4	4,78	2,72	0,15	30,56
0-5	6,62	4,83	0,08	48,23
Gennemsnit	6,5	4,0	0,10	40,0
Spredning	1,1	0,8	0,03	7,3
1-1	7,86	5,52	0,07	42,53
1-2	6,96	5,00	0,09	39,96
1-3	6,67	4,34	0,10	35,94
1-4	8,25	6,00	0,07	44,07
1-5	7,05	5,15	0,09	38,12
Gennemsnit	7,4	5,2	0,08	40,0
Spredning	0,7	0,6	0,01	3,2
2-1	6,77	4,41	0,08	47,61
2-2	7,48	4,16	0,07	48,00
2-3	4,87	3,44	0,11	43,69
2-4	6,54	4,22	0,09	44,33
2-5	5,77	4,05	0,11	40,84
Gennemsnit	6,3	4,1	0,09	45,0
Spredning	1,0	0,4	0,02	3,0
3-1	5,32	3,30	0,12	38,33
3-2	5,81	3,47	0,11	40,19
3-3	5,28	3,28	0,15	29,59
3-4	5,39	3,21	0,12	38,90
3-5	5,89	3,47	0,10	42,13
Gennemsnit	5,5	3,3	0,12	38,0
Spredning	0,3	0,1	0,02	4,8
4-1	5,28	2,54	0,15	30,15
4-2	5,30	2,80	0,14	32,74
4-3	5,58	2,35	0,17	26,22
4-4	4,50	2,30	0,16	30,19
4-5	5,96	2,48	0,15	28,68
Gennemsnit	5,3	2,5	0,15	30,0
Spredning	0,5	0,2	0,01	2,4

Prøve mrk.	LUF TINDHOLD		Afstandsfaktor mm	Specifik overflade mm
	Total %	d < 0,350 mm		
5-1	4,25	3,02	0,09	52,81
5-2	5,25	2,34	0,14	33,07
5-3	5,23	3,34	0,10	43,71
5-4	4,51	2,88	0,10	49,47
5-5	4,65	2,80	0,12	41,14
Gennemsnit	4,8	2,9	0,11	44,0
Spredning	0,4	0,4	0,02	2,7
6-1	5,5	3,25	0,11	41,55
6-2	5,13	3,45	0,10	44,57
6-3	5,7	4,02	0,08	52,82
6-4	6,93	4,78	0,09	42,33
6-5	5,66	3,82	0,09	51,28
Gennemsnit	5,8	3,9	0,09	47,0
Spredning	0,7	0,6	0,12	5,2
7-1	6,18	3,28	0,13	30,5
7-2	6,49	3,24	0,13	30,63
7-3	6,72	4,04	0,09	42,63
7-4	6,4	3,17	0,12	32,57
7-5	5,66	3,17	0,13	34,35
Gennemsnit	6,3	3,4	0,12	34,0
Spredning	0,4	0,4	0,02	5,0
8-1	5,98	3,32	0,11	38,8
8-2	6,98	3,63	0,11	32,91
8-3	6,72	3,78	0,10	35,65
8-4	6,63	3,60	0,11	35,18
8-5	6,33	4,09	0,09	45,08
Gennemsnit	6,5	3,7	0,10	38,0
Spredning	0,4	0,3	0,01	4,7
ALLE PRØVER				
Gennemsnit	6,0	3,7	0,11	40,0
Spredning	0,8	0,8	0,02	5,4

Projekt: Genanvendelse af betonbelægninger.

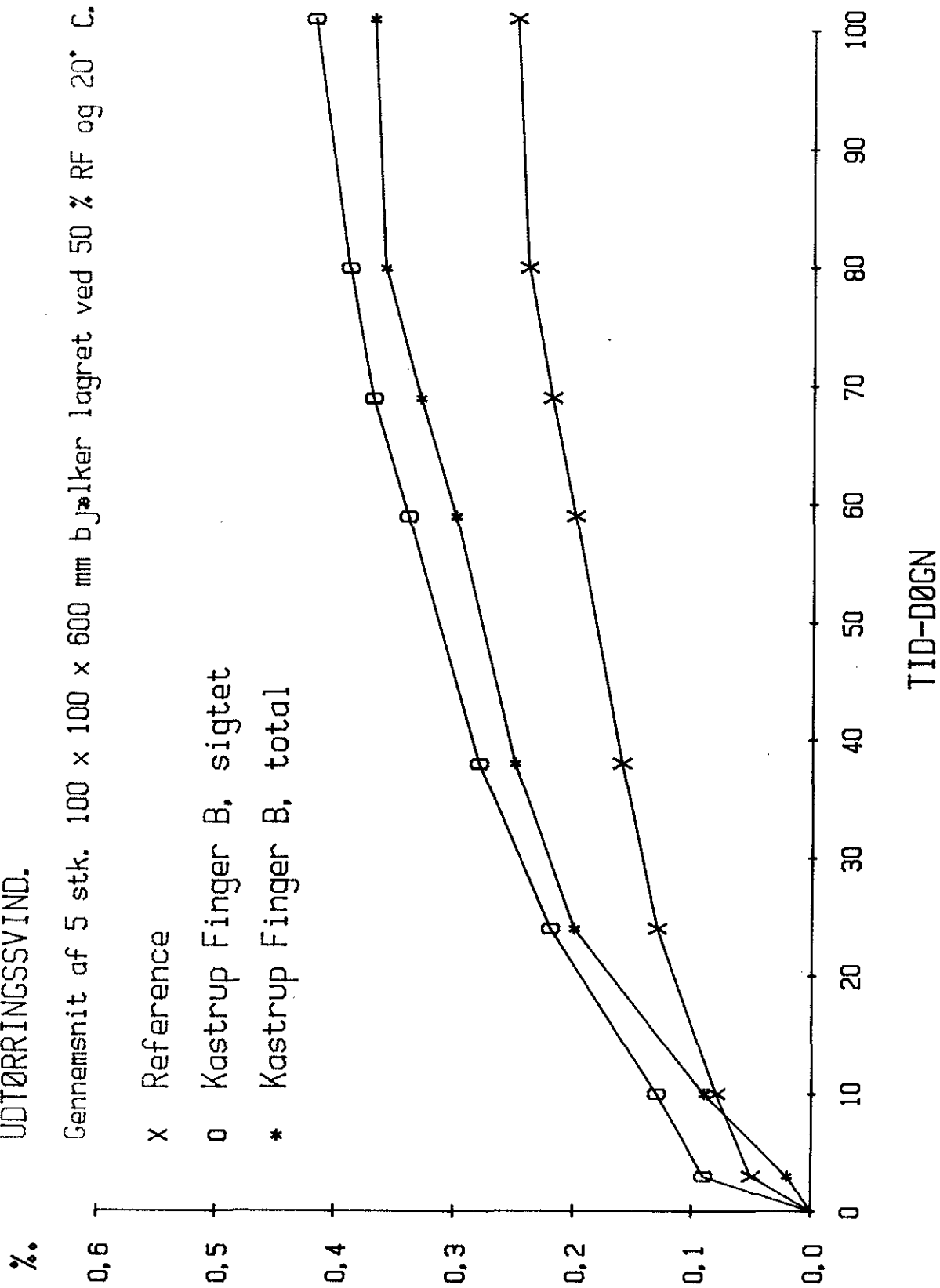
UDTØRRINGSSVIND.

Gennemsnit af 5 stk. 100 x 100 x 600 mm bjælker lagret ved 50 % RF og 20° C.

x Reference

o Kastrup Finger B, sigtet

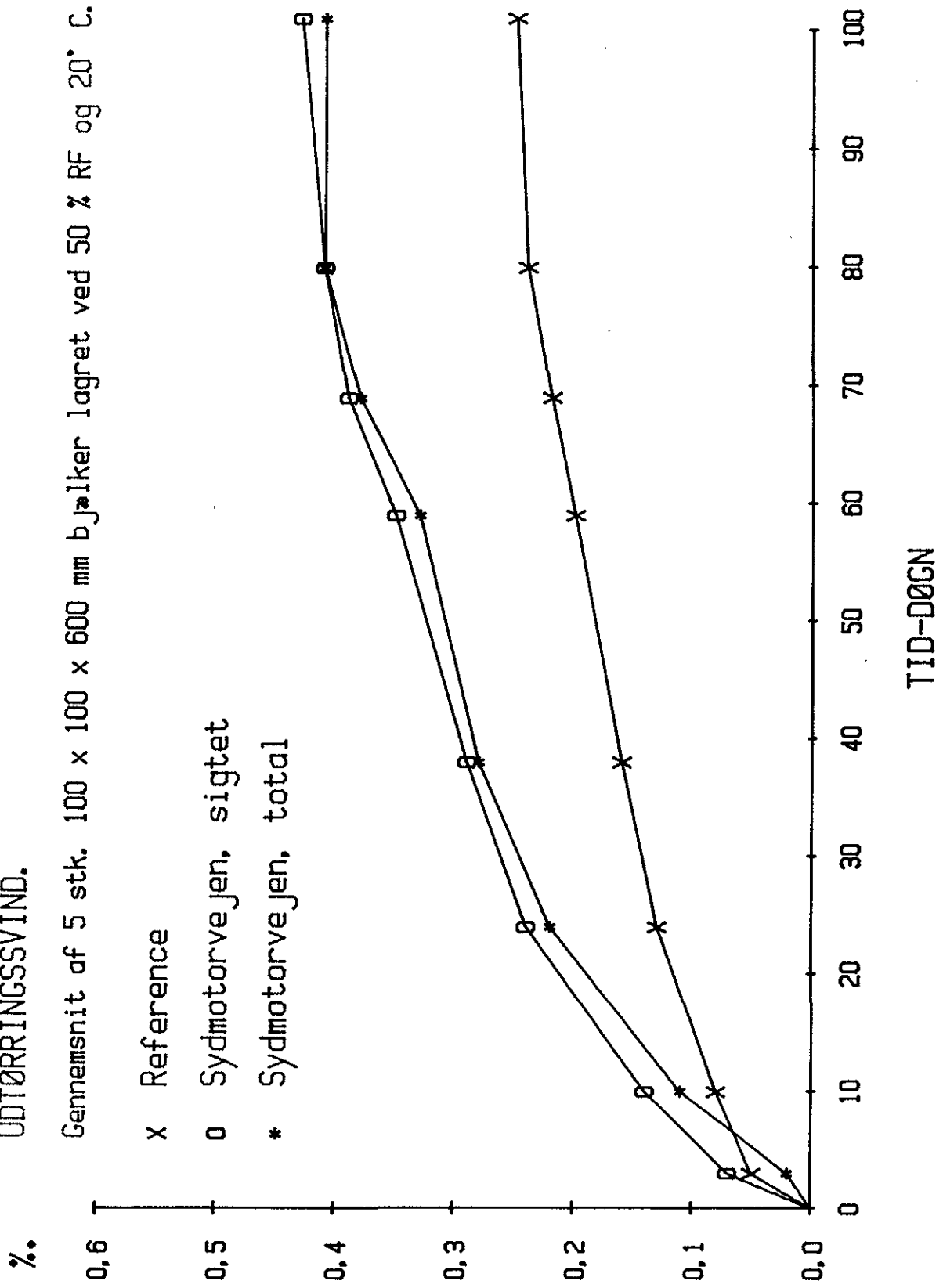
* Kastrup Finger B, total



Projekt: Genanvendelse af betonbelægninger.

UDTØRRINGSSVIND.

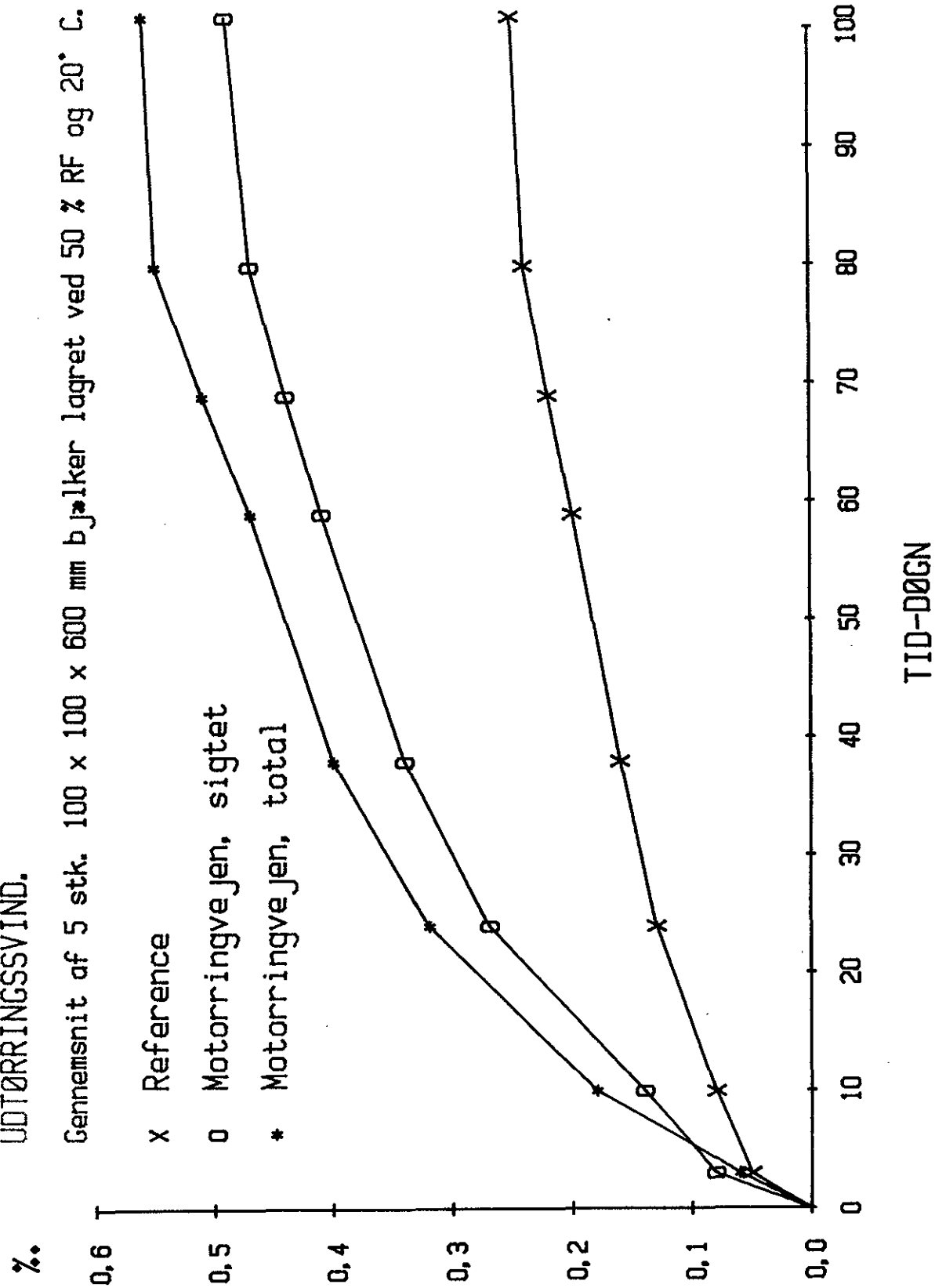
Gennemsnit af 5 stk. 100 x 100 x 600 mm bjælker lagret ved 50 % RF og 20° C.



Projekt: Genanvendelse af betonbelægninger.

UDTØRRINGSSVIND.

Gennemsnit af 5 stk. 100 x 100 x 600 mm bjælker lagret ved 50 % RF og 20° C.



Projekt: Genanvendelse af betonbelægninger.

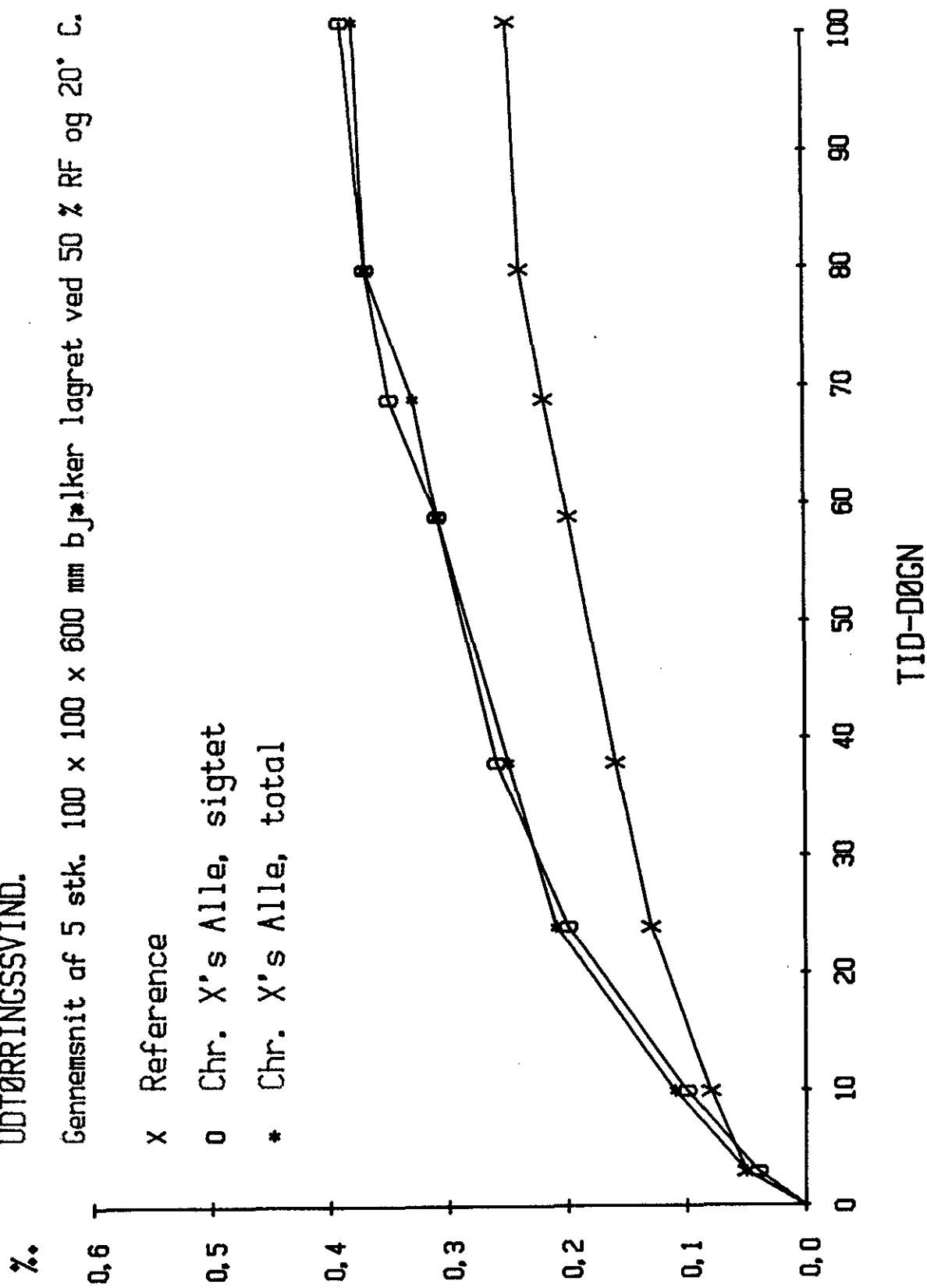
UDTØRRINGSSVIND.

Gennemsnit af 5 stk. 100 x 100 x 600 mm bjælker lagret ved 50 % RF og 20° C.

x Reference

o Chr. X's Alle, sigtet

* Chr. X's Alle, total



ALKALIKISEL TEST

Projekt: Genanvendelse af betonbelægninger.

Lydhastighed efter 8 uger: 10/12 cm cylindre (n=3) lagret i vand ved 20°C og mættet NaCl-opløsning ved 50°C

Referencebeton	Vand	100
	NaCl	99
Kastrup - Finger B	Sigtet Vand	100
	" NaCl	98
	Total Vand	100
	" NaCl	98
Sydmotorvejen	Sigtet Vand	100
	" NaCl	97
	Total Vand	100
	" NaCl	96
Motormingsvejen	Sigtet Vand	100
	" NaCl	96
	Total Vand	100
	" NaCl	96
Chr. IX's Allé	Sigtet Vand	100
	" NaCl	97
	Total Vand	100
	" NaCl	97

3.8 4.0 4.2 4.4 4.6 4.8
Lydhastighed km/sec.

5.7 SAMMENSTILLING AF PROGNOSE FOR ALKALIRESENSIENS BASERET PÅ
 FORSKELLIGE PRØVNINGSMETODER

<u>Betonbetegnelse</u>	<u>Prøvningsmetode, resistensprognose</u>		
	<u>Sandpetrografi (Opalindhold %)</u>	<u>Mørtelprisme- ekspansion 20 uger (o/oo)</u>	<u>Lydhastigheds- reduktion (o/oo)</u>
Referencebeton	høj (0,1)	høj (0,4)	Høj (1)
Finger B, > 4 mm	høj (0,1)	høj (0,3)	høj (2)
Finger B, total	høj (0,1)	Høj (0,3)	Høj (2)
Chr.X's Alle > 4 mm	middel (0,7)	høj (0,2)	middel (3)
Chr.X's Alle, total	middel (0,7)	høj (0,2)	middel (3)
Sydmotorvej > 4 mm	lav (3,0)	høj (0,4)	middel (3)
Sydmotorvej, total	lav (3,0)	høj (0,4)	lav (4)
Motorringvej > 4 mm	lav (5,2)	lav (1,7)	lav (4)
Motorringvej, total	lav (5,2)	lav (1,7)	lav (4)

5.8 Projekt: Genanvendelse af betonbelægninger.

Beton med tilslag fra:

TRYKSTYRKE

10/20 cm cylindre. Alder 4 uger

Referencebeton

100

Kastrup,
Finger B

Sigtet
Total

102

116

Sydmotorvejen

Sigtet
Total

112

103

Motorringvejen

Sigtet
Total

93

88

Chr. X's Allé

Sigtet
Total

118

109

0

10

20

30

40

50

MPa

5.9 Projekt: Genanvendelse af betonbelægninger.

Beton med tilslag fra: **TRÆKSTYRKE**
10/20 cm cylindre. Alder 11 uger

Referencebeton 100

Kastrup. 92
Finger B 85

Sydmotorvejen 96
Sigtet 96
Total

Ringmotorvejen 74
Sigtet 70
Total

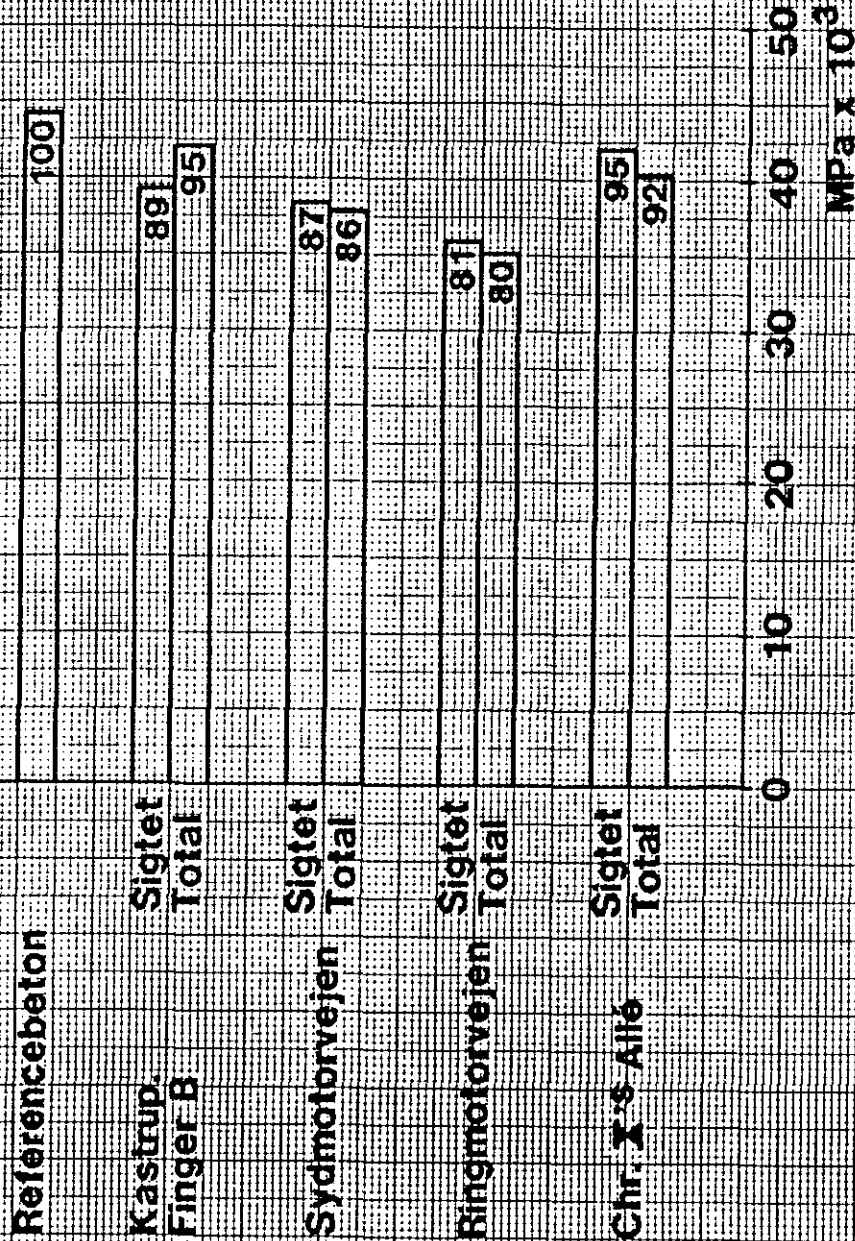
Chr. X's Allé 104
Sigtet 96
Total

0 1 2 3
MPa

5.10 Projekt: Genanvendelse af betonbelægninger.

Beton med tilslag fra: **DYNAMISK E-MODUL**

10/20 cm cylindre. Alder 8 uger



6. RAPPORTERING AF PROJEKTARBEJDET

I nærværende afsnit foretages en rapportering af de undersøgelser, der er foretaget, dels vedrørende de oprindelige betonbelægninger, der er råstoffet for de nedknuste tilslagsmaterialer, dels vedrørende de således fremkomne materialer og de betoner, der i laboratorieskala er fremstillet heraf.

Projektet indeholder ikke intentioner om afprøvning af forskellige nedknusningsteknikker, og der er ved fremstilling af projektmaterialerne af praktiske grunde valgt følgende fremstillingsmetoder:

Betonmaterialer fra lokaliteterne

- Finger B-vest
- Chr. X's Allé
- Sydmotorvejen

er alle opbrudt under anvendelse af hydraulisk hugning og efter læsning på lastbil transporteret til et af Superfos Dammann-Luxol A/S opstillet knuseri i Københavns Lufthavn, Kastrup.

Dette anlæg etableredes i forbindelse med omfattende banerenoveringsarbejder i lufthavnen i 1983.

Knuseriet er sammensat af kæbe- og kegleknusere samt diverse sigteanordninger. Der fremstilles et produkt, der i lufthavnen anvendes som bærelag, og herved substituerer 0/32 mm stabilgrus.

Der er til dette projekt fremstillet 5 m^3 knust materiale af hver betontype.

Betonmateriale fra Motorringvejen er opbrudt i 1983 af anden entreprenør og deponeret i en grusgrav i Vassingerød tilhørende Farum Sten og Gruskompagni A/S. De deponerede materialer var ikke i projektperioden tilgængelige, men selskabet stillede velvilligt materiale fra en prøveknusning til rådighed for projektgruppen i tilstrækkeligt omfang.

I det følgende foretages en gennemgang af de enkelte materialer opdelt i separate underafsnit.

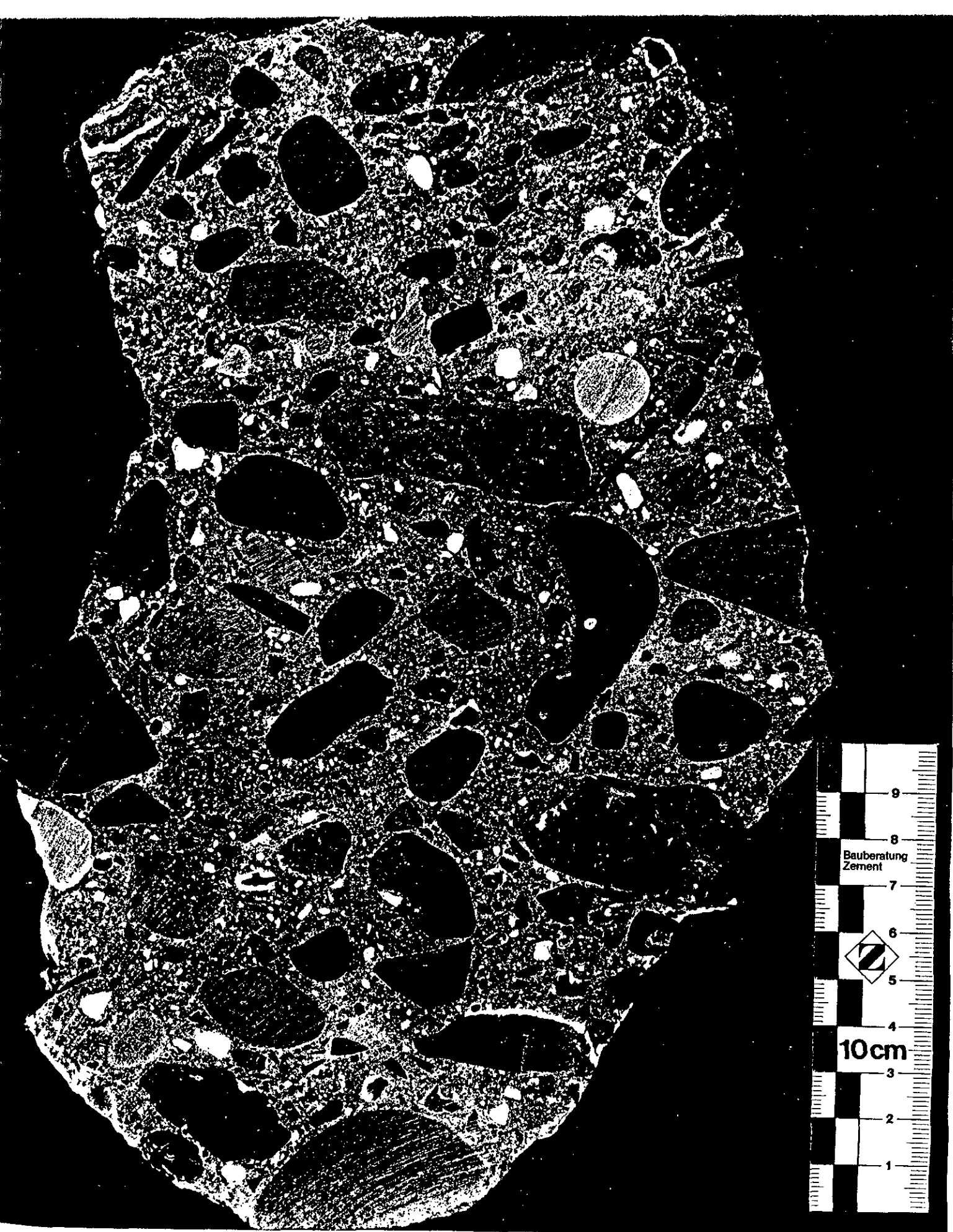
Under gennemgang af det første materiale - B-vest - omtales de anvendte prøvningsmetoder nærmere, såfremt der ikke umiddelbart kan refereres til en DS-prøvningsmetode. I rapportering af efterfølgende materialer anføres alene, hvilke prøvningsmetoder, der er anvendt.

løvrigt henvises til delrapport 3 vedrørende detaljeret gennemgang af prøvningsmetode for bestemmelse af nedknust betons densitet, vandabsorption og mørtelindhold og særligt afsnit i delrapport 4, øvrige prøvningsmetoder.

De enkelte materialer er i det følgende rapporteret i følgende underafsnit:

- 6.1 Finger B-vest, Københavns Lufthavn, Kastrup
- 6.2 Chr. X's Allé, Kgs. Lyngby
- 6.3 Sydmotorvejen, Cordoza-Dyrehavehus
- 6.4 Motorringvejen, Buddinge - Ring III.

Strukturanalyse af ovenstående belægningsbetoner med undtagelse af Finger B-vest er udført af Teknologisk Institut, Byggeteknik.



6.1 FINGER B-VEST
KØBENHAVNS LUFTHAVN. KASTRUP

6.1.1 Beskrivelse af belægning før opbrydning

Strækning	:Kastrup Lufthavn, Finger B-Vest
Udførelsestidspunkt	:1959
Entreprenør	:Topsøe Jensen & Schrøder A/S Carl Nielsen A/S
Areal	:16.000 m ²
Pladebredde	:4,60 m
Pladetykkelse	:0,30 m/2 lag
Tværfuger	:Pr. 5 m/bredde 6 mm/fugemasse
Længdefuge	:Støbeskelsfuge/bredde i top 8 mm/fugemasse
Armering	:Stålvæv/2,2 kg/m ²
Dyvler	:Nej
Udlægning	:Belægninstog
Komprimering	:Vibrering
Cement	:300 kg/m ³ PC (A)
Sand	:915/800 kg/m ³ (Nymølle)(overbeton/underbeton)
Filler	:+
Sten	:1010/1140 kg/m ³ . 0-32 0-64 (overbeton/underbeton)
Vand-v/c	:150 l/m ³ /0,50
Luft.Dos./%	:Nej ?
Plastificering	:Nej
Rumvægt	:2390
Sætmål/vebe	:10-12 ⁰ C vB
Trykstyrke	:480/525 kg/cm ² (Terning 20x20 cm)
Underlag	:Sand

Belægningens generelle tilstand før opbrydning

Belægningen er opbrudt i 1985 i forbindelse med ombygning og forstærkning af forpladsen. De karakteristiske skader på betonbelægningen inden opbrydningen er revnede plader, lappede plader, forskudte pladesamlinger, blow-ups og kantskader. Egentlig kemisk nedbrydning (alkalisk-kiselreaktioner) eller frostskaeder er ikke observeret i nævneværdigt omfang.

Strukturanalyse

Af belægningen er fremstillet tyndslib i belægningstop og sammenstøbningszone med henblik på undersøgelse ved fluorescens- og polarisationsmikroskopi.

Der er endvidere fremstillet planslib af belægningstop og -bund til analyse af materialets luftporestruktur.

Analyseresultater fremgår af efterfølgende skemaer.

Kommentarer:

Betonerne er sammensat som oplyst. Makrostrukturen er ensartet uden synlige tegn på indre nedbrydning.

Mikrostrukturen fremtræder lidt inhomogen uden at dette kan betegnes som en egentlig defekt.

Betonen er kendetegnet ved en høj hydratiseringsgrad, ringe mikrorevneniveau og en beskeden karbonatisering.

Der er observeret en del alkalisk-kiselreaktioner i porøse flintkorn. Disse reaktioner har ikke ført til revnedannelse.

Betonen er tilsyneladende ikke luftblandet.

Forekomst af luft kan antagelig tilskrives mangelfuld komprimering.

Slib nr. : Finger B-vest, Bund, Støbeskelszone
 Sten : flint
 Sand : bækkesand, kalk- og flintholdigt
 Cement : grovkornet, stor hydratiseringsgrad
 Luft : ikke luftblandet
 Homogenitet : lidt uens
 Kapillarporøsitet : lav, v/c -tal $> 0,40$

Overflade : Prøven indeholder ingen frie overfl.
 Karbonatisering :
 Revner vinkelret :
 Revner parallelt :
 Revnekarbonatisering :
 Ændret luftindhold :
 Ændret Kapillarporøsitet :

Mikroanalyse indre struktur:

Grove revner : 0
 Pastarevner : 0,2, få
 Vedhæftningsrevner : 0,7, mange
 Agglomerater : 0
 Indkapslet luft : 0,05, lidt
 Kapillarporesystem : 0,2 , meget uens
 Revner med Portlandit : svag
 Porer med Portlandit : svag
 Dispergering :
 Antal synsfelter $d = 2,3$ mm: 10 stk.

Sammenfattende bemærkninger:

Alkalireaktioner i en del porøse flintkorn - svag geludfældning i en enkelt pore.

<u>Slib nr.</u>	: Finger B-vest, Ioplag
Sten	: flint og granit
Sand	: bakkesand, kalk- og flintholdigt
Cement	: grovkornet, næsten fuldt hydraticeret
Luft	: ikke luftblandet
Homogenitet	: lidt uens
Kapillarporøsitet	: v/c-tal ca. 0,45

Overflade

Karbonatisering	: 0 - 1 mm
Revner vinkelret	: 1
Revner parallelt	: 0
Revnekarbonatisering	: svag
Ændret luftindhold	: 0
Ændret Kapillarporøsitet	: 0

Mikroanalyse indre struktur:

Grove revner	: 0
Pastarevner	: 0,5, middel
Vedhæftningsrevner	: 0,3, få
Agglomerater	: 0
Indkapslet luft	: 0,1, middel
Kapillarporesystem	: 0,02, ensartet
Revner med Portlandit	: 0
Porer med Portlandit	: 0
Dispergering	:
Antal synsfelter d = 2,3 mm: 10 stk.	

Sammenfattende bemærkninger:

Alkalireaktion i meget moderat omfang - ingen geludfældninger.

PRØVNINGSRAPPORT : LUFTPORE ANALYSE

UDTAGNINGSSTED : Finger B - vest, KBH. LUFTHAVN, KASTRUP

KONSTRUKTIONSTYPE: Betonbelægning

REKVIRENT : Miljøstyrelsen

LAB-NR : 85108-166- 1

Dato for modtagelse: 17/09/85

Dato for rapport : 07/04/87

PRØVEMÆRKE : Prøve af underbeton

Antal linier : 40 stk

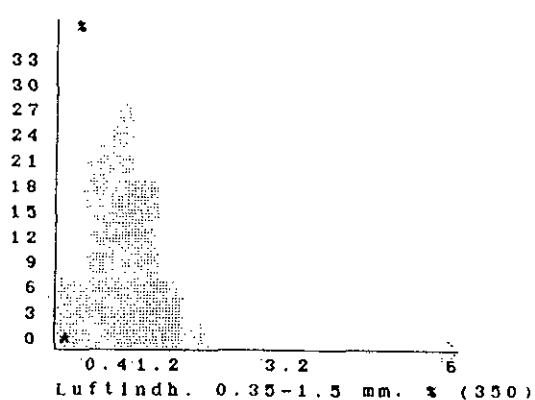
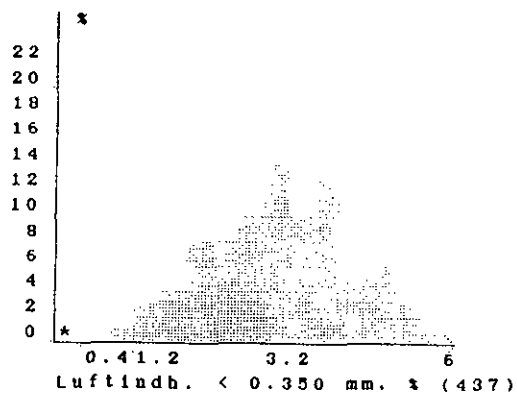
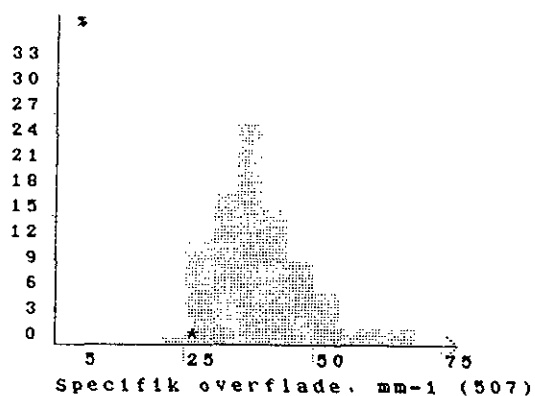
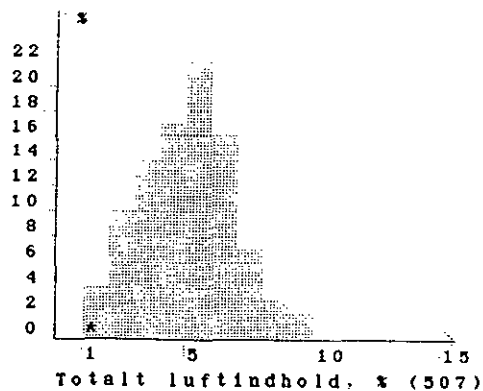
Analyse metode : Planslib
ASTM C457

LUFTINDHOLD:

Total : 1.1 %
< 0,350 mm : 0.4 %
0,35 - 1,5 mm : 0.4 %
> 1,5 mm : 0.3 %

Specifik overflade: 27 mm⁻¹

Afstandsfaktor : 0.36 mm



Histogrammer udarbejdet på grundlag af analyseresultater tilført vor database siden 1982, vedr. konstruktionstypen Betonbelægning samt analyse metode: Planslib ASTM C457

"*" markerer aktuelt analyseresultat. Enhed for søjlebredde er 1/15 af max. abscisseværdi.

PRØVNINGSRAPPORT : LUFTPORE ANALYSE

UDTAGNINGSSTED : Finger B - vest, KBH. LUFTHAVN, KASTRUP

KONSTRUKTIONSTYPE: Betonbelægning

REKVIRENT : Miljøstyrelsen

LAB-NR : 85108-166- 2

Dato for modtagelse: 17/09/85

Dato for rapport : 07/04/87

PRØVEMÆRKE : Prøve af overbeton

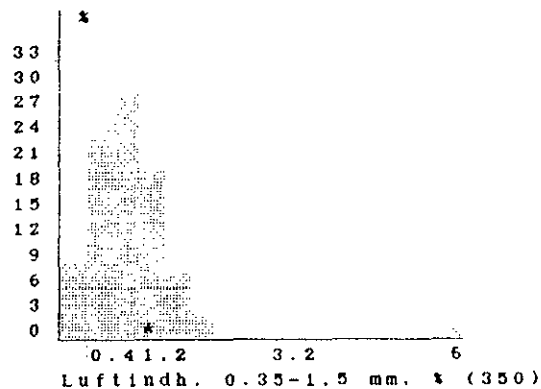
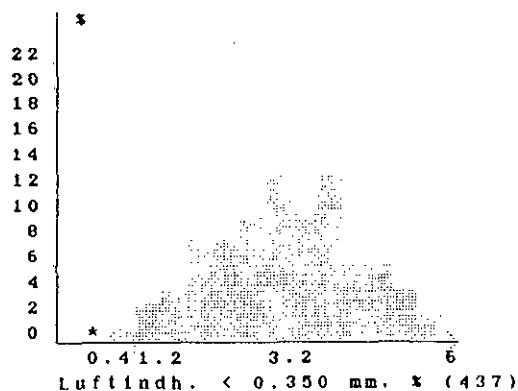
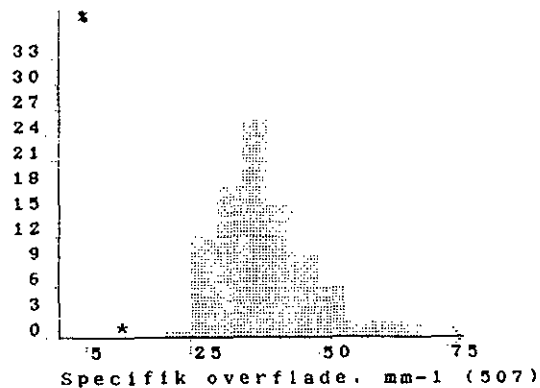
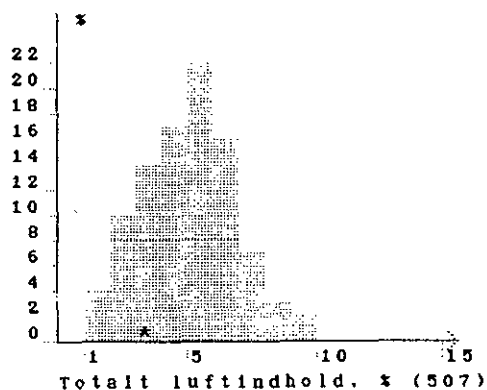
Antal linier : 40 stk

Analyse metode : Planslib
ASTM C457

LUFTINDHOLD:

Total : 3.3 %
< 0,350 mm : 0.4 %
0,35 - 1,5 mm : 1.3 %
> 1,5 mm : 1.6 %

Specifik overflade: 11 mm⁻¹
Afstandsfaktor : 0.53 mm



Histogrammer udarbejdet på grundlag af analyseresultater tilført vor database siden 1982, vedr. konstruktionstypen Betonbelægning samt analyse metode: Planslib ASTM C457
"*" markerer aktuelt analyseresultat. Enhed for søjlebredde er 1/15 af max. abscisseværdi.

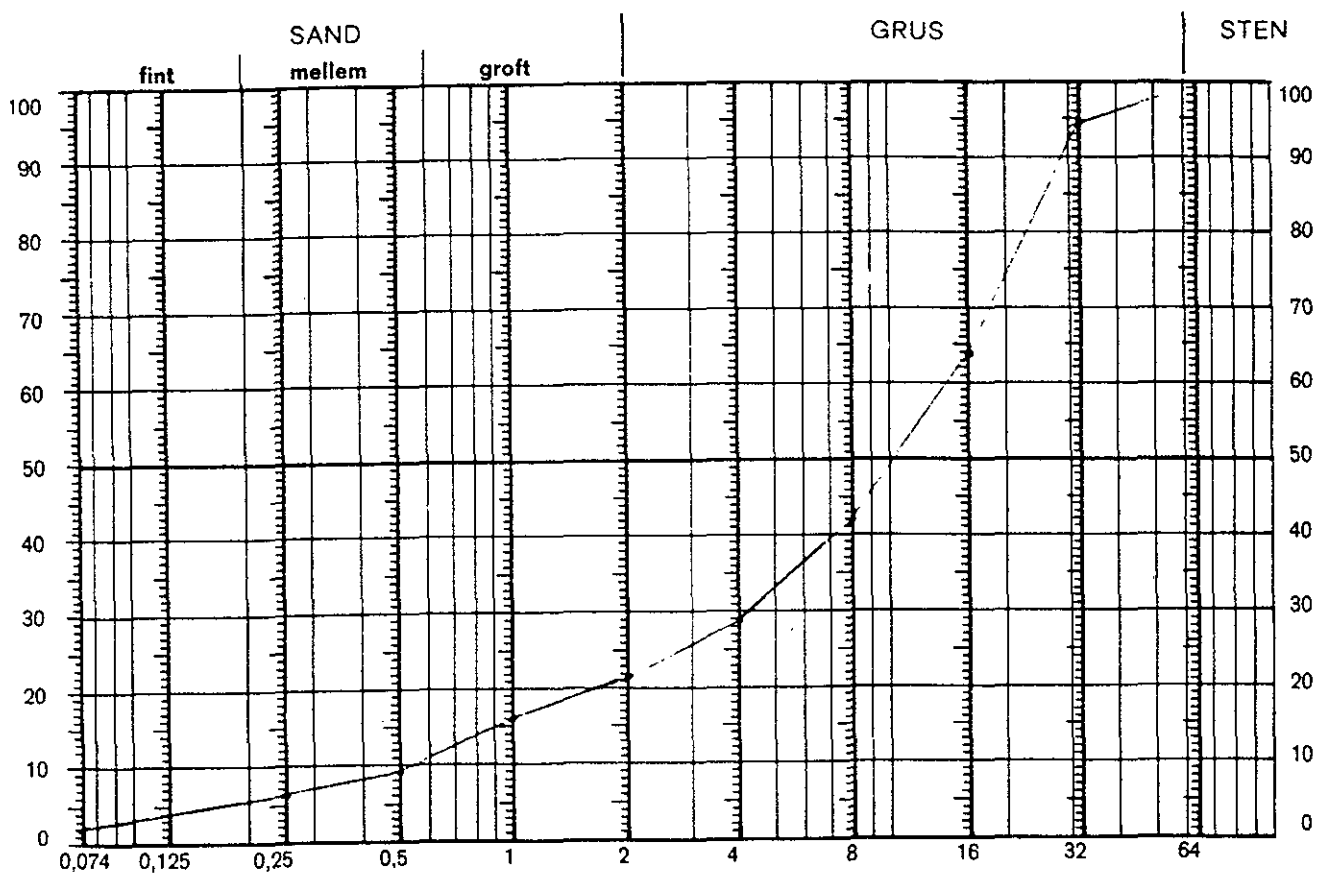
6.1.2 Laboratorjeundersøgelse af det nedknuste materiale

Sigtekurve

Materialet er efter opbrydning nedknust med k be- og kegleknusere til et produkt med max. kornstørrelse 64 mm.

Den gennemsnitlige kornkurve har følgende udseende:

<u>Sigte mm</u>	<u>Gennemfald % (vægt)</u>
64	100,0
32	94,5
16	63,9
8	41,7
4	28,7
2	21,7
1	16,2
0,5	8,9
0,25	5,5
0,075	1,5



Kornform

Med henblik på en bedømmelse af det nedknuste materiales egnethed som stentilslag i kvalitetsbeton er udført analyse af kornform for fraktionerne 8/16 mm, 16/32 mm og 32/64 mm i henhold til DS 405.6.

De fundne værdier er sammenlignet med et på det danske marked almindeligt anvendt produkt bestående af knust klippegranit:

<u>Materiale/ Kornform</u>	<u>Kubiske %</u>	<u>Flade %</u>	<u>Lange %</u>	<u>Flade og Lange %</u>
8/16 mm	69	23	6	2
16/32 mm	83	11	6	0
32/64 mm	90	10	0	0

Klippegranit

8/16 mm	87	13	0	0
16/32 mm	83	15	2	0

For så vidt angår fraktionen 16/32 mm, må det konstateres, at nedknust beton ikke afviger fra kvalitets-tilslag, hvorimod fraktionen 8/16 mm må bedømmes som værende lidt ringere end normalt forekommende betonmaterialer.

Stenmaterialets kornform er af betydning for betonens bearbejdelse. Det må altså forventes, at denne vil blive reduceret ved anvendelse af det nedknuste materiale i forhold til en anvendelse af referencematerialet.

Det undersøgte materiale må dog stadig anses for egnet til anvendelse i en betonproduktion.

Mørtel/sten-fordeling

Denne undersøgelse er indledningsvis foretaget ved punkttælling på planslib og tyndslib.

Metoden ønskes af projektgruppen udbygget til at omfatte en bedømmelse af denne fordeling på grundlag af densitetsmålinger, idet det synes umuligt at opnå repræsentativitet ved punkttælling på planslib.

Bestemmelse efter denne sidste metode kræver kendskab til (måling af) 3 densiteter, nemlig

Densitet af mørtel γ_M
 Densitet af det naturlige tilslag γ_S
 Densitet af nedknust beton.

Andelen af mørtel (M) og sten (S) i en nedknust prøve kan da bestemmes af

$$M \times \gamma_M + S \times \gamma_S = \gamma \quad M + S = 100\% = 1$$

$$M = \frac{\gamma_S - \gamma}{\gamma_S - \gamma_M}$$

Der henvises iøvrigt til delrapport 3.

De foretagne undersøgelser har givet følgende resultater:

<u>Materiale- fraktion</u>	<u>Andel af mørtel vol.%</u>	<u>Andel af naturligt stenmateriale, vol.%</u>
16-32 mm	35	65
8-16 mm	45	55
4- 8 mm	55	45

Vedrørende fordeling mellem naturligt sandmateriale og pasta, kan tilstrækkeligt sikre målinger gennemføres ved punkttælling i mikroskop.

Analyseresultatet for dette nedknuste sand er

<u>Fraktion</u>	<u>Pastaandel (vol.%)</u>	<u>Sand (vol.%)</u>
0-2 mm	19	81
2-4 mm	25	75

Ifølge den opgivne recept kunne man have forventet en sammensætning pasta/sand i forholdet 40/60, hvilket da også konstateredes i de mørtelområder, der ikke er nedknust.

Det kan således konstateres, at pastaandelen i det nedknuste materiales sandfraktion nedknuces kraftigere end det naturlige sand og antageligt forsvinder fra materialet ved "afstøvning".

Densitet og absorption

Da standardmetoden for bestemmelse af absorption giver nogen usikkerhed i målingerne, er absorptionen bestemt efter to principielt forskellige metoder:

Metode I: DS 405,2 - standardmetode

Metode II: Den fugtige prøve anbringes i en bakke, hvorefter en udtørring ved 105°C +/- 5°C indledes.

Ved udtørringen er anvendt infrarød bestråling som varmekilde.

Under udtørringen registreres prøvens vægttabet løbende.

Baggrunden for denne prøvning er den antagelse, at absorberet vand fordampes langsommere end frit vand.

Ved grafisk afbildning fremkommer en kurve, som er lineær for fordampningen af frit vand.

Vægttab
g

DESORPTIONSKURVE (IR 110) FOR
BESTEMMELSE AF ABSORPTION

Dato : 1986-09-30

Prøve nr.: SV 1.a Kastrup, Finger B

Mrk. : Nedknust beton 0-4 mm

81.1 - 78.3

Absorption = $\frac{81.1 - 78.3}{100} = 3.6\%$

78.3

100

96

92

88

84

80

0

10

20

30

40

50

60

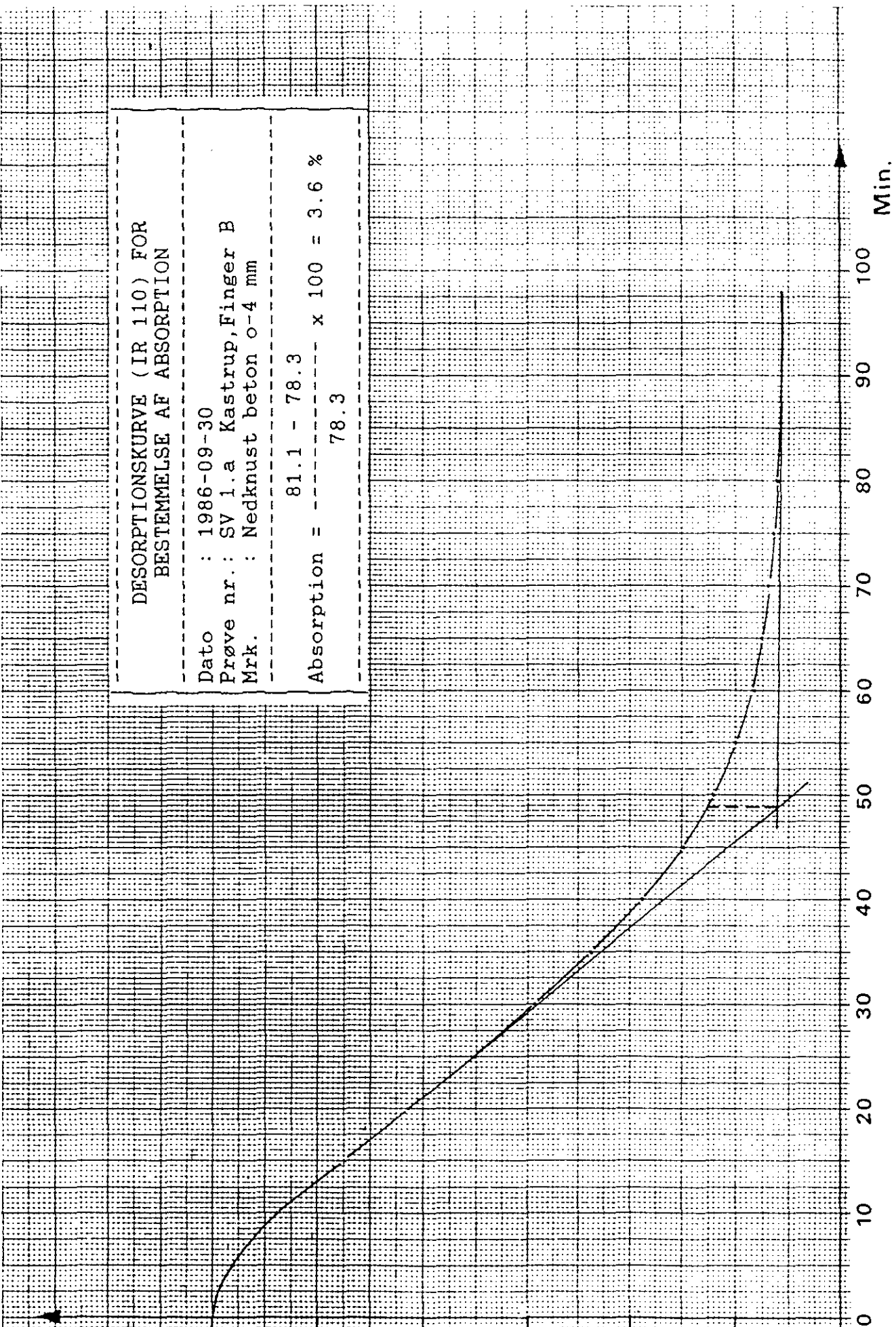
70

80

90

100

Min.



Tangenter indtegnes. Absorptionen er da i princippet bestemt ved det vandindhold, der kan beregnes på grundlag af ordinataflæsning over skæringspunktet af de to tangenter, idet det undersøgte materiales vægttab anføres som ordinat og udtørringstiden som abscisse.

Ovennævnte metode er mere udførligt beskrevet i delrapport 3.

Et eksempel på en sådan desorptionskurve er angivet sidst i dette afsnit.

Vandbehov

En af de materialeparametre, der fokuseres på i dag ved fremstilling af kvalitetsbeton typisk med lavt v/c-tal er sandets vandbehov, bestemt efter ASTM C 87 og C 230. Analysen udtrykker, hvilken mængde af et givet sand, der kan iblandes en given pastamængde under opnåelse af en given bearbejdelighed.

Det krav, der hyppigst stilles til egnet betonsand er, at sandets vandbehov skal være karakteriseret ved en værdi som ovenfor beskrevet større end 1600 g.

En vandbehovsanalyse på 0/4 mm materialet fra den nedknuste beton har vist, at dette sand har et vandbehov udtrykt ved ASTM-standarden på 1621 g.

Senere gennemførte forsøg har givet resultater mellem 1120 g og 1480 g.

Prøvningsmetoden skønnes mindre egnet til anvendelse på nedknust materiale.

Flintindhold, indhold af porøs flint

På sandmateriale af nedknust beton fra Finger B-vest er bestemt indhold af reaktivt materiale i forhold til totalmaterialet. Pastaområder er karakteriseret som ikke-reaktivt materiale.

Resultatet angives i volumenprocent:

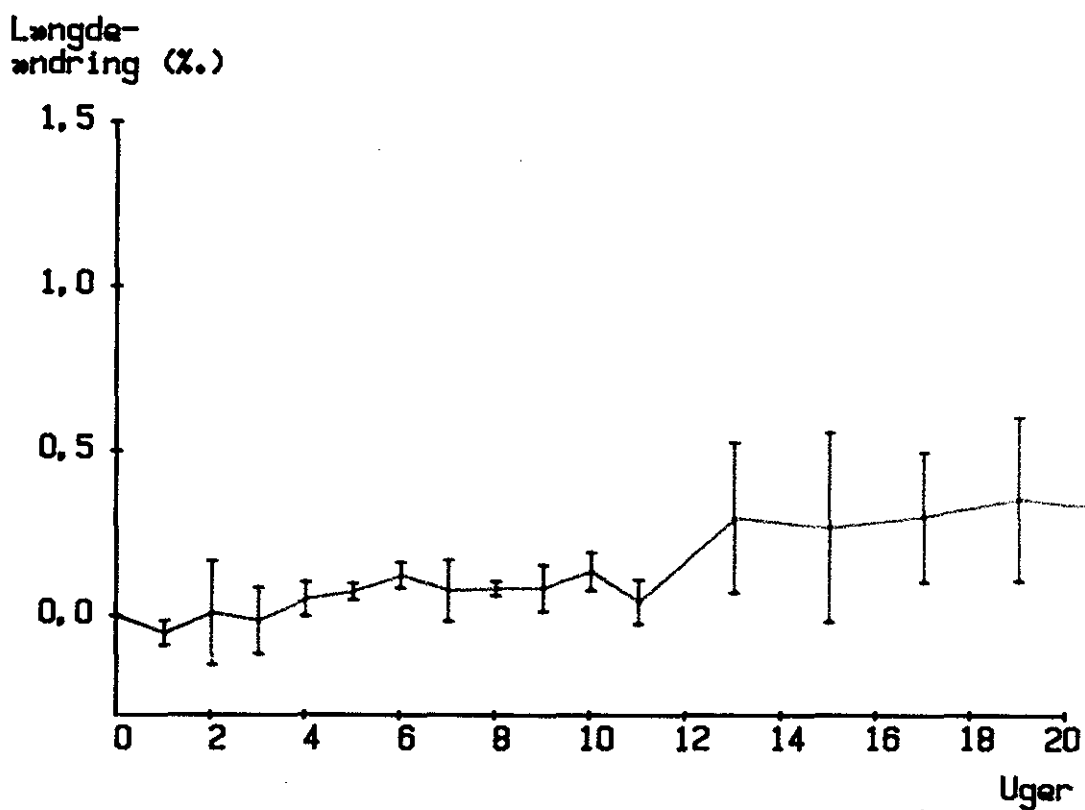
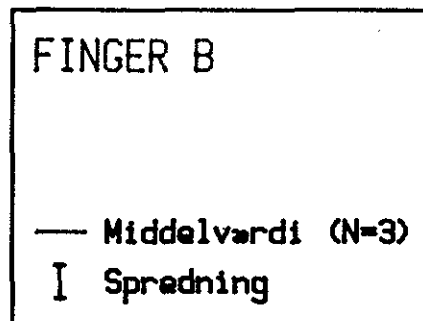
<u>Fraktion</u>	<u>flint ialt</u>	<u>Opal flint</u>	<u>Porøs opal</u>	<u>Porøs Calcedon</u>
0/2 mm	6,7	0	0	0,4
2/4 mm	24,6	0	0	5,3

Normalt anses et sandmateriale for velegnet til belægningsbeton, såfremt indholdet af porøs flint er mindre end 1%.

Anvendes lavalkali sulfatbestandig cement kan det tilladelige indhold af reaktiv flint tillades øget til 2%.

Ovennævnte grænse udtrykker indholdet af reaktiv flint i vol.% af sandfraktionen.

MØRTELPRISME-EKSPANSION



Sandets alkaliekspansion

Denne måles ved registrering af ekspansionen af mørtelprismer lagret ved 50°C i en saltopløsning.

Analysen forløber over en periode af 20 uger.

Baseret på krav, der idag normalt stilles til velegnet betonsand (ekspansion efter 8 uger < 1 o/oo) findes det nedknuste materiale 0/4 mm egnet.

6.1.5 Genbrugsbeton på basis af nedknust materiale

FINGER B-VEST, KØBENHAVNS LUFTHAVN, KASTRUP

Betonsammensætning

<u>Provebetegnelse</u>	<u>Blanding nr. 3 Finger B > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 5 Finger B, total</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
Lavalkalicerment	317 kg	323 kg	305 kg
Mikrosilica	15 kg	15 kg	15 kg
Totalmateriale, nedknust			
4/32 mm	1045 kg	1248 kg	1152 kg
0/4 mm	655 kg	470 kg	660 kg
Vand	129 kg	134 kg	126 kg
SPT, 35%	4 kg	4 kg	4 kg

Betonerne er sammensat med henblik på opnåelse af konsistens og bearbejdelse på niveau med den valgte referencebeton, der er proportioneret med henblik på udlægning med slipform paver.

Frisk-beton analyse

Målt luftindhold	7,6 %	6,2 %	8,5 %
Målt rumvægt	2154 kg/m ³	2214 kg/m ³	2260 kg/m ³
Sætmål	3,0 cm	2,5 cm	2,5 cm
<u>Betonstyrker og E-modul</u>			

<u>Materialeegenskab</u>	<u>Blanding nr. 3 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 5 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
Trykstyrke Ø 15x30 4 uger	41,3 MPa	47,0 MPa	40,6 MPa
Trækstyrke Ø 15x30 11 uger	2,5 MPa	2,3 MPa	2,7 MPa
E-modul Dynamisk, 8 uger	39,1 x 10 ³ MPa	42,0 x 10 ³ MPa	44,1 x 10 ³ MPa

E_{,dyn} er beregnet på grundlag af:

$$E_{,dyn} = k \times D_{,ssd} \times V$$

hvor D_{,ssd} = betonprøvens densitet kg/m³

V = Lydhastighed (densitetsprøve) i km/sek

$$k = \frac{(1 + u)(1 - 2u)}{1 + u}$$

u = Poisson's forhold. Her sat til 0,2.

Det skal bemærkes, at det dynamiske E-modul normalt er ca. 30% større end det statiske E-modul.

Svindmålinger, betonbjælker 600x100x100 mm. o/oo

<u>Måletidspunkt og lagringsbetingelser</u>	<u>Blanding nr. 3 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 5 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
0 dg, 100% rel.fugtigh.	0,00	0,00	0,00
30 dg, 100% " "	0,03	0,02	0,03
33 dg, 50% " "	0,12	0,04	0,08
40 dg, 50% " "	0,16	0,11	0,11
131 dg, 50% " "	0,45	0,39	0,28

Strukturanalyser

På de 5 laboratorieudstøbte prøver er gennemført strukturanalyser bestående af en mikroskopisk analyse af tyndslib ved fluouescens- og polarisationsmikroskopi samt en luftporeanalyse efter lineær travers metoden, ASTM C 457.

Væsentlige forhold er fremhævet i nedenstående opstilling, idet tilsvarende værdier for referencebetonen samtidig er anført til sammenligning:

<u>Strukturparametre</u>	<u>Blanding nr. 3 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 5 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
Kapillarporøsitet v/c-tal	0,35-0,40	0,35-0,40	0,35-0,40
Pastahomogenitet	ensartet	ensartet	ensartet
Luftindhold %	5,5	4,8	6,5
Specifik overflade, mm ⁻¹	38	44	40
Afstandsfaktor, mm	0,12	0,11	0,10
Grove revner	ingen	ingen	ingen
Pastarevner	ingen/få	få	få
Revner mellem ny mørtel og knust tilslag	få	få	-

Konkluderende om betonernes mikrostruktur kan det anføres, at blanding 0, 3 og 5 i strukturmæssig henseende må karakteriseres som stort set identiske, når bortses fra struktur af stentilslag. Sammenholdt med de krav, der normalt stilles til belægningsbeton i aggressiv miljøklasse, fører den udførte strukturanalyse til accept af alle 3 blandinger.

Frost/tø-prøvning

På betonprismer udsavet af laboratoriefremstillede prøver er gennemført en cyklisk frostbelastning af betonerne efter Dubrolubov-Romer's metode.

Resultatet af denne prøvning er vist senere i nærværende afsnit, og kan konkluderes således:

<u>Betonblanding</u>	<u>Prøvningskarakter</u>
0, referencebeton	Høj frostbestandighed
3, mat. > 4 mm	Høj frostbestandighed
5, totalmaterialet	Middel frostbestandighed.

Herudover er på Ø 10x20 cm laboratoriefremstillede cylindre gennemført en afprøvning af frost/tø bestandigheden i henhold til RILEM anbefaling "Methods of Carrying out and Reporting Freeze Thaw tests on Concrete without De-icing Chemicals".

Frostbestandigheden bedømmes på grundlag af måling af ændring i lyd-
hastigheden (Fuldstændig prøvningsmetode er anført i delrapport 4).

De gennemførte målinger peger mod samme frostbestandighed for alle 3 ovenfor anførte betontyper.

Alkaliskisæl prøvning

Med henblik på konstatering af mulig alkaliskisælreaktivitet i de fremstillede betoner, er gennemført en forsøgsserie, hvorunder betonprøver Ø 10x20 cm cylindre er lagret i mættet NaCl-opløsning ved 50°C i 8 uger.

Herefter er lyd-
hastigheden målt og sammenlignet med lyd-
hastigheden i kontrolprøver lagret i vand ved 20°C i samme periode.

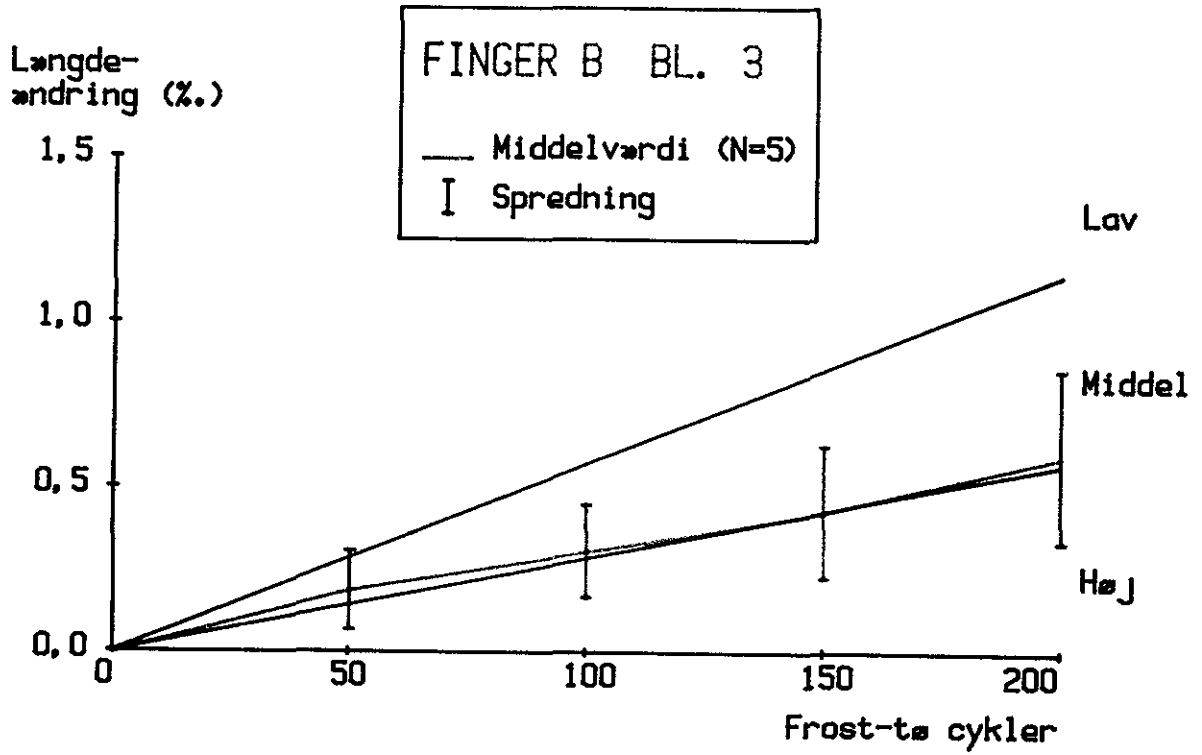
Der kan konstateres en reduktion i hastigheden på 2% i genbrugsbetoner lagret i NaCl-opløsningen i forhold til kontrolprøverne.

For referencebetonen kan tilsvarende konstateres en reduktion i lyd-
hastigheden på 1%.

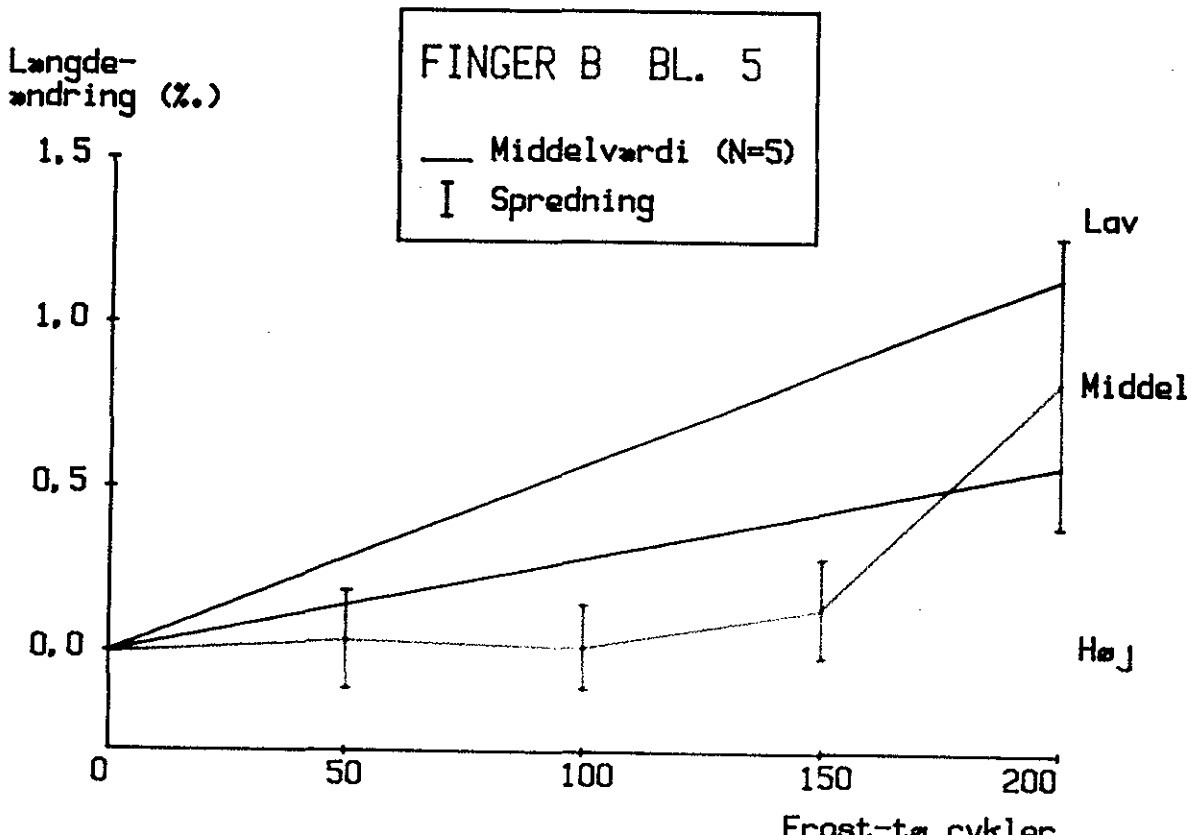
Prøverne fremtræder iøvrigt intakte, og det vurderes, at prøverne har vist ringe alkaliskisælreaktivitet, hvilket er i god overensstemmelse med den prøvning, der er udført på det nedknuste sand.

Det kunne således formodes, at alkaliskisæl-reaktivitetsprøvning udført på den nedknuste betons sandfraktion kan danne grundlag for en vurdering af den nedknuste betons stenfraktions egnethed i så henseende. Det må dog understreges, at yderligere undersøgelser af emnet er påkrævet.

FROST-TØ PRØVNING (Dobrolubov Romer)

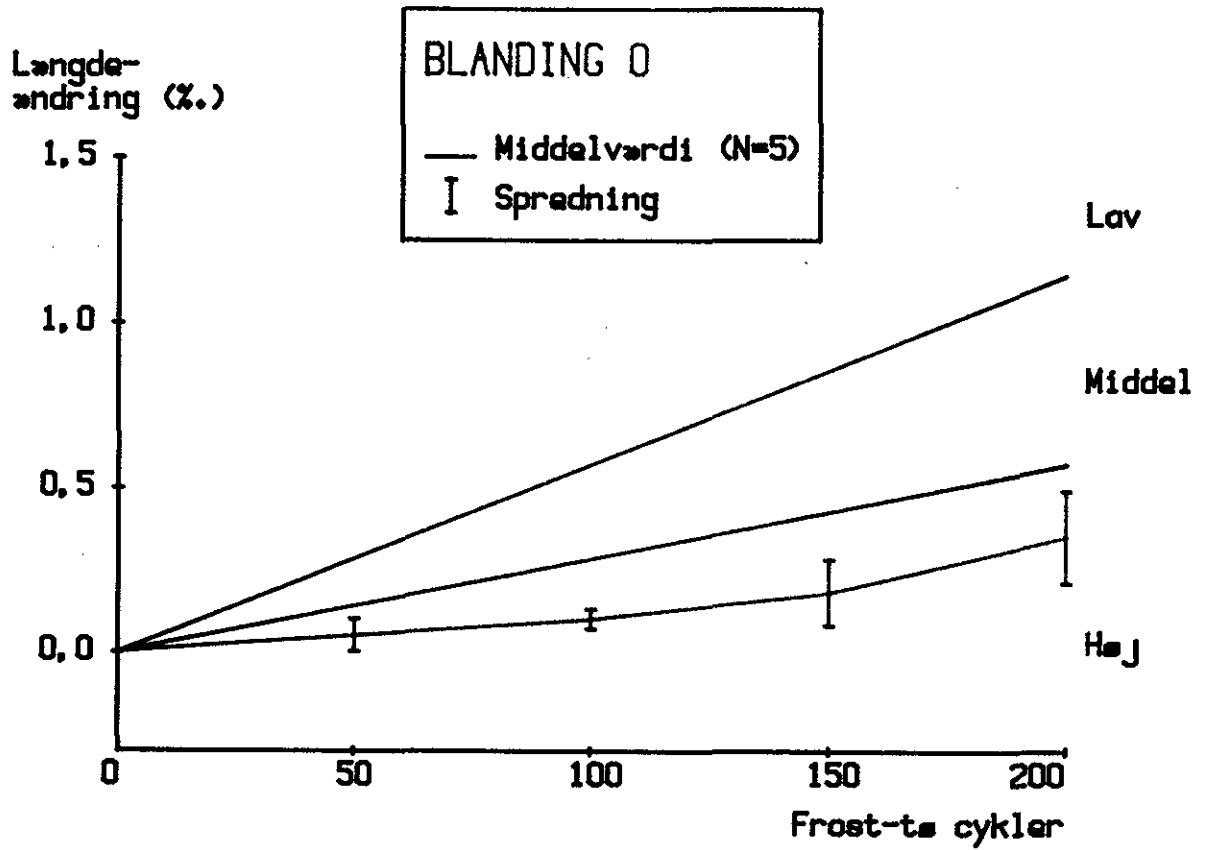


FROSTBESTANDIGHED



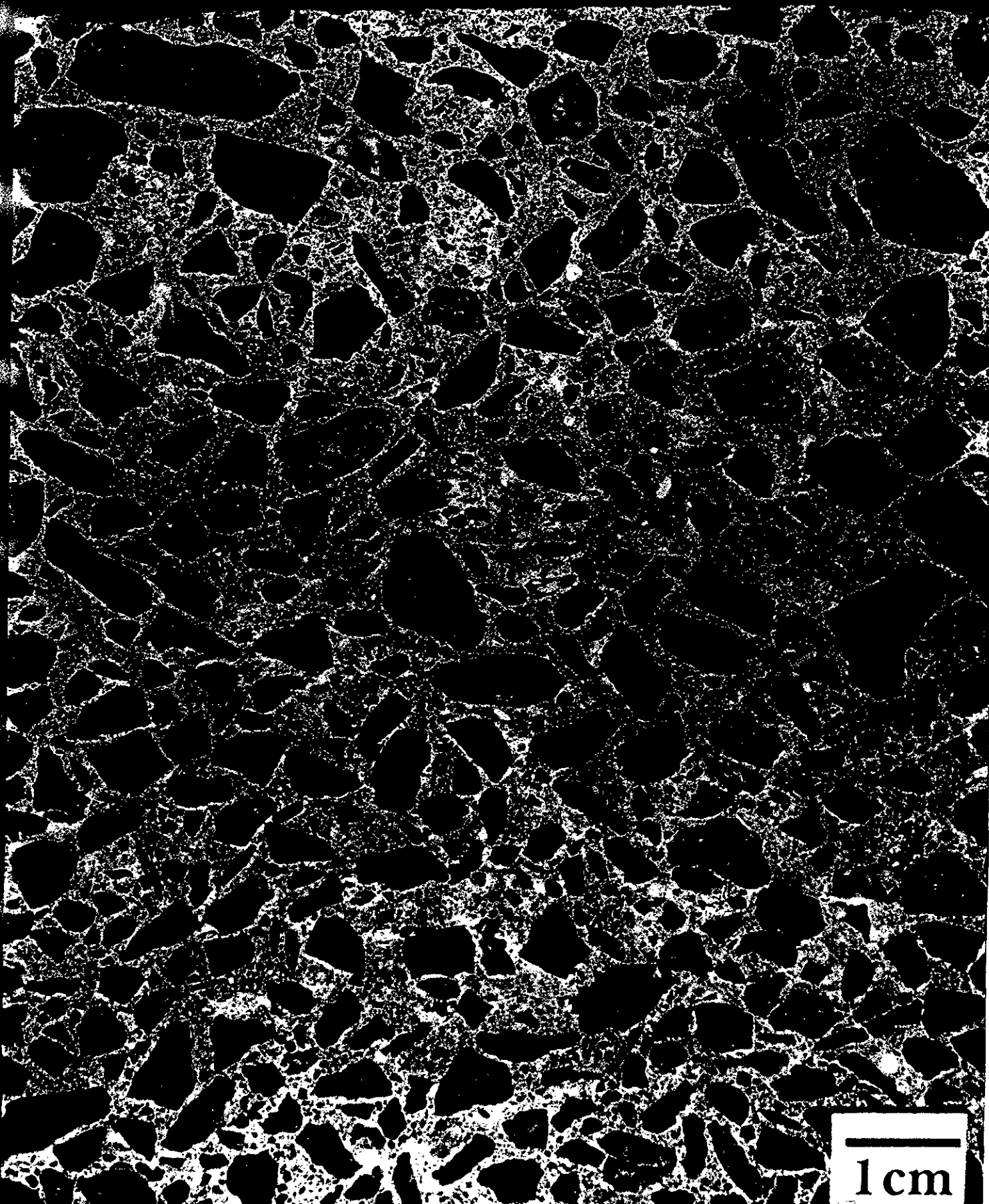
FROSTBESTANDIGHED

FROST-TØ PRØVNING (Dobrolubov Romer)



FROSTBESTANDIGHED

Chr. X's Allé, Lyngby 1929



1 cm

6.2.1 CHR. X'S ALLE, BESKRIVELSE AF BELÆGNING FØR OPBRYDNING

Strækning	: Christian X's Allé (tidl. del af Ulrikkenborgvej) Lyngby-Taarbæk Kommune
Udførelsestidspunkt	: August-september 1929
Entreprenør	: Danalith A/S
Længde	: 955 m
Pladebredde	: 6 m (2x3 m)
Pladetykkelse	: 12 cm på midten, 15 cm ved randen
Fuger	: Tværfuger pr. 17-25 m. Længdefuge med fast indlæg. Fugejern \varnothing 10 mm pr. 50 cm i såvel tvær- som længdefuger
Armering	: 5 kg/m ² . 5 \varnothing 8 mm pr. m i begge retninger Kanter forstærket med 1 \varnothing 10 mm.
Komprimering	: Lakewood stampemaskine
Blandingsforhold	: 1:2:3
Cementindhold	: 350 kg/m ³
Sten	: 6/20 mm granitskærver (Bornholm)
Underlag	: Jord med 6 cm slagger

Bemærkninger : Belægningen blev i 1953 belagt med 27 kg/m² PA
og i 1965 13 + 32 kg/m² PA.

I 1985/86 blev hele strækningen fjernet på grund
af ujævnheder, nedbrydning omkring fuger og rev-
ner samt delvis ombygning.

STRUKTURANALYSE

Der er analyseret 4 borekerner, udboret 1985. Der er fremstillet 2 tyndslib af henholdsvis øverste og nederste del af hver borekerne.

Sten: Knust granit, max. ca. 15 mm. Højt stenindhold. I bunden af kerne 2 ses slagger.

Sand: Sandet har afrundede korn op til ca. 8 mm og normalt fillerindhold. Sandet består overvejende af kvarts og feldspat, meget kalk samt noget flint, deraf enkelte reaktive korn. Der ses svage alkalikiselreaktioner og alkalikiselgel i få porer.

Cement: CEMENTEN, der er Portland-cement, varierer fra kerne til kerne. Den er meget groftmalet i 1, 3 og 4, mere fint i 2. Indholdet af C_2S er meget højt, men cementen i kerne 3 er anderledes end i de øvrige betoner.

Der ses meget uhydratiseret cement.

Pasta: Der ses finkornet og groft $Ca(OH)_2$ i cementpastaen. Der er tegn på bleeding i betonen.

Pastamængden er normal.

Porøsitet: Pastaporøsiteten, vurderet ud fra fluorescensimprægneringen, svarer til et vandcementtal på under 0,40, dog noget inhomogen (0,35 - 0,55).

Luftporer: Betonen er ikke luftindblandet. Mod bunden ses en del indesluttet luft med porestørrelse op til ca. 5 mm.

Poremåling, udført af Statens Vejlaboratorium, har givet følgende resultater for total luftindhold:

Kerne 1 top: 2,4%

Kerne 2 top: 2,5%

Kerne 2 bund: 1,4%

Luften ses overvejende som spredte luftindeslutninger af størrelse op til ca. 10 mm.

Revner: Der ses en del fine revner (over 0,01 mm) og mange mikrorevner (under 0,01 mm), både som pasta- og som vedhæftningsrevner. I mange revner ses ettringit og stedvis $Ca(OH)_2$. Der ses karbonatisering langs mange revner.

Nedbrydning: Karbonatiseringsdybden er under ca. 1 mm, bortset fra kerne 2, hvor den er 2-3 mm.

Omfanget af alkalikiselreaktioner er ubetydeligt. Ettringit i porer og revner viser fugtbetinget omdannelse af cementpastaen.

Andet: I bunden af kerne 3 og 4 ses enkelte slagge (vejen er udført på et slaggelag). På betonens underside ses tegn på kemisk nedbrydning med pastaopløsning og poreudfyldning med et ikke identificeret materiale. Det kan være tegn på sulfatangreb fra slaggen.

Vurdering: En lidt inhomogen, men tæt beton med mange revner og tegn på nedbrydning i form af ettringit i porer og revner.

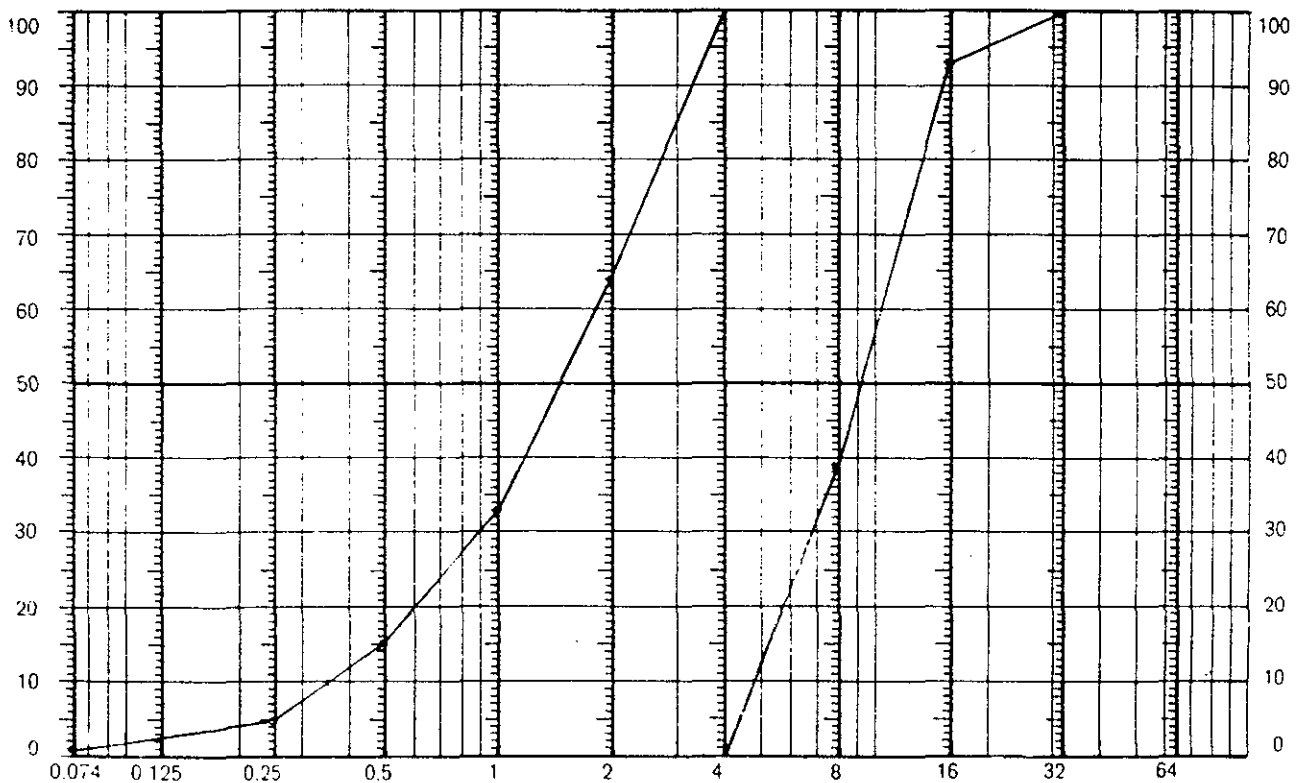
6.2.2 Laboratorieundersøgelse af det nedknuste materiale

Sigteanalyse

Materialet er efter opbrydning nedknust med k be- og kegleknusere til et produkt med max. kornstørrelse 32 mm.

Den gennemsnitlige kornkurve har følgende udseende, idet sand- og stenfraktionerne er angivet separat:

Sigte mm	Gennemfald % (vægt)	
	<u>Sand 0/4</u>	<u>Sten 4/32</u>
32		100
16		93
8		39
4	100	0
2	64	
1	33	
0,5	15	
0,25	5	
0,074	1	



Kornform

Med henblik på en bedømmelse af det nedknuste materiales egnethed som stentilslag i kvalitetsbeton er udført analyse af kornform for fraktionerne 8/16 mm og 16/32 mm i henhold til DS 405.6.

De fundne værdier er sammenlignet med et på det danske marked almindeligt anvendt produkt bestående af knust klippegranit (Rønnegranit, blå):

<u>Kornform/ fraktion</u>	<u>Kubiske %</u>	<u>Flade %</u>	<u>Lange %</u>	<u>Flade og lange %</u>
8/16 mm	83	10	7	0
16/32 mm	81	14	5	0

Klippegranit

8/16 mm	87	13	0	0
16/32 mm	83	15	2	0

Ved sammenligning med et normalt anvendt kvalitetsmateriale findes, at det nedknuste betontilslag er marginalt ringere.

Da det er normalt at anføre et minimumskrav til indholdet af kubiske korn på 70% må materialet ud fra kornform betegnes som værende vel-egnet for anvendelse i kvalitetsbeton.

Mørtel/sten-fordeling, densitet og absorption

Der henvises til delrapport 3 vedrørende bestemmelse af absorption og densitet.

For 4/8 mm materialet er forsøgt en bestemmelse af forholdet mellem mørtel og naturligt stenmateriale ved punkttælling af tyndslib.

Analysen har givet følgende resultat:

<u>Materiale fraktion</u>	<u>Andel af mørtel vol.%</u>	<u>Omregnet vægt%</u>	<u>Ved densitetsbestemmelse vægt%</u>
4/8 mm	46	43	45

Pasta/sand-fordeling i det nedknuste sand

Analysen er foretaget ved tyndslibsmikroskopi og punkttælling af fraktionerne hver for sig.

Resultatet er et gennemsnit af 5 målinger repræsenterende for 0/2mm-fraktionen ca. 10.000 punkter og for 2/4mm-fraktionen ca. 1.000 sandskorn.

<u>Fraktion</u>	<u>Pastavolumen</u>	<u>Naturligt sandvolumen</u>	<u>Ifølge recept</u>
0/2 mm	31%	69%	49/51
2/4 mm	25%	75%	49/51

Ifølge mørtel/sten-analysen, som den fremgår af densitetsmålingerne, må forventes en andel af nedknuste sten i 0/4 mm-fraktionen på 43% vægt.

Det vil sige, at sammensætningen af det undersøgte sand, ifølge teoretiske beregninger på grundlag af den oprindelige recept, vil være:

Cement	350 vægtdele	112 volumendele
Vand	155 "	155 "
Sand	725 "	279 "
Knuste sten	928 "	348 "

Det teoretisk beregnede forhold mellem pasta og sand i det nedknuste sand er således 30% pasta og 70% sand.

Ifølge den petrografiske analyse fandtes i gennemsnit (vægtet) en pastaandel i sandet på 29%.

Flintindhold

Ved petrografisk punkttælling af fluorescensimprægnerede tyndslib er foretaget en analyse af det nedknuste sandmateriales indhold af muligt alkalireaktive bestanddele.

Analysens resultat angives som et gennemsnit af tællinger på 5 tyndslib og repræsenterer i lighed med tællinger for pasta/sand-forhold følgende:

0/2 mm-fraktionen indgår med ca. 10.000 punkter
2/4 mm-fraktionen indgår med ca. 10.000 punkter
i ca. 1.000 korn
4/8 mm-fraktionen indgår med ca. 10.000 punkter
i ca. 300 korn.

I analysen er et sammensat korn optalt i henhold til dets sammensætning, d.v.s. den petrografiske vurdering er foretaget alene i det punkt, der markeres af mikroskopets trådkors.

Resultatet er følgende:

<u>Fraktion</u> <u>mm</u>	<u>Flintindhold</u> <u>ialt %</u>	<u>Tæt Calcedon</u> <u>%</u>	<u>Porøs Calcedon</u> <u>%</u>	<u>Opal</u> <u>%</u>
0/2 mm	3,0	1,7	0,7	0,6
2/4 mm	4,0	2,8	0,5	0,7
4/8 mm	2,1	1,8	0,2	0,1

Kloridindholdsbestemmelse

Idet DS 411 indeholder bestemmelse om den max. tilladelige mængde Kloridioner (vandopløselige klorider) er foretaget en analyse af kloridindholdet i det nedknuste materiale.

Indholdet er bestemt som mængden af Cl^- i % af den undersøgte prøve (vægt%).

Resultatet angives her som et gennemsnit af 5 analyser:

<u>Fraktion</u> <u>mm</u>	<u>Cl^-</u> <u>vægt-%</u>
8/32	0,035
4/8	0,038
0/4	0,037

Kloridindholdet er lavt i forhold til krav i DS 411 til max. indhold i uarmerede betonkonstruktioner.

NOTAT vedrørende kloridindhold i beton, januar 1986

Idet størrelsen af det kritiske kloridindhold i betonkonstruktioner bedømmes med nogen forskel i kilder, der behandler emnet, har vi udarbejdet nedenstående oversigt over talværdier, som de fremgår af DS 411, 1984, eller er afledet heraf eller angives i litteraturen.

Betonbogen, 1979 og DS 411, 1984

Tilladelig mængde af calciumchlorid (vandfri):

Uarmeret beton : max. 2,5% af cementvægten
Beton med slap armering : max. 1,5% af cementvægten
Beton med spændt armering: max. 0,5% af cementvægten

hvilket omregnet til indhold af Cl^- giver følgende grænser for tilladelig mængde:

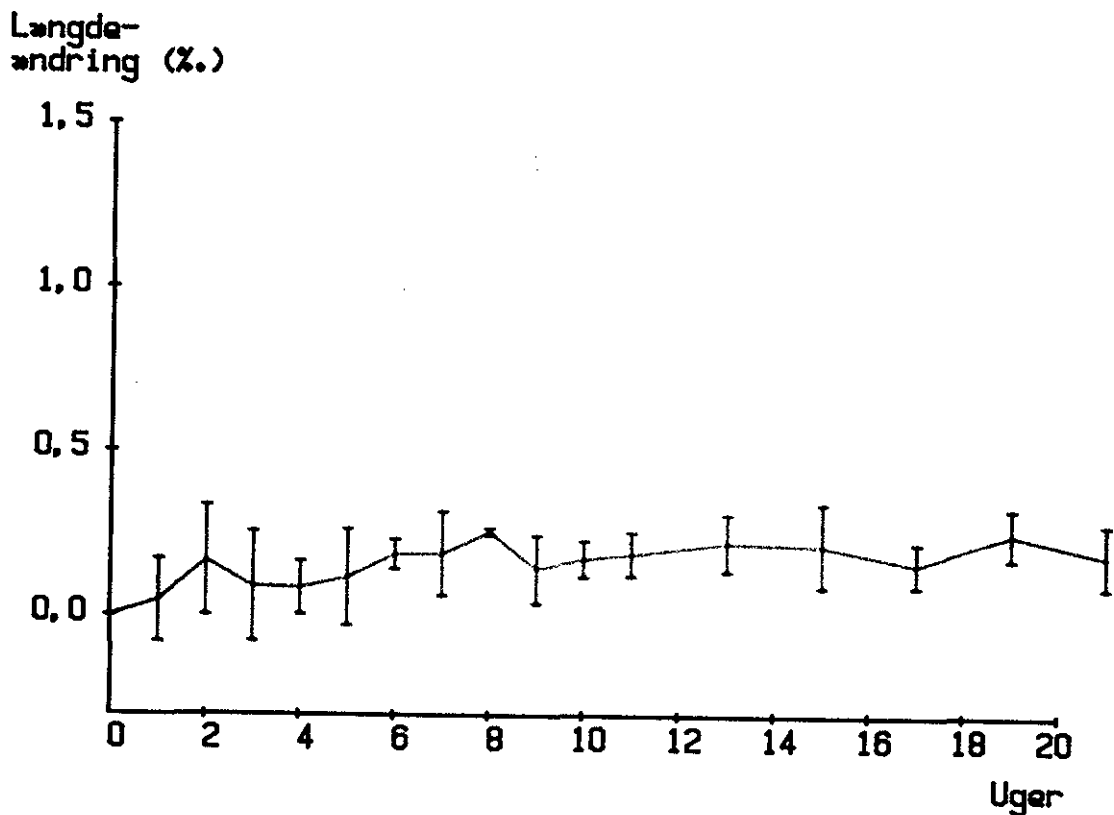
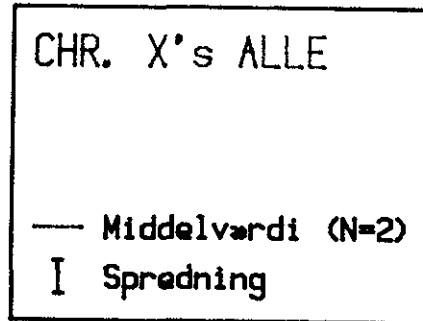
Uarmeret beton : 1,6% af cementvægten
Armeret beton : 1,0% af cementvægten
Forspændt beton : 0,3% af cementvægten

Under forudsætning af et cementindhold i betonen på 300 kg pr. m^3 bliver grænserne

Uarmeret beton : 4,8 kg Cl^- pr. $\text{m}^3 \sim 0,2\%$
Armeret beton : 3,0 kg Cl^- pr. $\text{m}^3 \sim 0,1\%$
Forspændt beton : 0,9 kg Cl^- pr. $\text{m}^3 \sim 0,04\%$

	<u>Beton</u> <u>uarmeret</u>	<u>Beton</u> <u>traditionelt armeret</u>	<u>Beton</u> <u>forspændt</u>
Cl^- kg/ m^3	4,8	3,0	0,9
Cl^- % af betonvægt	0,2%	0,1%	0,04%
Cl^- % af cementvægt	1,6%	1,0%	0,3%

MØRTELPRISME-EKSPANSION



Sandets alkaliekspansion

Denne måles ved registrering af ekspansionen af mørtelprismer lagret ved 50°C i en saltopløsning.

Analysen forløber over en periode af 20 uger.

Baseret på krav, der idag normalt stilles til velegnet betonsand (ekspansion efter 8 uger < 1 o/oo) findes det nedknuste materiale 0/4 mm egnet.

6.2.3 Genbrugsbeton på basis af nedknust materiale
 Chr. X's Allé, Lyngby-Taarbæk Kommune

Betonsammensætning

<u>Prøvebetegnelse</u>	<u>Blanding nr. 4 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 7 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
Lavalkalicerment	318 kg	313 kg	305 kg
Mikrosilica	15 kg	15 kg	15 kg
Totalmateriale, nedknust	1071 kg	1106 kg	1152 kg
4/32 mm	671 kg	560 kg	660 kg
0/4 mm	132 kg	130 kg	126 kg
Vand	4 kg		4 kg
SPT, 35%		4 kg	

Betonerne er sammensat med henblik på opnåelse af konsistens og bearbejdighed på niveau med den valgte referencebeton, der er proportioneret med henblik på udlægning med slipform paver.

Frisk-beton analyse

Målt luftindhold	6,5 %	8,5 %	8,5 %
Målt rumvægt	2208 kg/m ³	2125 kg/m ³	2260 kg/m ³
Sætmål	2,5 cm	3,0 cm	2,5 cm

Betonstyrker og E-modul

<u>Materialeegenskab</u>	<u>Blanding nr. 4 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 7 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
Trykstyrke Ø 15x30 4 uger	48,1 MPa	44,2 MPa	40,6 MPa
Trækstyrke Ø 15x30 11 uger	2,8 MPa	2,6 MPa	2,7 MPa
E-modul Dynamisk, 8 uger	42,0 x 10 ³ MPa	40,4 x 10 ³ MPa	44,1 x 10 ³ MPa

E_{dyn} er beregnet på grundlag af:

$$E_{\text{dyn}} = k \times D_{\text{ssd}} \times V$$

hvor D_{ssd} = betonprøvens densitet kg/m³

V = Lydhastighed (densitetsprøve) i km/sek

$$k = \frac{(1 + u)(1 - 2u)}{1 + u}$$

u = Poisson's forhold. Her sat til 0,2.

Det skal bemærkes, at det dynamiske E-modul normalt er ca. 30% større end det statiske E-modul.

Svindmålinger, betonbjælker 600x100x100 mm. o/oo

<u>Måletidspunkt og lagringsbetingelser</u>	<u>Blanding nr. 4 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 7 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
0 dg, 100% rel.fugtigh.	0,00	0,00	0,00
30 dg, 100% " "	0,04	0,03	0,03
33 dg, 50% " "	0,08	0,08	0,08
40 dg, 50% " "	0,14	0,14	0,11
131 dg, 50% " "	0,43	0,41	0,28

Strukturanalyser

På de 5 laboratorieudstøbte prøver er gennemført strukturanalyser bestående af en mikroskopisk analyse af tyndslib ved fluouescens- og polarisationsmikroskopi samt en luftporeanalyse efter lineær travers metoden, ASTM C 457.

Væsentlige forhold er fremhævet i nedenstående opstilling, idet tilsvarende værdier for referencebetonen samtidig er anført til sammenligning:

<u>Strukturparametre</u>	<u>Blanding nr. 4 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 7 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
Kapillarporøsitet v/c-tal	0,35-0,40	0,35-0,40	0,35-0,40
Pastahomogenitet	ensartet	ensartet	ensartet
Luftindhold %	5,3	6,3	6,5
Specifik overflade, mm ⁻¹	30	34	40
Afstandsfaktor, mm	0,15	0,12	0,10
Grove revner	ingen	ingen	ingen
Pastarevner	få	få	få
Revner mellem ny mørtel og knust tilslag	få	få	-

Konkluderende om betonernes mikrostruktur kan det anføres, at blanding 0,4 og 7 i strukturmæssig henseende må karakteriseres som stort set identiske, når bortses fra struktur af stentilslag. Sammenholdt med de krav, der normalt stilles til belægningsbeton i aggressiv miljøklasse, fører den udførte strukturanalyse til accept af alle 3 blandinger.

Frost/tø-prøvning

På betonprismer udsavet af laboratoriefremstillede prøver er gennemført en cyklisk frostbelastning af betonerne efter Dubrolubov-Romer's metode.

Resultatet af denne prøvning er vist senere i nærværende afsnit, og kan konkluderes således:

<u>Betonblanding</u>	<u>Prøvningskarakter</u>
0, referencebeton	Høj frostbestandighed
4, mat. > 4 mm	Høj frostbestandighed
7, totalmaterialet	Høj frostbestandighed

Herudover er på Ø 10x20 cm laboratoriefremstillede cylindre gennemført en afprøvning af frost/tø bestandigheden i henhold til RILEM anbefaling "Methods of Carrying out and Reporting Freeze Thaw tests on Concrete without De-icing Chemicals".

Frostbestandigheden bedømmes på grundlag af måling af ændring i lydha-
stigheden (Fuldständig prøvningsmetode er anført i delrapport 4).

De gennemførte målinger peger mod samme frostbestandighed for alle 3 ovenfor anførte betontyper.

Alkalikisel prøvning

Med henblik på konstatering af mulig alkalikiselreaktivitet i de fremstil-
lede betoner, er gennemført en forsøgsserie, hvorunder betonprøver Ø
10x20 cm cylindre er lagret i mættet NaCl-opløsning ved 50°C i 8 uger.

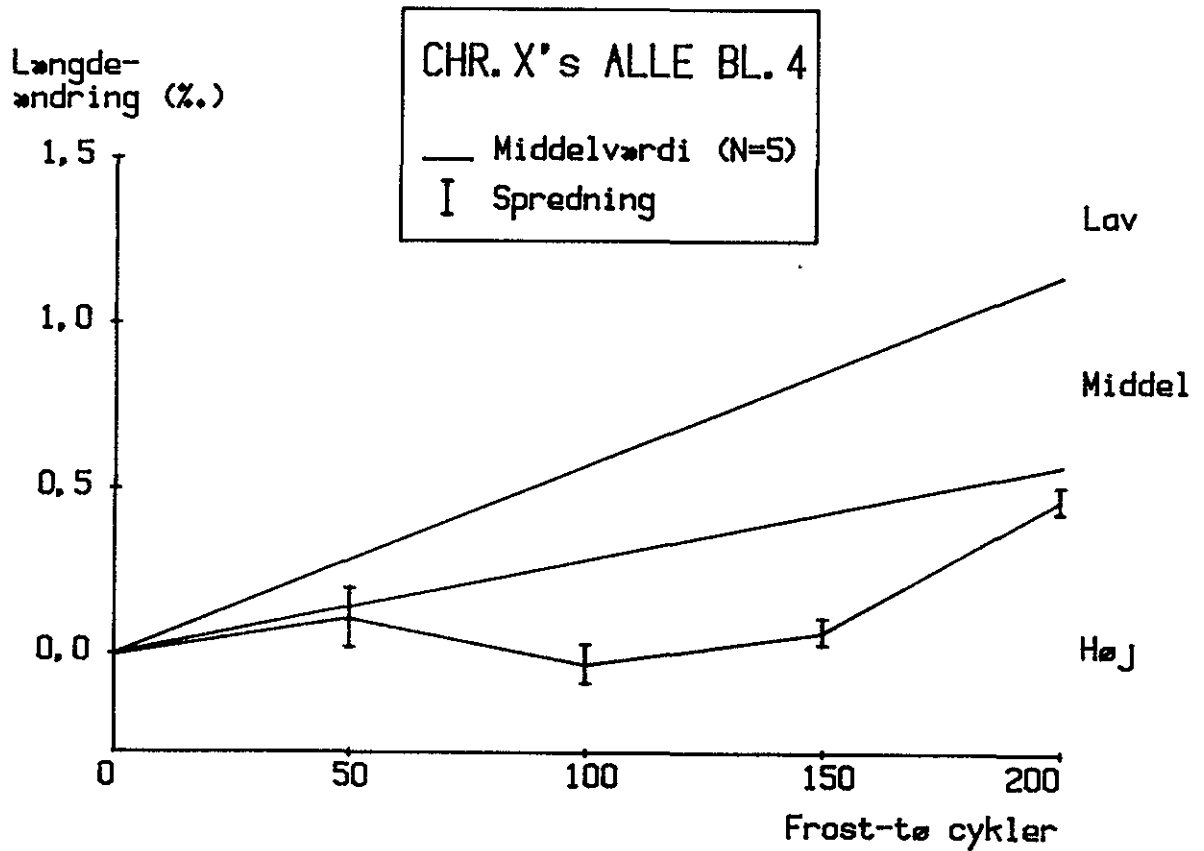
Herefter er lydastigheden målt og sammenlignet med lydastigheden i
kontrolprøver lagret i vand ved 20°C i samme periode.

Der kan konstateres en reduktion i hastigheden på 3% i genbrugsbetoner
lagret i NaCl-opløsningen i forhold til kontrolprøverne.

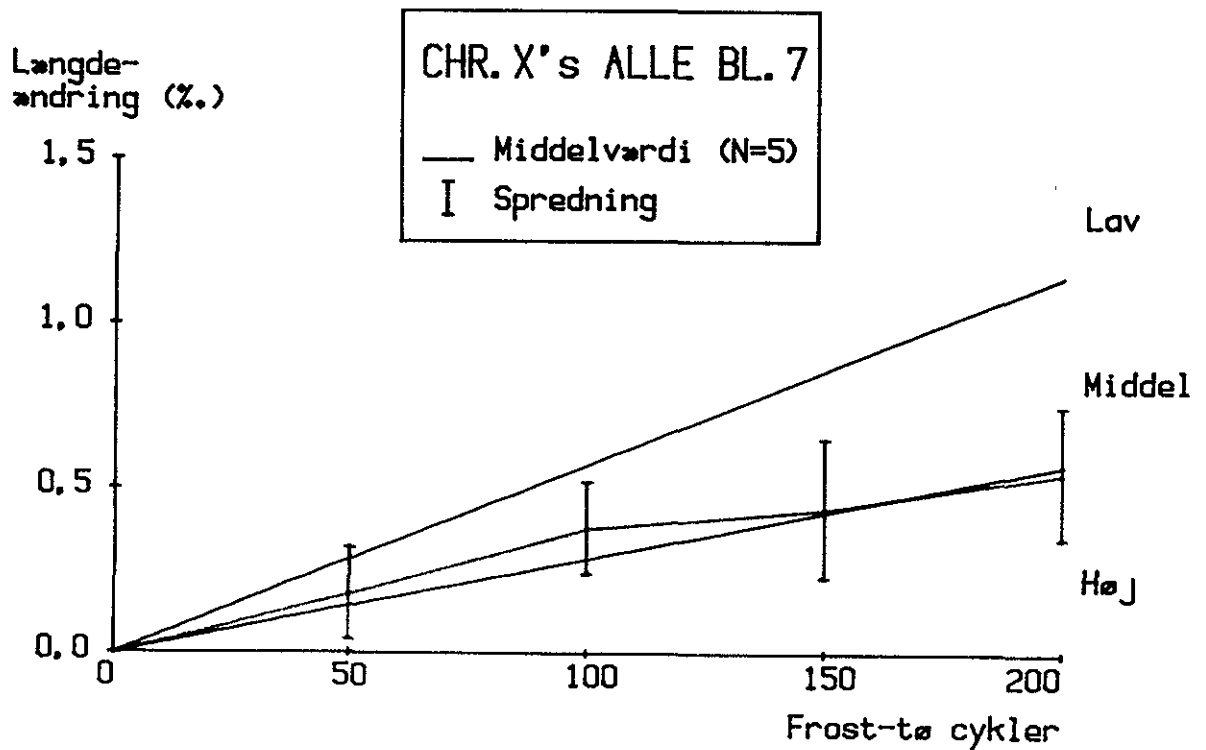
For referencebetonen kan tilsvarende konstateres en reduktion i lydastig-
heden på 1%.

Prøverne fremtræder iøvrigt intakte, og det vurderes, at prøverne har
vist ringe alkalikiselreaktivitet, hvilket er i god overensstemmelse med
den prøvning, der er udført på det nedknuste sand.

FROST-TØ PRØVNING (Dobrolubov Romer)



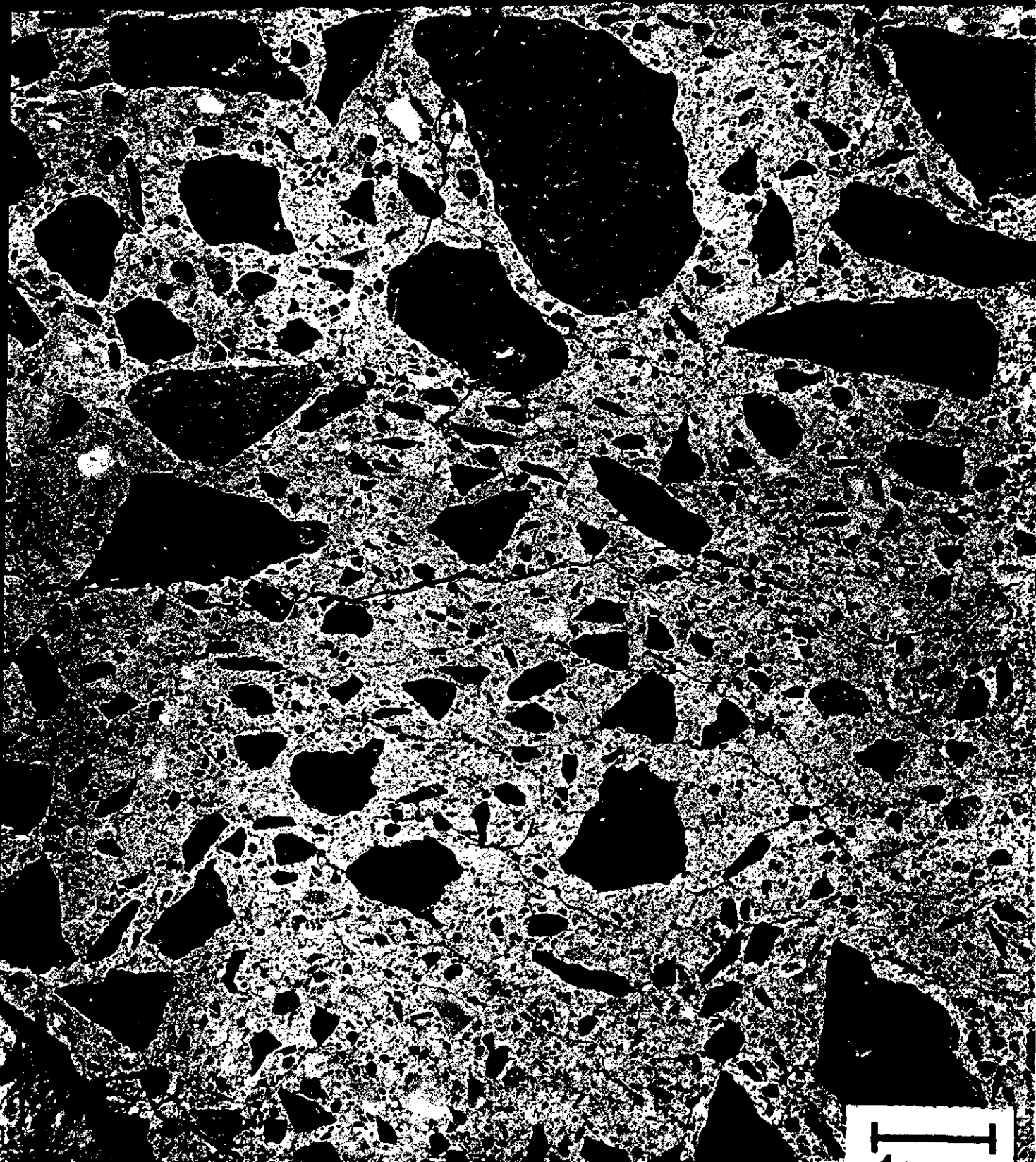
FROSTBESTÅNDIGHED



FROSTBESTÅNDIGHED

SYDMOTORVEJEN,

Cordosa - Dyrehavehus 1968 - 69



6.3.1 SYDMOTORVEJEN: BESKRIVELSE AF BELÆGNING FØR OPBRYDNING

Strækning	: Cordoza-Dyrehavehus
Udførelsestidspunkt:	Lellinge-Dyrehavehus, aug.-september 1968 Cordoza-Lellinge, juni-juli 1969
Entreprenør	: August Jørgensen & Troelsen A/S
Længde	: 15,1 km i 2x2 spor
Pladebredde	: 2x7,5 m
Pladetykkelse	: 20 cm
Iværfuger	: Pr. 5 m. Skrå 1:6. Savning. Bredde 3 mm dybde 40 mm. Fugeforsegling
Længdefuge	: Fugebånd 35 mm. Forankringsjern KSø10, L=0,6 pr. 1 m
Armering	: %
Dyvler	: %
Udlægning	: Slipformpaver. SGME
Komprimering	: Vibrering
Cement	: 330 kg/m ³ rapid
Sand	: 550 kg/m ³ Sorø (14% kalk)
Filler	: 50 kg/m ³ stenmel 0/0,5 mm
Sten	: 275 kg/m ³ søsten 2/5 mm
Sten	: 975 kg/m ³ Rønnegranit 8/30 mm
Vand v/c	: 165 l/m ³ /0,50
Luft.Dos.%	: 0,35 l/m ³ , 4.6 +/- 0,6% i frisk beton
Plastificering	: 0,9 l/m ³
Rumvægt	: 2380 kg/m ³ (målt)
Sætmål/vebe	: 1,6 +/- 0,8 cm/7,0 +/- 3,1 sek.
Spaltetrækstyrke	: 30 +/- 1,8 kg/cm ²
Underlag	: 15 cm cementstabiliseret sand

Bemærkninger: Betondata for strækning udført i 1969.

Strækningen Lellinge-Dyrehavehus blev i 1983 forsynet med nyt slidlag, 80 kg m² AB, som følge af polering og nedsat friktion.

Strækningen Cordoza-Lellinge blev i 1975 tilsvarende forsynet med nyt slidlag, 100 kg/m² AB.

Årsagen til det tykkere asfaltslidlag var, at der udover friktionsproblemer også var begyndende nedbrydning af betonoverfladen med en del afskalninger til følge.

I 1985 blev ca. 4½ km af den sydgående kørebane på strækningen Lellinge-Dyrehavehus renoveret ved, at asfaltslidlaget og ca. 2 cm af betonoverfladen blev affræset og derefter belagt med nyt asfaltlidlag.

Sydmotorvejen, Cordoza-Dyrehavehus

STRUKTURANALYSE

Der er udtaget et antal borekerner i 1973. I 1985 er der gennemført strukturanalyse (3 tyndslib) og luftporemåling på 2 af disse kerner (s 6 og s 14). Det er denne undersøgelse, der refereres i det følgende.

- Sten: Mørk knust klippegranit (Rønne). Lavt indhold i betonens øverste del.
- Sand: Sandet har en meget blandet sammensætning og indeholder ud over kvarts, granitfragmenter m.v., en del kalk og flint samt lidt glimmer og enkelte lerklumper. Kornformen er kantet til afrundet, og fillerindholdet højt. Der er mange porøse alkali-reaktive korn i sandet. Der ses en del indre alkalikiselreaktioner i kornene, men næsten ingen gelfyldte revner i betonen.
- Cement: Cementen er en Portland-cement med høj hydratiseringsgrad. Cementen forekommer finkornet.
- Pasta: Ca(OH)_2 ses som grove krystaller i pasta og porer. Der er tegn på bleeding og pastaen forekommer lidt udludet. Pastaindholdet er stedvis højt.
- Porøsitet: Kapillarporøsiteten, vurderet ud fra fluorescens-imprægneringen svarer til et vandcementtal på ca. 0,50. Pastaen kan forekomme lidt inhomogen.
- Luftporer: Der ses næsten intet indkapslet luft. Indholdet af små kugleporer er ret lavt i s 6. Poremåling på de 2 kerner har givet følgende resultat:
- | | |
|--------------------|---------------------------|
| Luftindhold total | 2,8 og 4,0% |
| Luftindhold > 2 mm | 0,7 og 0,9% |
| Specifik overflade | 24 og 29 mm^{-1} |
| Afstandsfaktor | 0,27 og 0,18 mm |
- Revner: Der er mange grove revner (0,01 - 0,1 mm) i betonen. Revnerne er overvejende overfladeparallele, men i selve overfladen ses revner ind i betonen. Revnerne går stedvis gennem tilslag. Ud over de grove revner ses også en del mikrorevner. Der er færre revner i s 6 end i s 14.
- Nedbrydning: Karbonatiseringsdybden er 1-4 mm samt dybere langs grove revner.
- Alkalikiselreaktioner ses ikke i skadeligt omfang, trods det reaktive sand. Der ses lidt alkalikisegel i enkelte revner og porer. Ettringit som porefyldning ses i nogen udstrækning i s 14, men ikke i s 6. I s 14 ses calcit (CaCO_3) i nogle af de grove revner.

Vurdering: En luftindblandet beton med alkalireaktivt sand og tendens til bleeding og stenseparation. Vandcementtallet er ret højt.

Betonen var på undersøgelsestidspunktet under nedbrydning som følge af fugtbelastning m.v..

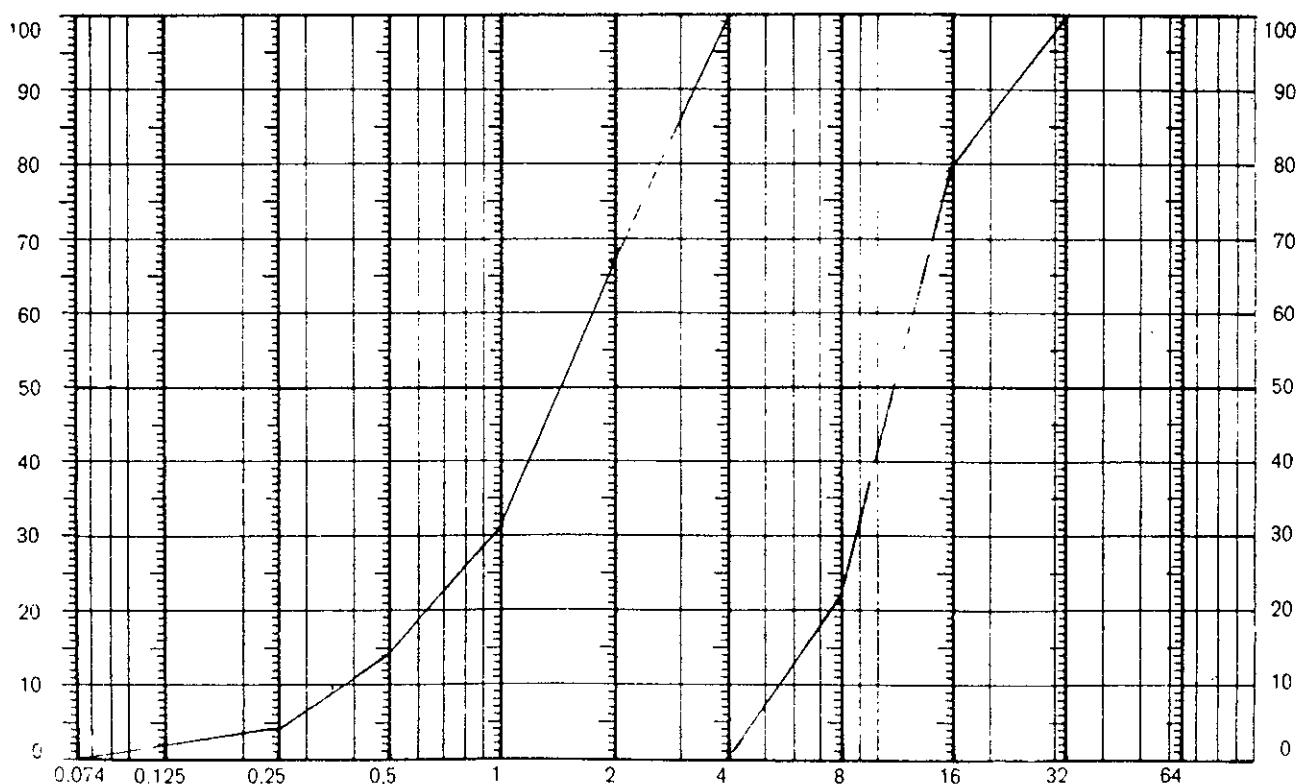
6.3.2 Laboratorieundersøgelse af det nedknuste materiale

Sigteanalyse

Materialet er efter opbrydning nedknust med k be- og kegleknusere til et produkt med max. kornstørrelse 32 mm.

Den gennemsnitlige kornkurve har følgende udseende, idet sand- og stenfraktionerne er angivet separat:

<u>Sigte</u> <u>mm</u>	<u>Gennemfald % (vægt)</u>	
	<u>Sand 0/4</u>	<u>Sten 4/32</u>
32		100
16		80
8		21
4	100	0
2	67	
1	31	
0,5	14	
0,25	4	
0,074	0	



Kornform

Med henblik på en bedømmelse af det nedknuste materiales egnethed som stentilslæg i kvalitetsbeton er udført analyse af kornform for fraktionerne 8/16 mm og 16/32 mm i henhold til DS 405.6.

De fundne værdier er sammenlignet med et på det danske marked almindeligt anvendt produkt bestående af knust klippegranit (Rønnegranit, blå):

<u>Kornform/ fraktion</u>	<u>Kubiske %</u>	<u>Flade %</u>	<u>Lange %</u>	<u>Flade og lange %</u>
8/16 mm	84	8	8	0
16/32 mm	90	8	2	0

Klippegranit

8/16 mm	87	13	0	0
16/32 mm	83	15	2	0

På grundlag af kornform kan materialet betegnes som velegnet til anvendelse som tilslag i højkvalitetsbeton.

Mørtel/sten-fordeling, densitet og absorption

Der henvises til delrapport 3 vedrørende bestemmelse af absorption og densitet.

For 4/8 mm materialet er forsøgt en bestemmelse af forholdet mellem mørtel og naturligt stenmateriale ved punkttælling af tyndslib.

Analysen har givet følgende resultat:

<u>Materiale fraktion</u>	<u>Andel af mørtel vol.%</u>	<u>Omregnet vægt%</u>	<u>Ved densitetsbestemmelse vægt%</u>
4/8	64	58	54

Pasta/sand-fordeling i det nedknuste sand

Analysen er foretaget ved tyndslibsmikroskopi og punkttælling af fraktionerne hver for sig.

Resultatet er et gennemsnit af 5 målinger, repræsenterende for 0/2 mm-fraktionen ca. 10.000 punkter og for 2/4 mm-fraktionen ca. 1.000 sandskorn.

<u>Fraktion</u>	<u>Pastavolumen</u>	<u>naturligt sandvolumen</u>	<u>ifølge recept</u>
0/2 mm	43%	57%	44/56
2/4	37%	63%	44/56

Ifølge mørtel/sten-analysen, som den fremgår af densitetsmålingerne, må forventes en andel af nedknuste sten i 0/4 mm-fraktionen på 36% vægt.

Det vil sige, at sammensætningen af det undersøgte sand, ifølge teoretiske beregninger på grundlag af den oprindelige recept, vil være:

Cement	320 vægtdele	102 volumendele
Vand	165 "	165 "
Sand	875 "	337 "
Knuste sten	484 "	179 "

Det teoretisk beregnede forhold mellem pasta og sand i det nedknuste sand er således 34% pasta og 66% sand.

Ifølge den petrografiske analyse fandtes i gennemsnit (vægtet) en pastaandel i sandet på 39%.

flintindhold

Ved petrografisk punkttælling af fluorescensimprægnerede tyndslib er foretaget en analyse af det nedknuste sandmateriales indhold af muligt alkalireaktive bestanddele.

Analysens resultat angives som et gennemsnit af tællinger på 5 tyndslib og repræsenterer i lighed med tællinger for pasta/sand-forhold følgende:

0/2 mm-fraktionen indgår med ca. 10.000 punkter
2/4 mm-fraktionen indgår med ca. 10.000 punkter
i ca. 1.000 korn
4/8 mm-fraktionen indgår med ca. 10.000 punkter
i ca. 300 korn.

I analysen er et sammensat korn optalt i henhold til dets sammensætning, d.v.s. den petrografiske vurdering er foretaget alene i det punkt, der markeres af mikroskopets trådkors.

Resultatet er følgende:

<u>Fraktion</u> <u>mm</u>	<u>Flintindhold</u> <u>ialt %</u>	<u>Tæt Calcedon</u> <u>%</u>	<u>Porøs Calcedon</u> <u>%</u>	<u>Opal</u> <u>%</u>
0/2 mm	12,5	8,2	1,5	2,8
2/4 mm	13,3	7,8	2,4	3,1
4/8 mm	10,6	4,7	1,4	4,5

Indholdet af porøs flint og specielt af Opal flint er højt.

Kloridindholdsbestemmelse

Idet DS 411 indeholder bestemmelse om den max. tilladelige mængde kloridioner (vandopløselige klorider) er foretaget en analyse af kloridindholdet i det nedknuste materiale.

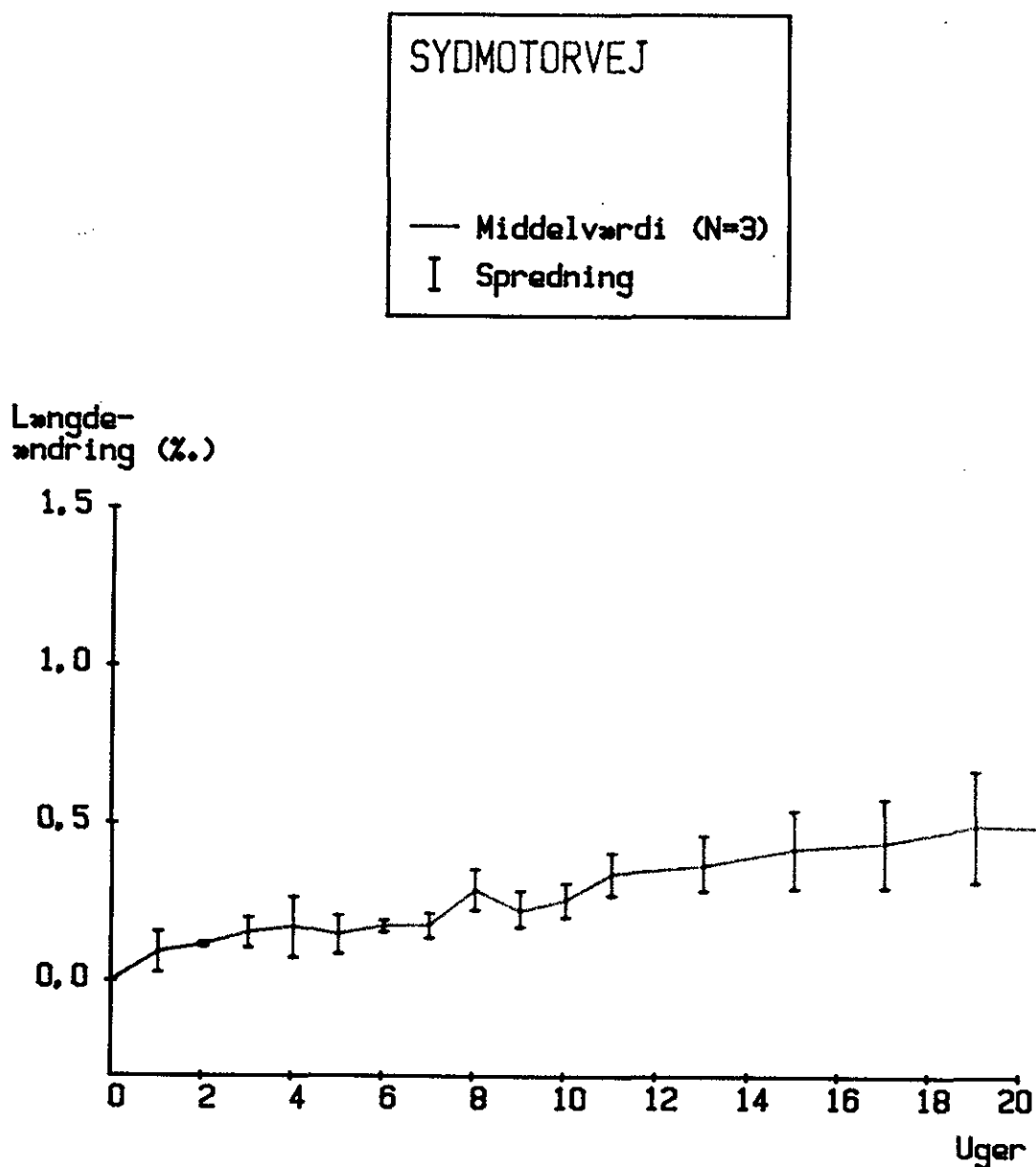
Indholdet er bestemt som mængden af Cl^- i % af den undersøgte prøve (vægt%).

Resultatet angives her som et gennemsnit af 5 analyser:

<u>Fraktion</u> <u>mm</u>	<u>Cl^-</u> <u>vægt-%</u>
8/32	0,015
4/8	0,023
0/4	0,022

Kloridindholdet er lavt i forhold til krav i DS 411 til max. indhold i uarmerede betonkonstruktioner.

MØRTELPRISME-EKSPANSION



Sandets alkaliekspansion

Denne måles ved registrering af ekspansionen af mørtelprismer lagret ved 50°C i en saltopløsning.

Analysen forløber over en periode af 20 uger.

Baseret på krav, der idag normalt stilles til velegnet betonsand (ekspansion efter 8 uger < 1 o/oo) findes det nedknuste materiale 0/4 mm egnet.

6.3.3 Genbrugsbeton på basis af nedknust materiale
 SYDMOTORVEJEN CORDOZA-DYREHAVI HUS

Betonsammensætning

Prøvebetegnelse	Blanding nr. 1 mat. > 4 mm	Blanding nr. 6 Totalmaterialet	Blanding nr. 0 Referencebeton
Lavalkalimento	310 kg	316 kg	305 kg
Mikrosilica	14 kg	15 kg	15 kg
Totalmateriale, nedknust			
4/32 mm	1021 kg	1116 kg	1152 kg
0/4 mm	636 kg	565 kg	660 kg
Vand	128 kg	131 kg	126 kg
SPI, 35%	4 kg	4 kg	4 kg

Betonerne er sammensat med henblik på opnåelse af konsistens og bearbejdelighed på niveau med den valgte referencebeton, der er proportioneret med henblik på udlægning med slipform paver.

Frisk-beton analyse

Målt luftindhold	8,3 %	7,2 %	8,5 %
Målt rumvægt	2099 kg/m ³	2143 kg/m ³	2260 kg/m ³
Sætmål	3,5 cm	2,0 cm	2,5 cm

Betonstyrker og E-modul

Materialeegenskab	Blanding nr. mat. > 4 mm	Blanding nr. totalmateriale	Blanding nr. 0 Referencebeton
Trykstyrke Ø 15x30 4 uger	45,4 MPa	41,9 MPa	40,6 MPa
Trækstyrke Ø 15x30 11 uger	2,6 MPa	2,6 MPa	2,7 MPa
E-modul Dynamisk, 8 uger	38,3 x 10 ³ MPa	37,9 x 10 ³ MPa	44,1 x 10 ³ MPa

E_{,dyn} er beregnet på grundlag af:

$$E_{,dyn} = k \times D_{,ssd} \times V$$

hvor $D_{,ssd}$ = betonprøvens densitet kg/m³

V = Lydhastighed (densitetsprøve) i km/sek

$$k = \frac{(1 + u)(1 - 2u)}{1 + u}$$

u = Poisson's forhold. Her sat til 0,2.

Det skal bemærkes, at det dynamiske E-modul normalt er ca. 30% større end det statiske E-modul.

Svindmålinger, betonbjælker 600x100x100 mm. o/oo

<u>Måletidspunkt og lagringsbetingelser</u>	<u>Blanding nr. 1 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr.6 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
0 dg, 100% rel.fugtigh.	0,00	0,00	0,00
30 dg, 100% " "	0,00	0,02	0,03
33 dg, 50% " "	0,07	0,04	0,08
40 dg, 50% " "	0,14	0,13	0,11
131 dg, 50% " "	0,43	0,43	0,28

Strukturanalyser

På de 5 laboratorieudstøbte prøver er gennemført strukturanalyser bestående af en mikroskopisk analyse af tyndslib ved fluourescens- og polarisationsmikroskopi samt en luftporeanalyse efter lineær travers metoden, ASTM C 457.

Væsentlige forhold er fremhævet i nedenstående opstilling, idet tilsvarende værdier for referencebetonen samtidig er anført til sammenligning:

<u>Strukturparametre</u>	<u>Blanding nr. 1 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr.6 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
Kapillarporøsitet v/c-tal	0,35-0,40	0,35-0,40	0,35-0,40
Pastahomogenitet	ensartet	ensartet	ensartet
Luftindhold %	7,4	5,8	6,5
Specifik overflade, mm ⁻¹	40	47	40
Afstandsfaktor, mm	0,08	0,09	0,10
Grove revner	ingen	ingen	ingen
Pastarevner	få	få	få
Revner mellem ny mørtel og knust tilslag	få	få	-

Konkluderende om betonernes mikrostruktur kan det anføres, at blanding 0, og 6 i strukturmæssig henseende må karakteriseres som stort set identiske, når bortses fra struktur af stentilslag. Sammenholdt med de krav, der normalt stilles til belægningsbeton i aggressiv miljøklasse, fører den udførte strukturanalyse til accept af alle 3 blandinger.

Frost/tø-prøvning

På betonprismer udsavet af laboratoriefremstillede prøver er gennemført en cyklisk frostbelastning af betonerne efter Dubrolubov-Romer's metode.

Resultatet af denne prøvning er vist senere i nærværende afsnit, og kan konkluderes således:

<u>Betonblanding</u>	<u>Prøvningskarakter</u>
0, referencebeton	Høj frostbestandighed
1, mat. > 4 mm	Høj frostbestandighed
6, totalmaterialet	Høj frostbestandighed

Herudover er på Ø 10x20 cm laboratoriefremstillede cylindre gennemført en afprøvning af frost/tø bestandigheden i henhold til RILEM anbefaling "Methods of Carrying out and Reporting Freeze Thaw tests on Concrete without De-icing Chemicals".

Frostbestandigheden bedømmes på grundlag af måling af ændring i resonansfrekvensen. (Fuldstændig prøvningsmetode er anført i delrapport 4).

De gennemførte målinger peger mod samme frostbestandighedsniveau for alle 3 ovenfor anførte betontyper. Der registreres dog en lidt ringere frostbestandighed efter denne metode for beton fremstillet under anvendelse af totalmaterialet.

Alkalisk prøvning

Med henblik på konstatering af mulig alkalisk reaktivitet i de fremstillede betoner, er gennemført en forsøgsserie, hvorunder betonprøver Ø 10x20 cm cylindre er lagret i mættet NaCl-opløsning ved 50°C i 8 uger.

Herefter er lydhastigheden målt og sammenlignet med lydhastigheden i kontrolprøver lagret i vand ved 20°C i samme periode.

Der kan konstateres en reduktion i hastigheden på 3 henhv. 4% i genbrugsbetoner lagret i NaCl-opløsningen i forhold til kontrolprøverne.

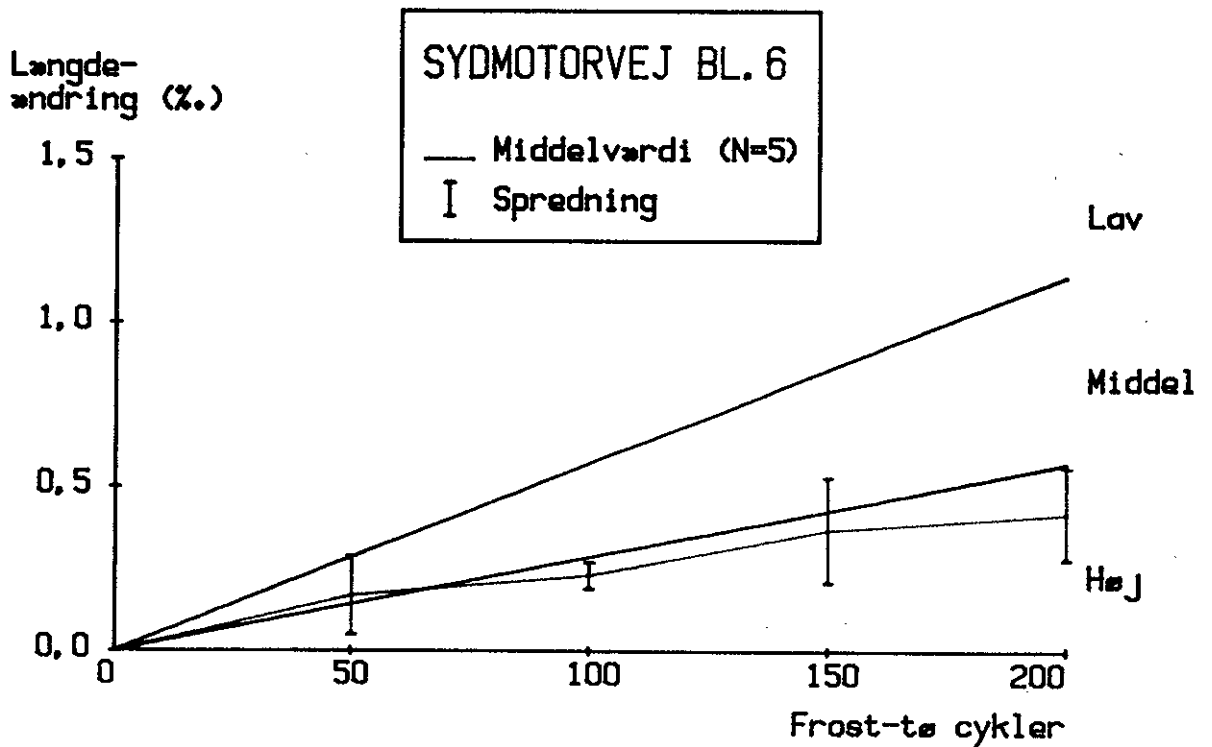
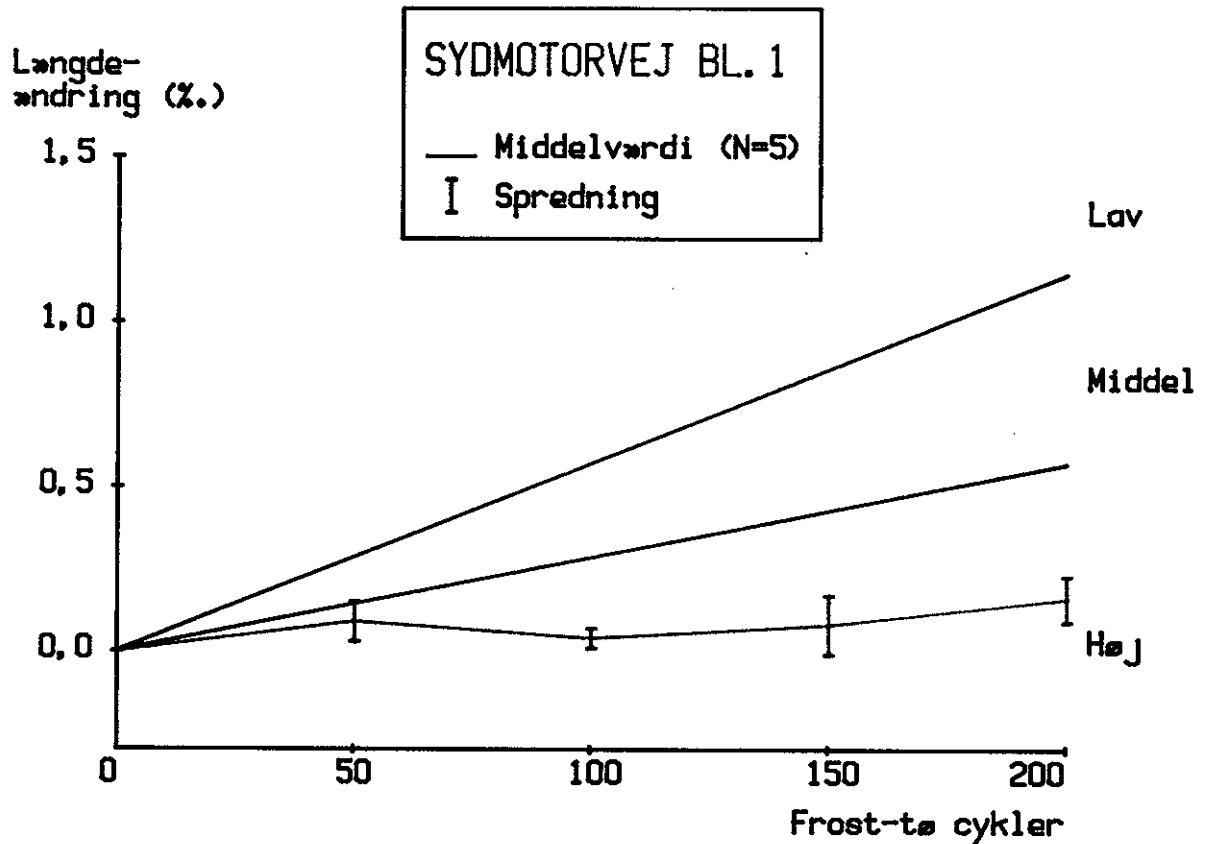
For referencebetonen kan tilsvarende konstateres en reduktion i lydhastigheden på 1%.

Prøverne er tilsyneladende intakte, men måling af lydhastigheden afslører en vis revnedannelse som følge af alkaliske reaktioner. Disse observationer harmonerer med de forventninger, man måtte have på grundlag af den petrografiske analyse af sandfraktionen.

Den gennemførte ekspansionsmåling af mørtelprismer viser nok en højere reaktion end for materialerne 1 og 2, men dog en ekspansion efter 20 uger, der befinder sig komfortabelt under gældende kravgrænser.

Det kan således konstateres, at resultaterne giver anledning til en mere indgående undersøgelse af disse forhold.

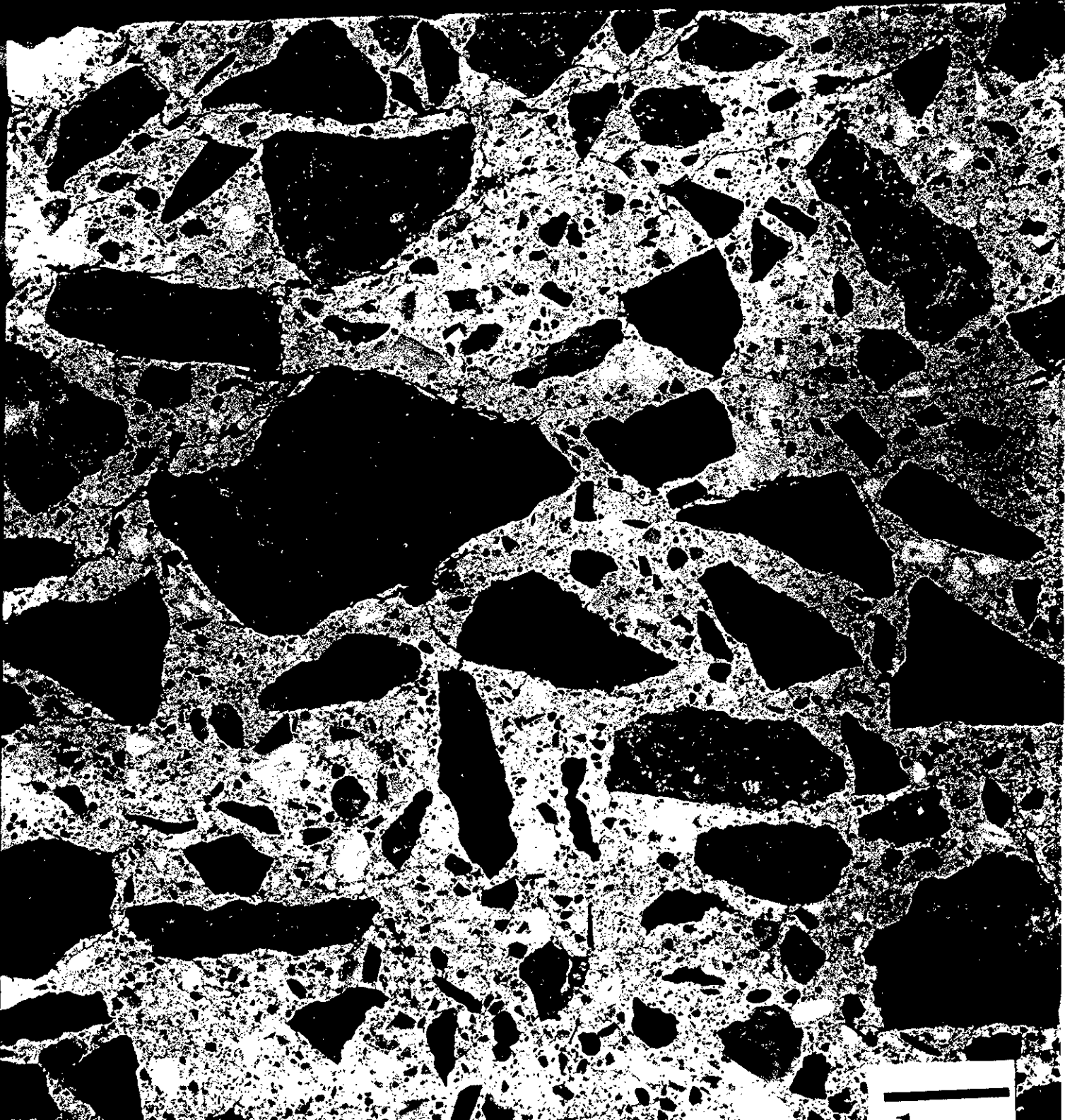
FROST-TØ PRØVNING (Dobrolubov Romer)



FROSTBESTÅNDIGHED

FROSTBESTÅNDIGHED

MOTORRINGVEJEN, Buddinge -Ring III 1968



6.4.1 MOTORRINGVEJEN: BESKRIVELSE AF BELAGNING FØR OPBRYDNING

Strækning	: Buddinge-Ring III
Udførelsestidspunkt:	Maj-juni 1968
Entreprenør	: August Jørgensen & Troelsen A/S
Længde	: 4,2 km i 2x2 spor
Pladebredde	: 2x7,5 m
Pladetykkelse	: 20 cm
Tværfuger	: Pr. 5 m. Skrå 1:6. Savning. Bredde 3 mm, dybde 40 mm. Fugeforsegling
Længdefuger	: Fugebånd 35 mm. Forankringsjern KSø10, L=0,6 m pr. 1 m
Armering	: %
Dyvler	: %
Udlægning	: Slipformpaver. SGME
Komprimering	: Vibrering
Cement	: 320 kg/m ³ rapid
Sand	: 747 kg/m ³ Hedehusene (20% kalk)
Filler	: 53 kg/m ³ stenmel
Sten	: 1020 kg/m ³ klippegranit 4/32
Vand v/c	: 175 l/m ³ /0,55
Luft.Dos/%	: 0,3 l/m ³ , 6,9 +/- 0,6% i frisk beton
Plastificering	: 0,9 l/m ³
Rumvægt	: 2270 kg/m ³ (målt)
Sætmål/vebe	: 3,2 +/- 0,3 cm/3,1 +/- 0,7 sek.
Spaltetrækstyrke	: 35 +/- 6,2 kg/cm ²
Underlag	: 18 cm cementstabilisering

Bemærkninger: Belægningen blev i 1972 belagt med 55 kg/m² AB bindelag + 90 kg/m² ABS på grund af afskalninger og nedsat friktionsegenskaber. Hele belægningen blev fjernet i 1983 på grund af nedbrydning primært som følge af alkalikiselreaktioner.

Motoringvejen, Buddinge-Ring III

STRUKTURANALYSE

Der er udtaget borekerner i 1972 og i 1977. En nærmere undersøgelse af udvalgte kerner er gennemført i 1977, omfattende bl.a. 7 luftporemålinger og 4 tyndslib, udtaget fra top (3) og bund (1) af 3 kerner. Den følgende rapportering er en sammenfatning af ovennævnte undersøgelse.

- Sten: Mørk knust klippegranit (Rønne), normalt stenindhold.
- Sand: Sandet indeholder ud over kvarts m.v. en del flint og kalk. Der ses enkelte lerklumper. Der er mange alkalireaktive korn og mange alkalikiselreaktioner. Kornformen er kantet og fillerindholdet normalt.
- Cement: Cementen er en Portland-cement med meget høj hydratiseringsgrad. Der er kun lidt uhydratiseret cement.
- Pasta: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ forekommer som små velfordelte krystaller i pastaen og grove krystaller i vedhæftningsrevner. Normalt pastaindhold.
- Porøsitet: Kapillarporøsiteten, vurderet ud fra fluorescensimprægneringen svarer til et vandcementtal på 0,45 - 0,5 og er rimelig homogen.
- Luftporer: Betonen er luftindblandet, og luftindholdet højt. Poremålingerne har givet følgende grænseværdier.
- | | |
|--------------------|------------------------|
| Luftindhold total | 4,8-10,8% |
| Specifik overflade | 36-54 mm ⁻¹ |
| Afstandsfaktor | 0,07-0,12 mm |
- Revner: Der ses en del grove revner (over 0,1 mm), der overvejende er overfladeparallelle. Desuden ses en del fine revner og mikrorevner, bl.a. med relation til reaktive sandkorn. Der ses såvel alkalikiselgel som ettringit i revnerne.
- Nedbrydning: Karbonatiseringsdybden er 2-5 mm.
- Alkalikiselreaktioner ses i betydeligt omfang og er væsentlige for nedbrydningen. Fugtbelastningen har ført til nogen omdannelse af cementpastaandele til ettringit i porer og revner.
- Vurdering: En luftindblandet, rimelig homogen beton med alkalireaktivt sand.
- Betonen var på undersøgelsestidspunktet under nedbrydning som følge af alkalikiselreaktioner og fugtbelastning.

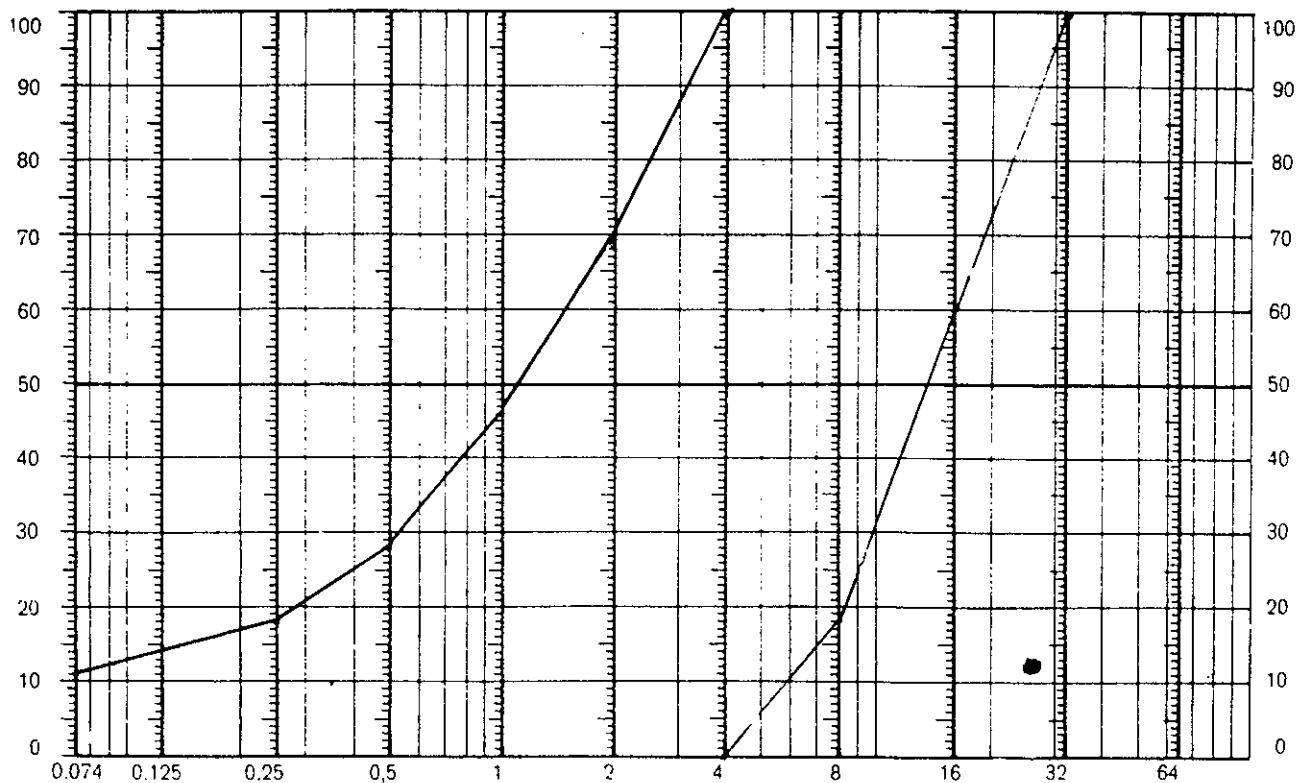
6.4.2 Laboratorieundersøgelse af det nedknuste materiale

Sigteanalyse

Materialet er efter opbrydning nedknust med k be- og kegleknusere til et produkt med max. kornstørrelse 32 mm.

Den gennemsnitlige kornkurve har følgende udseende, idet sand- og stenfraktionerne er angivet separat:

Sigte mm	Gennemfald% (vægt)	
	Sand 0/4	Sten 4/32
32		100
16		60
8		18
4	100	0
2	69	
1	46	
0,5	28	
0,25	18	
0,074	11	



Kornform

Med henblik på en bedømmelse af det nedknuste materiales egnethed som stentilslag i kvalitetsbeton er udført analyse af kornform for fraktionerne 8/16 mm og 16/32 mm i henhold til DS 405.6.

De fundne værdier er sammenlignet med et på det danske marked almindeligt anvendt produkt bestående af knust klippegranit (Rønnegranit, blå):

<u>Kornform/ fraktion</u>	<u>Kubiske %</u>	<u>Flade %</u>	<u>Lange %</u>	<u>Flade og lange %</u>
8/16 mm	89	6	5	0
16/32 mm	85	6	4	1

<u>Klippegranit</u>				
8/16 mm	87	13	0	0
16/32 mm	83	15	2	0

Materialet kan med hensyn til kornform sidestilles med almindeligt forekommende tilslagsmateriale af høj kvalitet.

Mørtel/sten-fordeling, densitet og absorption

Der henvises til delrapport 3 vedrørende bestemmelse af absorption og densitet.

For 4/8 mm-materialet er forsøgt en bestemmelse af forholdet mellem mørtel og naturligt stenmateriale ved punkttælling af tyndslib.

Analysen har givet følgende resultat:

<u>Materiale fraktion</u>	<u>Andel af mørtel vol.%</u>	<u>Omregnet vægt%</u>	<u>Ved densitetsbestemmelse vægt%</u>
4/8	64	58	71

Pasta/sand-fordeling i det nedknuste sand

Analysen er foretaget ved tyndslibsmikroskopi og punkttælling af fraktionerne hver for sig.

Resultatet er et gennemsnit af 5 målinger repræsenterende for 0/2 mm-fraktionen ca. 10.000 punkter og for 2/4 mm-fraktionen ca. 1.000 sandskorn.

<u>Fraktion</u>	<u>Pastavolumen</u>	<u>Naturligt sandvolmen</u>	<u>Ifølge recept</u>
0/2 mm	16% *	84%	47/53
2/4 mm	40%	60%	47/53

Ifølge mørtel/sten-analysen, som den fremgår af densitetsmålingerne, må forventes en andel af nedknuste sten i 0/4 mm-fraktionen på 29% vægt.

Det vil sige, at sammensætningen af det undersøgte sand, ifølge teoretiske beregninger på grundlag af den oprindelige recept, vil være:

Cement	320 vægtdele	102 volumendele
Vand	175 "	175 "
Sand	800 "	313 "
Knuste sten	529 "	195 "

Det teoretisk beregnede forhold mellem pasta og sand i det nedknuste sand er således 35% pasta og 65% sand.

Ifølge den petrografiske analyse fandtes i gennemsnit (vægtet) en pastaandel i sandet på 32%.

* Det kan oplyses, at betonens pasta var nedbrudt i en sådan grad, at denne ikke fandtes bundet til de naturlige sandskorn, men optrådte som mikroskopiske enkeltpartikler i tyndslibene. Pastavolumenet er derfor bestemt ved punkttælling af naturlig kalk, afsyring og beregning af differens.

Flintindhold

Ved petrografisk punkttælling af fluorescensimprægnerede tyndslib er foretaget en analyse af det nedknuste sandmateriales indhold af muligt alkalireaktive bestandele.

Analysens resultat angives som et gennemsnit af tællinger på 5 tyndslib og repræsenterer i lighed med tællinger for pasta/sand-forhold følgende:

0/2 mm-fraktionen indgår med ca. 10.000 punkter
2/4 mm-fraktionen indgår med ca. 10.000 punkter
i ca. 1.000 korn
4/8 mm-fraktionen indgår med ca. 10.000 punkter
i ca. 300 korn.

I analysen er et sammensat korn optalt i henhold til dets sammensætning, d.v.s. den petrografiske vurdering er foretaget alene i det punkt, der markeres af mikroskopets trådkors.

Resultatet er følgende:

<u>Fraktion</u> <u>mm</u>	<u>Flintindhold</u> <u>ialt %</u>	<u>Tæt Calcedon</u> <u>%</u>	<u>Porøs Calcedon</u> <u>%</u>	<u>Opal</u> <u>%</u>
0/2 mm	13,8	7,8	1,5	4,5
2/4 mm	26,9	17,3	3,1	6,5
4/8 mm	22,5	13,3	2,7	6,5

Indholdet af opalflint må betegnes som usædvanlig højt, og materialet må anses for uegnet til kvalitetsbeton efter nugældende regler.

Kloridindholdsbestemmelse

Idet DS 411 indeholder bestemmelse om den max. tilladelige mængde Kloridioner (vandopløselige klorider) er foretaget en analyse af kloridindholdet i det nedknuste materiale.

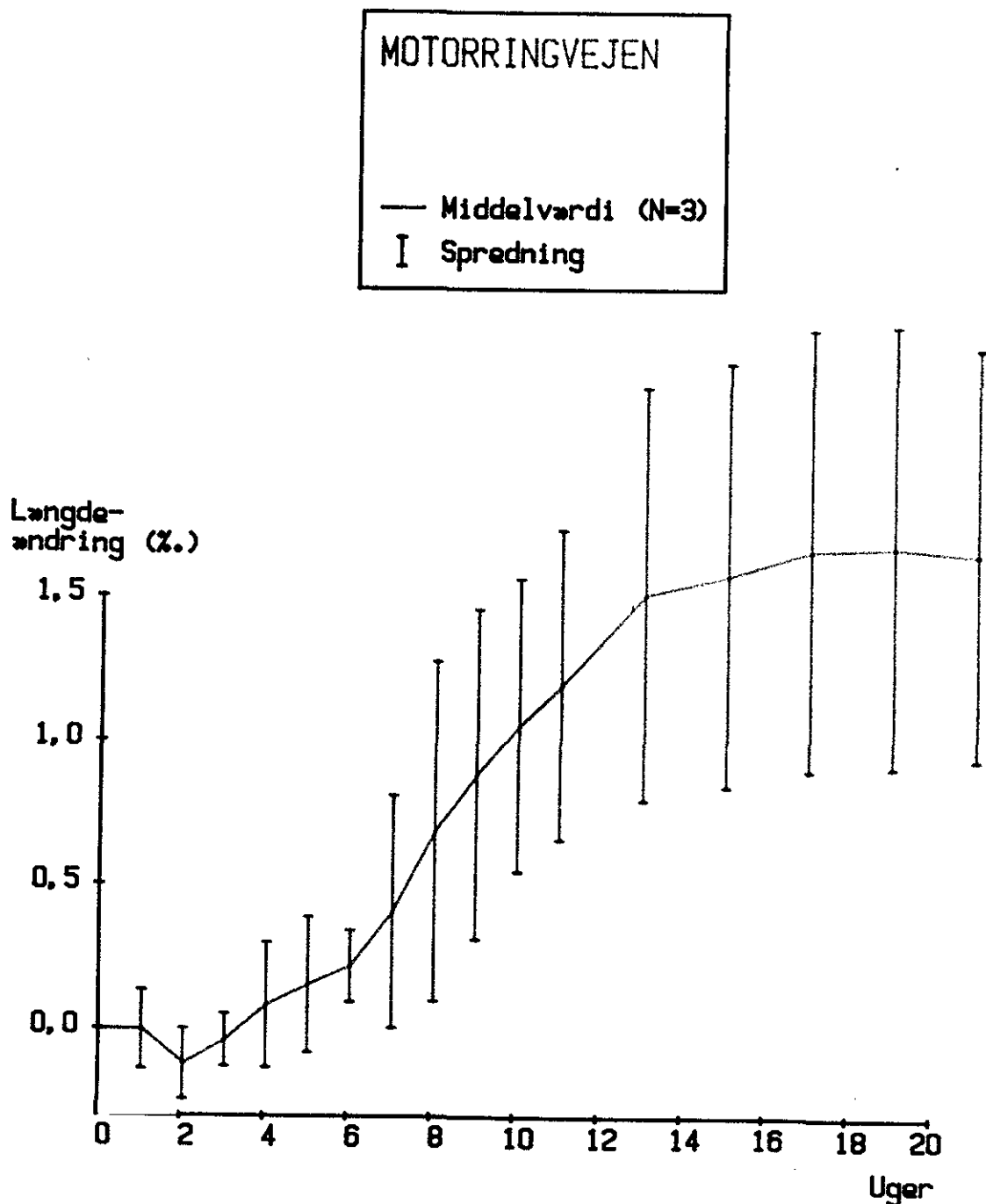
Forholdet er bestemt som mængden af Cl^- i % af den undersøgte prøve (vægt%),

Resultatet angives her som et gennemsnit af 5 analyser:

<u>Fraktion</u> <u>mm</u>	<u>Cl^-</u> <u>Vægt-%</u>
8/32	0,029
4/8	0,011
0/4	0,000

Kloridindholdet er lavt, hvilket specielt for sandfraktionen må kunne tilskrives den flerårige, udendørs oplagring efter nedknusningen (udvaskning).

MØRTELPRISME-EKSPANSION



Sandets alkaliekspansion

Denne måles ved registrering af ekspansionen af mørtelprismer lagret ved 50°C i en saltopløsning.

Analysen forløber over en periode af 20 uger.

Baseret på krav, der idag normalt stilles til velegnet betonsand (ekspansion efter 8 uger < 1 o/oo) findes det nedknuste materiale 0/4 mm ikke egnet til anvendelse i belægningsbeton (agressiv miljøklasse).

6.4.3 Genbrugsbeton på basis af nedknust materiale

MOTORRINGVEJEN

Betonsammensætning

<u>Prøvebetegnelse</u>	Blanding nr. 2	Blanding nr. 8	<u>Blanding nr. 0</u> <u>Referencebeton</u>
lavalkal cement	306 kg	315 kg	305 kg
Mikrosilica	14 kg	15 kg	15 kg
Totalmateriale, nedknust			
4/32 mm	1029 kg	1116 kg	1152 kg
0/4 mm	645 kg	565 kg	660 kg
Vand	127 kg	131 kg	126 kg
SPI, 35%	4 kg	4 kg	4 kg

Betonerne er sammensat med henblik på opnåelse af konsistens og bearbejdelse på niveau med den valgte referencebeton, der er proportioneret med henblik på udlægning med slipform paver.

Frisk-beton analyse

Målt luftindhold	8,0 %	6,3 %	8,5 %
Målt rumvægt	2121 kg/m ³	2143 kg/m ³	2260 kg/m ³
Sætmål	3,5 cm	2,5 cm	2,5 cm

Betonstyrker og E-modul

<u>Materialeegenskab</u>	<u>Blanding nr. 2</u> <u>mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 8</u> <u>totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0</u> <u>Referencebeton</u>
Trykstyrke Ø 15x30 4 uger	37,8 MPa	35,8 MPa	40,6 MPa
Trækstyrke Ø 15x30 11 uger	2,0 MPa	1,9 MPa	2,7 MPa
E-modul Dynamisk, 8 uger	35,8 x 10 ³ MPa	35,1 x 10 ³ MPa	44,1 x 10 ³ MPa

E, dyn er beregnet på grundlag af:

$$E, \text{dyn} = k \times D, \text{ssd} \times V$$

hvor D, ssd = betonprøvens densitet kg/m³

V = Lydhastighed (densitetsprøve) i km/sek

$$k = \frac{(1 + u)(1 - 2u)}{1 + u}$$

u = Poisson's forhold. Her sat til 0,2.

Det skal bemærkes, at det dynamiske E-modul normalt er ca. 30% større end det statiske E-modul.

Svindmålinger, betonbjælker 600x100x100 mm. o/oo

<u>Måletidspunkt og lagringsbetingelser</u>	<u>Blanding nr. 2 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 8 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
0 dg, 100% rel.fugtigh.	0,00	0,00	0,00
30 dg, 100% " "	0,02	0,04	0,03
33 dg, 50% " "	0,10	0,10	0,08
40 dg, 50% " "	0,16	0,22	0,11
131 dg, 50% " "	0,51	0,60	0,28

Strukturanalyser

På de 5 laboratorieudstøbte prøver er gennemført strukturanalyser bestående af en mikroskopisk analyse af tyndslib ved fluouescens- og polarisationsmikroskopi samt en luftporeanalyse efter lineær travers metoden, ASTM C 457.

Væsentlige forhold er fremhævet i nedenstående opstilling, idet tilsvarende værdier for referencebetonen samtidig er anført til sammenligning:

<u>Strukturparametre</u>	<u>Blanding nr. 2 mat. > 4 mm</u>	<u>Blanding nr. 8 totalmateriale</u>	<u>Blanding nr. 0 Referencebeton</u>
Kapillarporøsitet v/c-tal	0,35-0,40	0,35-0,40	0,35-0,40
Pastahomogenitet	ensartet	ensartet	ensartet
Luftindhold %	6,3	6,5	6,5
Specifik overflade, mm ⁻¹	45	38	40
Afstandsfaktor, mm	0,09	0,10	0,10
Grove revner	ingen	ingen	ingen
Pastarevner	få	få/middel	få
Revner mellem ny mørtel og knust tilslag	få	få	-

Konkluderende om betonernes mikrostruktur kan det anføres, at blanding 0, 2 og 8 i strukturmæssig henseende må karakteriseres som stort set identiske, når bortses fra struktur af stentilslag. Sammenholdt med de krav, der normalt stilles til belægningsbeton i aggressiv miljøklasse, fører den udførte strukturanalyse til accept af alle 3 blandinger.

Frost/tø-prøvning

På betonprismer udsavet af laboratoriefremstillede prøver er gennemført en cyklisk frostbelastning af betonerne efter Dubrolubov-Romer's metode.

Resultatet af denne prøvning er vist senere i nærværende afsnit, og kan konkluderes således:

Betonblanding

Prøvningskarakterer

0, referencebeton	Høj frostbestandighed
2, mat. > 4 mm	Ingen frostbestandighed
8, totalmaterialet	Lav frostbestandighed

Herudover er på Ø 10x20 cm laboratoriefremstillede cylindre gennemført en afprøvning af frost/tø bestandigheden i henhold til RILEM anbefaling "Methods of Carrying out and Reporting Freeze Thaw tests on Concrete without De-icing Chemicals".

Frostbestandigheden bedømmes på grundlag af måling af ændring i resonansfrekvensen. (fuldstændig prøvningsmetode er anført i delrapport 4).

De gennemførte målinger antyder en klart forringet frostbestandighed for blanding nr. 8, og en mulig forringelse af frostbestandigheden for prøve nr. 2 sammenlignet med referencebetonen.

Alkalisk prøvning

Med henblik på konstatering af mulig alkalisk reaktivitet i de fremstillede betoner, er gennemført en forsøgsserie, hvorunder betonprøver Ø 10x20 cm cylindre er lagret i mættet NaCl-opløsning ved 50°C i 8 uger.

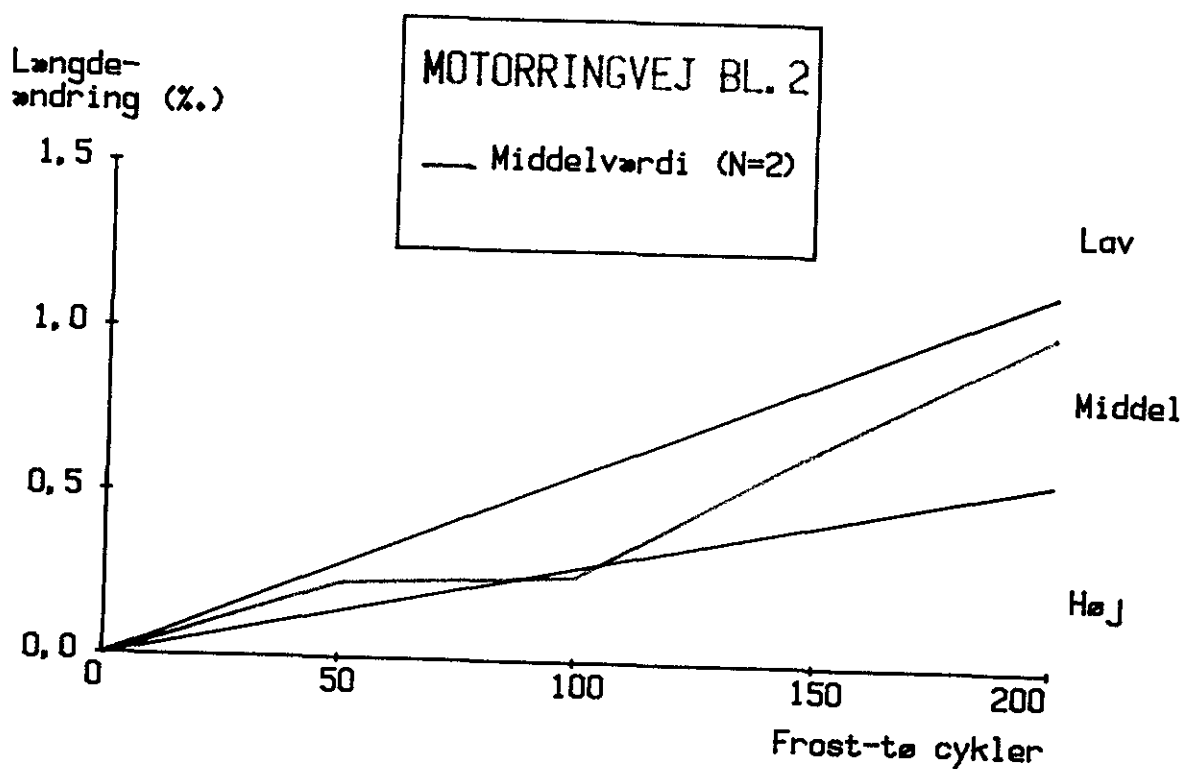
Herefter er lyd hastigheden målt og sammenlignet med lyd hastigheden i kontrolprøver lagret i vand ved 20°C i samme periode.

Der kan konstateres en reduktion i hastigheden på 4% i genbrugsbetoner lagret i NaCl-opløsningen i forhold til kontrolprøverne.

For referencebetonen kan tilsvarende konstateres en reduktion i lyd hastigheden på 1%.

Det må antages, at reduktioner i lyd hastigheden i denne størrelse (4x tilsvarende værdier i referencebetonen) indikerer nogen (skadelig) alkalisk reaktion.

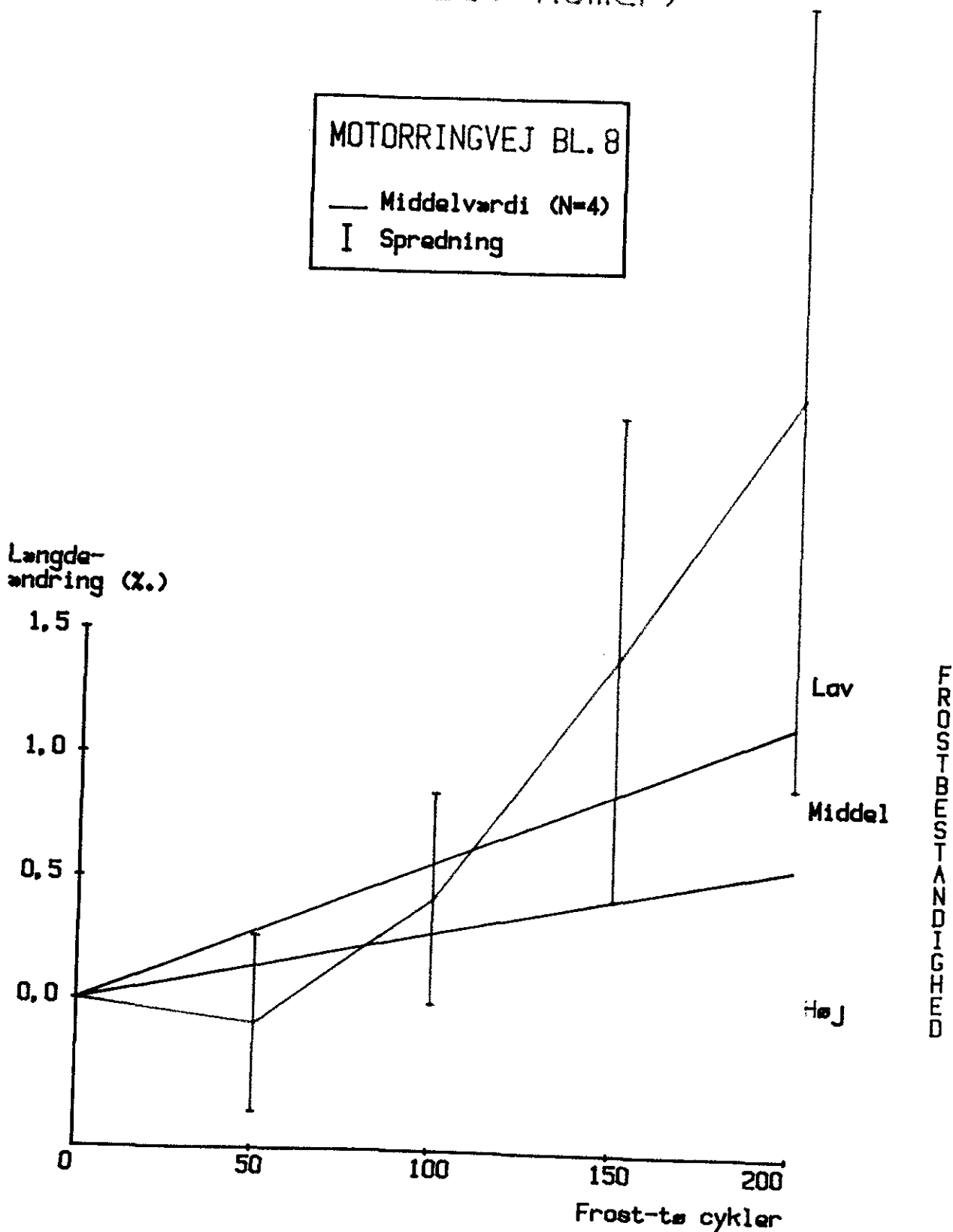
FROST-TØ PRØVNING (Dobrolubov Romer)



FROSTBÆSTÅNDIGHED

NB! 3 prøver af 5 er smuldret før afslutning af prøvning.

FROST-TØ PRØVNING (Dobrolubov Romer)



NB! 1 prøve af 5 er skrevet før afslutning af prøvning.