

# Genanvendelse af betonbelægninger

Delrapport 4 :

Prøvningsmetoder

Anders Henrichsen  
Ole Rud Hansen  
Knud Puckman

Dansk Vejbeton  
Cowiconsult  
Statens Vejlaboratorium

Rapport udarbejdet til  
**Miljøstyrelsen**

PROJEKT VEDRØRENDE GENBRUG AF BETONBELÆGNINGER  
DELRAPPORT 4 , PRØVNINGSMETODER

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. Gennemgang af anvendte DS prøvningsmetoder
2. Strukturanalyser
  - 2.1 Struktur i hærdnet beton
  - 2.2 Luftporeanalyse (Modificeret ASTM C 457)
3. Sands alkalikiselreaktivitet
  - 3.1 Petrografisk analyse af sand
  - 3.2 Mørtelprismeeekspansion
4. Sands vandbehov
5. Frostprøvning
  - 5.1 Modificeret Dobrolubov-Romer metode

## 1. Gennemgang af anvendte DS prøvningsmetoder

Ved gennemførelsen af nærværende udviklingsprojekt, har Dansk Standard i videst muligt omfang været lagt til grund for den udførte prøvning.

I et enkelt tilfælde har projektgruppen fundet prøvningsmetoden i DS mindre egnet, og har derfor indenfor projektets rammer udviklet en selvstændig prøvningsmetode for bestemmelse af nedknust betons densitet, vandabsorption og mørtelindhold. Denne metodeudvikling er rapporteret i delrapport 3.

I de tilfælde, hvor Dansk Standard ikke har kunnet anvise prøvningsmetoder er anvendt udenlandske standards eller modifikationer af sådanne.

Disse metoder er beskrevet i efterfølgende afsnit.

Anvendte DS metoder omfatter DS405 og DS423. Disse forudsættes bekendt.

Disse metoder har været anvendt indenfor følgende prøvninger:

### DS 405

- Bjergartsfordeling
- Densitet og absorption
- Humusindhold
- Kornform
- Kornstørrelsesfordeling bestemt ved sigteanalyse.
- Vandindholdsbestemmelse.

### DS 423

- Konsistens
- Luftindhold
- Densitet
- Trykstyrke
- Trækstyrke
- E-modul
- Chloridindhold.

PROJEKT VEDRØRENDE GENBRUG AF BETONBELÆGNINGER  
STRUKTURANALYSER

2.1 Mikrostruktur i hærnet beton

Strukturanalyse af beton repræsenterer en nyere anskuelsermetode i beskrivelse af et betonmateriales egenskaber.

Metoderne har hver især været kendt gennem en årrække, men takket være initiativ fra Teknologisk Institut, Byggeteknik anvendes disse metoder i dag i Danmark rutinemæssigt i kvalitetssikringen af beton i aggressiv miljøklasse.

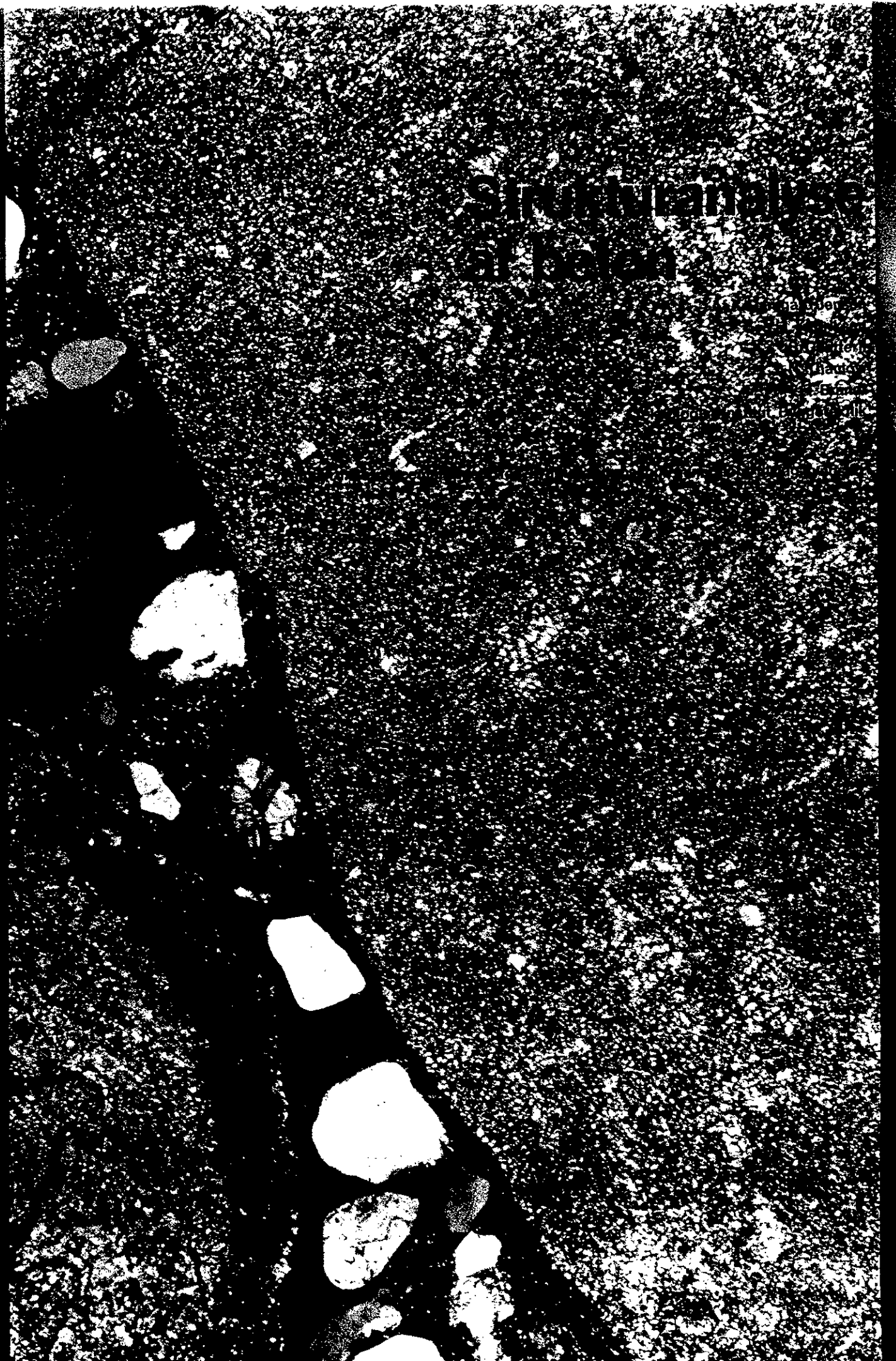
Metoderne formodes med Basisbetonbeskrivelsen at vinde generel udbredelse.

Efterfølgende eksemplar af det af CtO udgivne Beton Teknik bringer en introduktion til emnet.

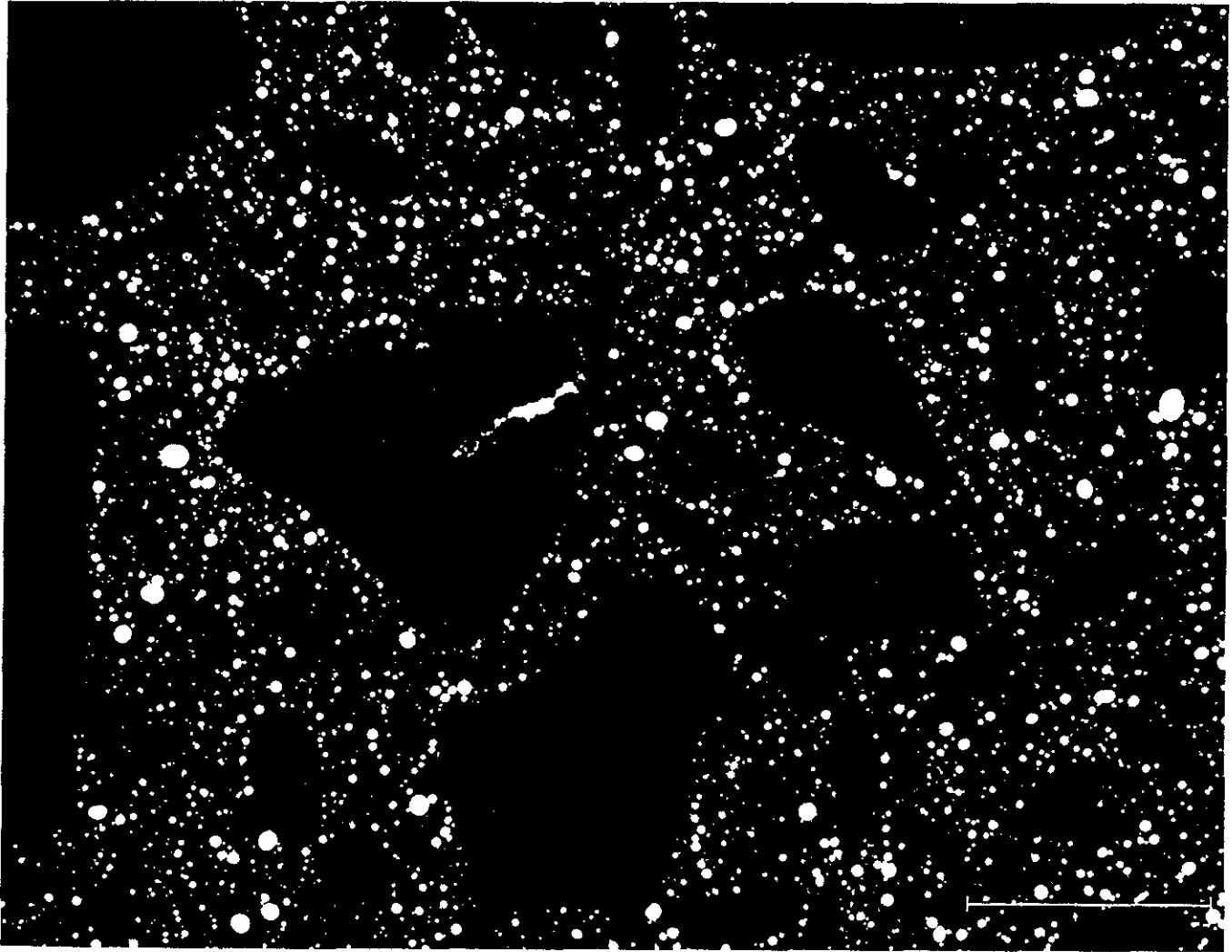
• **BETON-TEKNIK** •

# Stahlbetonbau

Verlag  
1970



En hærdnet beton indeholder i sig vidnesbyrd om de anvendte delmaterialer, de anvendte arbejdsmetoder, betonens påvirkninger i såvel hærdefasen som senere, kemiske omdannelser og eventuelle skader. Ved analyse af betonens struktur og bestanddele under anvendelse af passende metoder og kombinationer af metoder, lader det sig i princippet gøre at beskrive betonens sammensætning, redegøre for dens tilblivelse og kortlægge hændelser, foregået i betonen under og efter dens hærdning. Under anvendelse af de samme metoder lader det sig gøre med rimelig sandsynlighed at bestemme kvaliteten af en relativt frisk udstøbt beton. Derudfra kan holdbarheden forudsiges ved sammenligning med dels en idealiseret model dels med det eksisterende erfaringsgrundlag, der naturligvis til stadighed må udbygges, justeres og forbedres. Visuel struktur- og bestanddelsanalyse, normalt forkortet strukturanalyse, handler om at bruge øjnene som måleinstrument til at bestemme/fastlægge strukturfænomener og bestanddele i et materiale f.eks. beton [1], [2], [3]. Denne publikation har til formål at give en oversigt over de metoder, der benyttes ved strukturanalyse af beton, og om de muligheder man derved opnår for vurderingen af betonens kvalitet.



Figur 1. Kontrastimprægneret planslib, egnet til luftporemåling. De mange små runde luftporer (hvide) viser, at betonen er luftindblandet.

Strukturanalyse af beton kan bl.a. anvendes i følgende situationer:

- Eftersyn af betonkonstruktioner (tilstandskontrol).
- Undersøgelse af skadede betonkonstruktioner, [4].
- Kvalitetsvurdering af nye betonprodukter.
- Kvalitetskontrol af nye betonkonstruktioner, [5].

Tilsvarende strukturanalyse kan også udføres på andre materialer (f.eks. tegl, natursten).

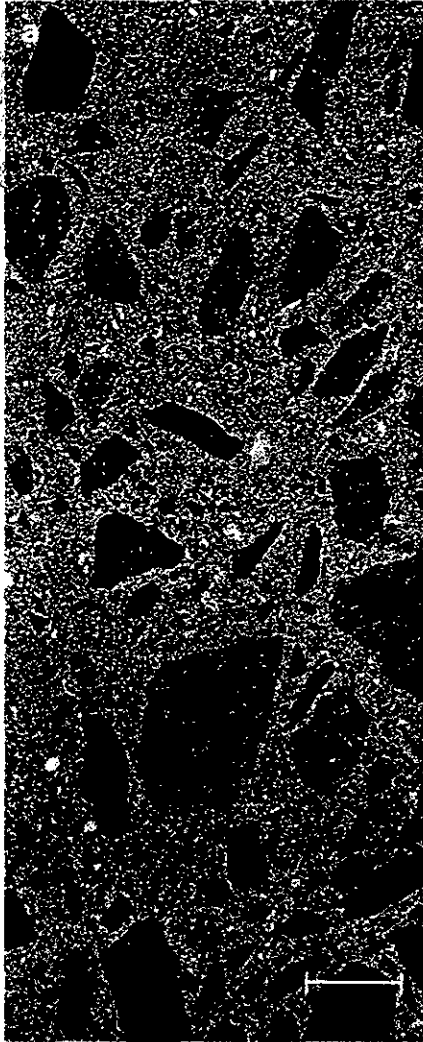
Variierende efter situation og opgavens formål kan en analyse af en betonkonstruktion omfatte:

- Visuel besigtigelse af betonkonstruktionen og udvælgelse af analyseområder (udtagning af borekerner).
- Visuel besigtigelse af borekerner (makrostrukturanalyse) og udvælgelse af prøver til nærmere undersøgelse (mikrostrukturanalyse, luftporemåling, revnedetekteringsbestemmelse, chloridindhold mv.).
- Gennemførelse af disse analyser og evt. udvælgelse af prøver til supplerende undersøgelser (SEMEX, røntgendiffraction, kemisk analyse mv.).

I forbindelse med gennemførelsen af de enkelte analyser indgår en *prøvepræparation*, planslib, tyndslib mv., og der anvendes en række hjælpemidler (lup, mikroskop og evt. målepind, revneviddemåler, phenolphthalein mv.), således at de aktuelle strukturer og bestanddele bliver lette at iagttage og eventuelt måle. Prøveudtagningsstedet og prøveantal vælges ud fra analysens formål, idet der bl.a. er stor forskel på, om analysen er en skadesanalyse eller et led i en kvalitetskontrol af et kontrolafsnit. Antallet af prøver bør aldrig vælges for lavt, da også en betons struktur har naturlige variationer (som betonens styrke, sandets kornkurve osv.). Reproducerbarhed og repeterbarhed af metoden er afprøvet i forbindelse med en række større anlægsarbejder og synes god sammenlignet med andre målemetoder.

# Makroanalyse

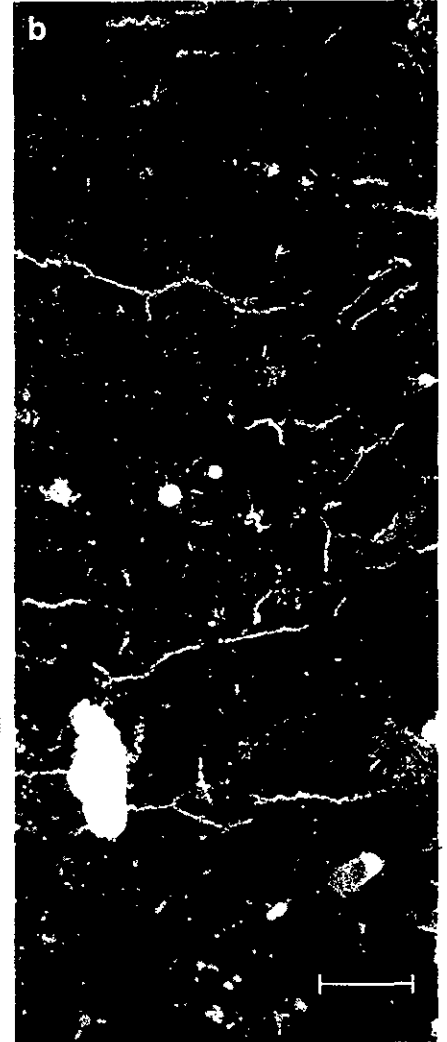
Makroanalyse udføres ved visuel betragtning af betonprøver (borekernen) eller et *planslib*, der fremstilles ved gennemsavning af prøven. Et planslib er bedre egnet til observation end borekernens grove overflade. Planslibet kan evt. poleres, hvilket yderligere fremhæver detaljerne. Til analysen kan anvendes lup, stereomikroskop, målepind osv.



Figur 2  
Et planslib giver mulighed for bedømmelse af bl.a. stentilslaget, komprimering, grove revner mv.

T.v. ses et poleret, imprægneret planslib i almindelig belysning. Betonen har overflade opad.

T.h. ses samme planslib i ultraviolet belysning. Der ses flere revner fra overfladen og et stykke ind i betonen.



Makroanalysen (figur 2) giver oplysninger om:

- Tilslaget, især stentype, -mængde, -fordeling, orientering og kornform. Stenmængden kan bestemmes kvantitativt på planslibet ved punkt-tælling eller ved linieanalyse.
- Pastaen, især fordeling og karbonatiseringsdybde (ved brug af phenolphthalein).
- Porer, især mængden af indkapslet luft, dvs. komprimerings effektivitet.
- Revner, især revner med revnevidde over ca. 0,1 mm, revneorientering.
- Alkalikselreaktioner, især hvis der er geludfældninger på prøven.

- Overfladen, dvs. struktur, nedbrydning, overfladebehandling.

- Armering, dvs. dimension, placering, kontakt til beton og evt. korrosion.

Specielt præparerede planslib kan anvendes til måling af luftporestruktur og til revnedetektering.

**Luftporestrukturen** måles på kontrastimprægnerede planslib, hvor porene er gjort særlig synlige og egnede til opmåling ved automatisk billedanalyse, se figur 1 [6]. Ved målingen bestemmes luftindholdet og luftporernes kordelængder i det pågældende planslib. Ved hjælp af matematik og forskellige antagelser beregnes porernes specifikke overflade (overfladeareal af luftporer i forhold til deres volumen,  $\text{mm}^2/\text{mm}^3$ ) og betonens afstandsfaktor (gennemsnitsafstanden fra et vilkårligt sted i cementpastaen til den nærmeste poreoverflade). Revnedetektering udføres på polerede planslib, der er imprægnerede med fluorescerende epoxy. Ved belysning af dette planslib med ultraviolet lys ses revner ned til ca. 0,02 mm meget tydeligt, ligesom luftporer og forskelle i porøsitet fremhæves, se figur 2 t.h.

# Mikroanalyse

Mikroanalyse udføres som mikroskopering af tyndslib fremstillet af den aktuelle betonprøve.

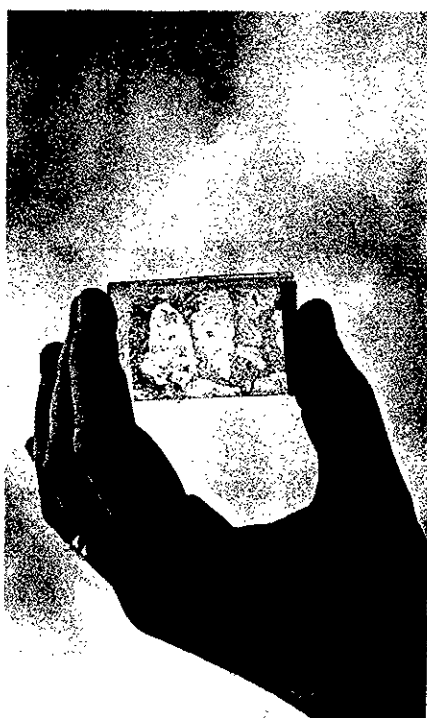
## Tyndslib

Tyndslib har i mange år været anvendt af geologer til bestemmelse af bjergarter, mineraler osv. I Danmark blev sådanne tyndslib fremstillet og analyseret i forbindelse med Alkaliudvalgets store arbejde i 50'erne [7], hvor de danske alkalikiselreaktioner i beton blev undersøgt og beskrevet første gang.

De tyndslib, som i dag anvendes ved analyse af beton, er forbedret derved, at den epoxy, der bruges til imprægnering af betonen, er tilsat et fluorescerende farvestof, som bevirker, at bl.a. porøsiteter og mikrorevner bliver synlige.

Et tyndslib fremstilles af en betonklods udsavet af det aktuelle område af en betonprøve. Betonklodsen har normalt størrelsen 50 x 30 x 15 mm. Den tørres i sprit og under vakuum, da luft og varmetørring kan give revnedannelser i betonen. Den tørrede betonklods vakuumimprægneres med epoxy tilsat det fluorescerende gule farvestof i en bestemt dosering, efter en af klodsens flader er planslebet. Efter epoxyens afhærdning renses den planslebet flade for epoxy og en glasplade påklæbes. Herefter gennemsaves klodsens ca. 1 mm fra glaspladen, og den på glaspladen påklæbte tynde betonskive slibes ned til en tykkelse på 20  $\mu\text{m}$  (0,02 mm), hvad der gør den gennemsigtig og delvis gennemsigtig. Til sidst pålimes et tyndt dækglass, se figur 3.

Betonen i et sådant tyndslib dækker et areal på ca. 50 x 30 mm, hvilket betyder, at et tyndslib normalt er stort i forhold til betonens indhold af sand, cement, cementpasta, luftporer og betonens mikrorevner, men lille i forhold til sten og grove revner.



Figur 4. Mikroskopering af beton kræver et godt mikroskop og megen erfaring. På billedet t.v. ses et færdigt præpareret tyndslib.

## Mikroskop

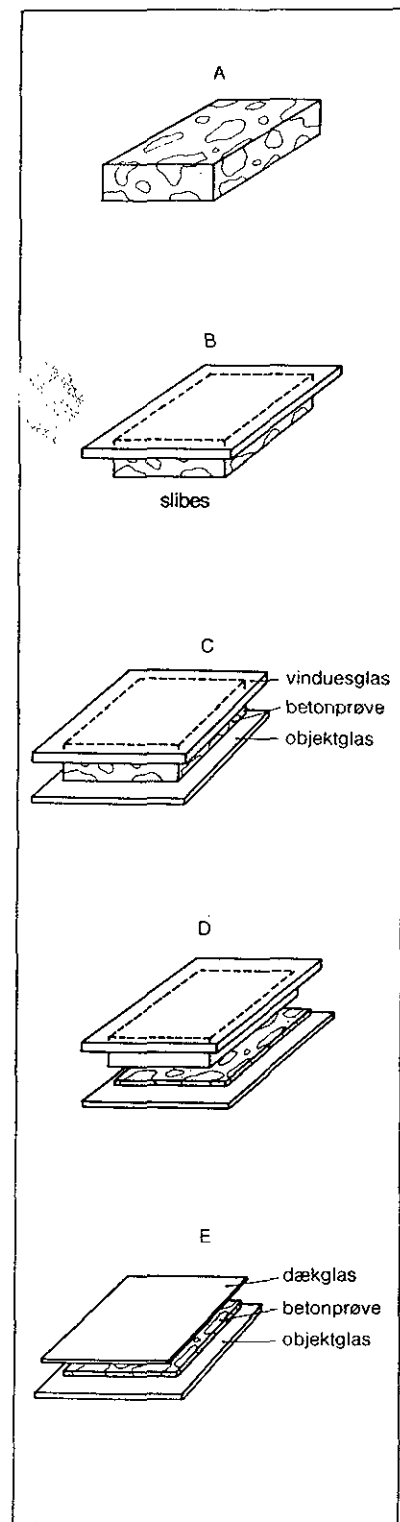
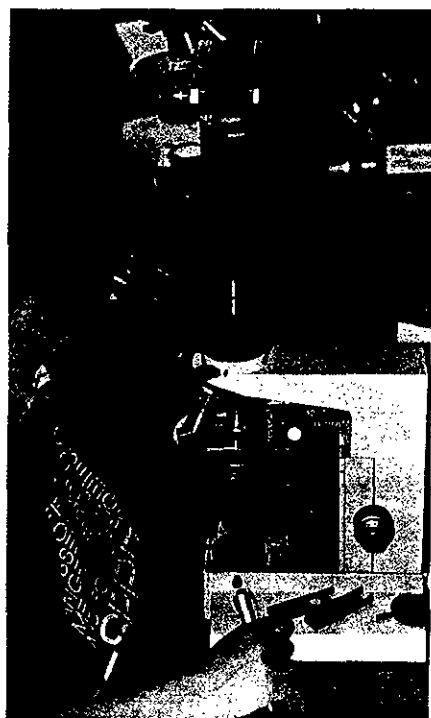
Til mikroskoperingen af tyndslibene anvendes et laboratiemikroskop (figur 4), der kan anvendes både som polarisationsmikroskop og fluorescensmikroskop.

I polarisationsmikroskopet (figur 5) sendes lys gennem en nicol (polaroidfilter), hvorved det planpolariseres, dvs. kun svinger i et plan, og op gennem tyndslibet. I okularet kan betonens sammensætning (sten, sand, pasta, cementkorn, luftporer, nedbrydningsprodukter osv.) betragtes. Mikroskopindstillingen kaldes parallelle nicoller ( $\neq$ ). Mellem tyndslibet og okularet kan indskydes en ekstra nicol, der er drejet 90° i forhold til den nederste nicol. Lys, der er gået gennem den nederste nicol kan kun gå gennem den øverste, såfremt det bliver drejet undervejs. Dobbeltbrydende krystaller i tyndslibet (tilslagskorn, cementkorn, calciumhydroxid osv.) kan dreje lyset, således at disse bliver synlige i okularet, og mikroskopindstillingen, der kaldes krydsede nicoller (+), anvendes til identifikation af de forskellige krystaller og mineraler.

I lysgangen kan derefter indskydes et gipsblad ( $\lambda$ -filter), der forårsager en farveændring alt afhængigt af krystallerne og deres orientering. Anvendelse af krydsede nicoller og gipsblad ( $\lambda$ ) letter identifikationen af mange krystaller.

Til fluorescensmikroskopi (F) anvendes en kraftig lyskilde, et blåfilter og et gulfilter. I okularet kan ses, hvor meget lys der dannes ved fluorescens i de forskellige områder af tyndslibet. Områdernes porøsitet i form af tæthed, revner og porer kan således iagttages.

Fotografier fra de 4 forskellige mikroskopindstillinger ses i figur 6.



Figur 3. Et tyndslib består af en tynd fluorescensimprægneret betonskive klæbet på en glasplade og beskyttet af et dækglass. Det fremstilles ud fra en betonklods (A), der planslibes på den ene side (B). Efter imprægneringen af betonen påklæbes et objektglas (C), og betonklodsens savs igennem ca. 1 mm over glasset (D). Betonskiven på objektglasset slibes ned til en tykkelse på 0,020 mm, og der påklæbes et beskyttende dækglass (E).



## Mikroanalyse

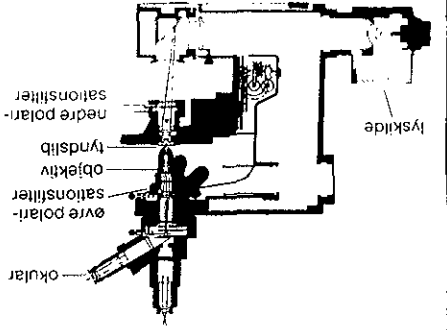
Til oversigtsmessig gennemsyn af et tynd-  
slib anvendes x25 forstørrelse. Til mere de-  
taljeret gennemsyn anvendes x65 forstørrel-  
se. Til studier af cementpasta, cementkorn,  
reaktionsprodukter mv. anvendes x160,  
x250 og evt. x400 forstørrelse, se figur 7.

Tilslaget, især sandtype, -mængde,  
fordeling, fyllermængde og kornform,  
samt omfang af alkaliske reaktioner.  
Cementpastaen, dvs. cementtype,  
hydratisering, indhold af flyvasker  
og mikrosilica, forholdene omkring  
calciumhydroxid (portlandt) og kar-  
bonatisering.  
Eventuelle unormale kemiske omdan-  
nelser af cementpastaen. Vedhæft-  
ning til tilslag.

Pastætheden, dvs. et udtryk for  
betonens vand/cement-forhold og  
pastatomogeniteten, der kan afhænge  
af blandeeffektivitet og evt. mi-  
krosilicadispergering.  
Porer, dvs. poretyper (kuglepore,  
kantede porer, luftunker), poreforde-  
ling og poretyldning.

Revner, især fine revner med revne-  
vidde under ca. 0,1 mm, revneori-  
entering, revnefyldning samt ofte rev-  
neårsager (alkaliske reaktioner, plas-  
tisk sætning, vandudskillelse osv.).  
Overfladen, dvs. struktur, nedbrud-  
ning, revner, porøsitet og overflade-  
behandling.

Ved analyse kan iagttages fænomener af  
mindre end 5  $\mu\text{m}$ 's størrelse (cementkorn,  
div. krystaller, revnevædder mv.). Til-  
stedeværelsen af f.eks. tilsetningsstof eller anvæn-  
delsen af humusholdigt sand kan ikke  
direkte iagttages, men bl.a. plastemulsi-  
on kan påvirke strukturen af calciumhydro-  
xid, og sådanne ændringer kan iagttages,  
og med den fornødne erfaring anvendes  
ved vurderingen af, om de nævnte stoffer  
findes i betonen. I det følgende gennemgås  
en række vigtige delområder fra en mikroana-  
lyse.



Figur 5. Polarisationsmikroskop.

Parallele nicoller (≠)



Krydsede nicoller og gipsblad ( $\lambda$ )



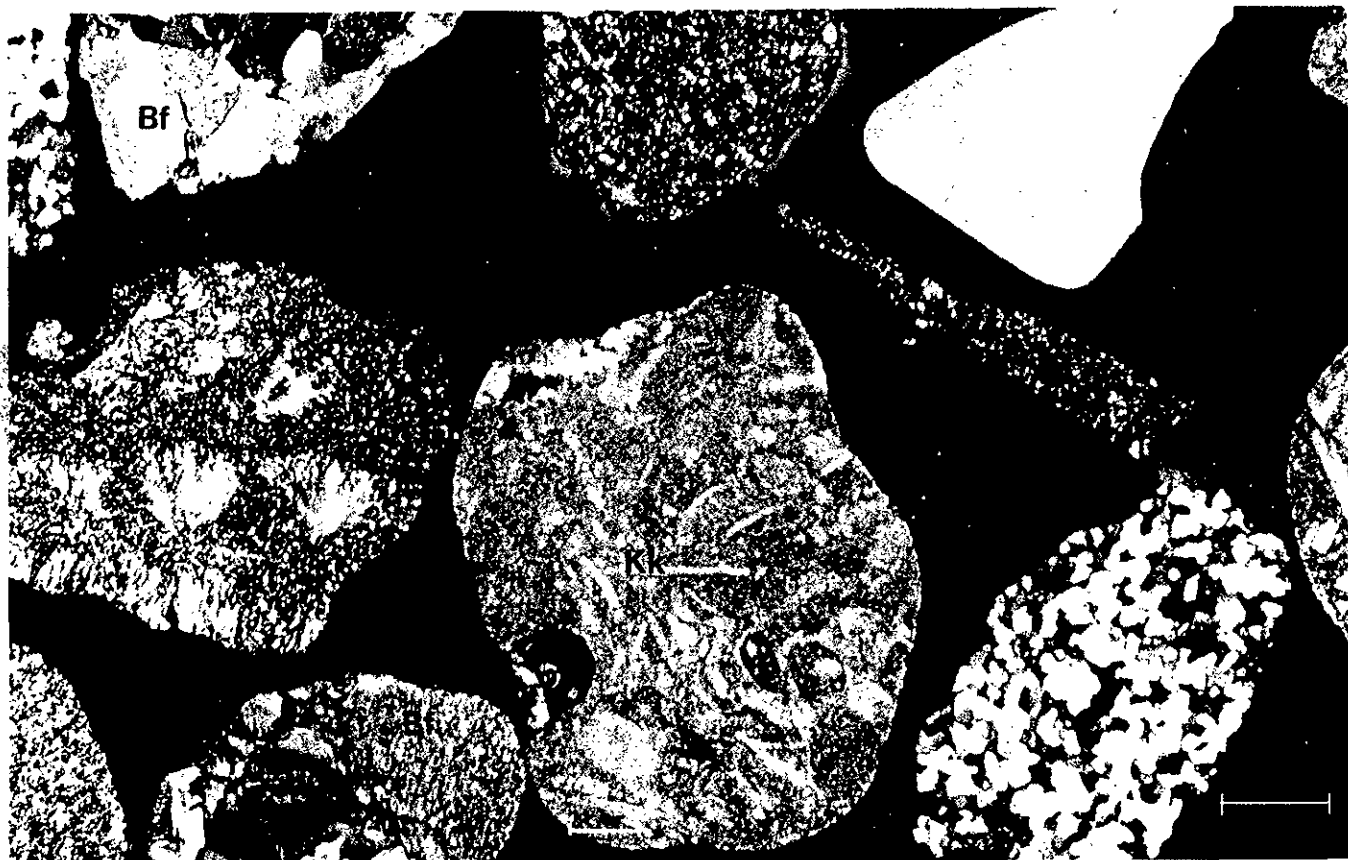
Krydsede nicoller (+)



Fluorescens (F)



Figur 6. Forstørrelse x63 med polarisationsmikroskop (målestav 0,12 mm). Det samme motiv ses i 4 forskellige mikroskopstillinger. Sandkorn (S) og cementpasta (P) med hydratiserede cementkorn (C).



Figur 8. x63 (målestav 0,12 mm), krydsede nicoller. Der ses forskelligt udseende bjergartsfragtmenter (Bf) og kalkkorn (Kk).

| v/c  | Cementpastaens porøsitet-% |
|------|----------------------------|
| 0,40 | 8                          |
| 0,45 | 14                         |
| 0,50 | 19                         |
| 0,55 | 24                         |
| 0,60 | 28                         |
| 0,65 | 32                         |
| 0,70 | 35                         |
| 0,75 | 38                         |
| 0,80 | 41                         |

Tabel 1. Sammenhæng mellem v/c-forholdet og cementpastaens porøsitet, baseret på figur 20 i [8].

**Mørtelsammensætning.** Den volumenmæssige sammensætning af betonens mørtel kan bestemmes ved punkttælling. Normalt tælles 1000 punkter (luft, cementpasta og sand) i mørtelen. V/c forholdet vurderes i 10 områder, og gennemsnittet beregnes. Mængden af cement og sand beregnes derefter.

Med kendskab til mørtelens volumenmæssige sammensætning kan betonens trykstyrke ( $f_c$ ) beregnes efter Fére's formel:

$$f_c = k \left( \frac{C}{C+V+L} \right)^2$$

hvor  $k$  = en empirisk bestemt konstant (typisk værdi 280 MN/m<sup>2</sup>)

$C$  = cementvolumen

$V$  = vandvolumen

$L$  = luftvolumen

Det ses, at det udelukkende er bindemidlets porøsitet, der bestemmer styrken.

Såfremt betonen ikke er revnet og luftporefordelingen er rimelig, er der ofte en god overensstemmelse mellem den teoretisk bestemte  $f_c$  og resultater målt på udborede kerner ved trykprøvning [9].

### Porere

Al beton indeholder luftporer, også selv om den ikke er tilsat luftindblandingsstof. Disse porer antages normalt at være luftfyldte. Mikroanalyse af beton viser, at dette ikke altid er tilfældet.

Følgende materialer kan ses som porefyldningsmateriale:

Calciumhydroxid

Ettringit

Alkaliskiselgel

Calciumcarbonat (calcit)

Gips

Calciumhydroxid ses i vandbelastede betoner, bl.a. betoner, der har været vandlagret 28 døgn efter udstøbningen samt mange undendørs betoner, se figur 13.

Ettringit ses ofte i betonens porer. Ettringitten er cementpastadele, der er fugttransporteret og udkrystalliseret i porerne. Det er et tegn på, at der er »liv« i betonen, at den bliver ældre og svagere. Såfremt betonen er udsat for sulfatangreb, kan ettringitmængderne i såvel porer som revner blive meget store, se figur 14.

Alkaliskiselgel i porerne er en følge af alkaliskiselreaktioner i betonen. Tilstedeværelsen af luftporer nedsætter således ekspansionen ved alkaliskiselreaktioner, da gelen ellers ville være i revner.

Calciumkarbonatkrystaller ses undertiden i og ved fugtbelastede betonoverflader og skyldes vandig karbonatisering af calciumhydroxid.

Gips i porerne er normalt tegn på sulfatangreb. Gips i mindre mængder kan ses på betonoverflader udsat for nedbrydning (overfladeerosion) fra sur regn. Gipsen stammer sandsynligvis fra betonens sulfatindhold (fra cementen).

Omfanget af porefyldning er meget varierende, oftest beskedent, men der findes eksempler på, at en væsentlig del af porerne i en luftblandet beton er delvis fyldte. Omfattende porefyldning vil ophæve porernes frostbeskyttende virkning.

## Revner

Revner kan inddeles i flere grupper. Det er normalt at anvende revnevidden ved en sådan inddeling.

- **Grove revner**, revnevidde over ca. 0,1 mm.
- **Fine revner**, revnevidde ca. 0,01 - 0,1 mm.
- **Mikrorevner**, revnevidde under ca. 0,01 mm.

Fine revner og mikrorevner kan inddeles i:

- **Vedhæftningsrevner**, der løber langs tilslagskorn (figur 15).
- **Pastarevner**, der fortøber i pastaen.
- **Revner i tilslag**.

Revnerne kan have en foretrukken orientering eller være uorienterede.

Revner kan have skarpe afgrænsninger og kan gå gennem såvel sandkorn som sten. Sådanne revner antages at være dannet i den hærdnede beton (se figur 17).

Revnerne kan også have meget uregelmæssige kanter, og sådanne revner antages dannet i ung beton f.eks. ved plastisk sætning (se figur 18).

Fine overfladerevner antages dannet ved udtørringssvind.

Revner i forbindelse med reagerede alkaliskiselreaktioner (se figur 9).

Revner kan være helt eller delvist fyldt med calciumhydroxyd, ettringit, alkaliskiselgel, calciumcarbonat og gips på samme måde som luftporer. Karbonatisering langs revner kan ofte ses langt ind i betonen (se figur 19).



Figur 9. x63 (målestav 0,12 mm). Det alkalireaktive flintkorn på dette billede er næsten opløst ved reaktionen, og der stråler revner ud i betonen. Fluorescens.



Figur 10. x160 (målestav 0,05 mm). Cementpasta med en del cementkorn (C). Parallelle nicoller.



Figur 11. x250 (målestav 0,03 mm). I denne cementpasta ses, ud over en del cementkorn, 2 flyveaskepartikler (F), dels en rund, sort kulpartikel og dels en hul glaskugle. Krydsede nicoller og gipsblad.

# Anvendelse

Anvendelsesområdet for strukturanalyse spænder vidt, og er ikke begrænset til beton, men kan desuden anvendes til analyse af bl.a. tegl, reparations- og muremørtel, natursten til bygninger, kunstværker mv. og borekerner fra olieeftersforskning. Hovedanvendelsesområderne for strukturanalyse er:

- Petrografi af sand.
- Skadesanalyse af beton.
- Vurdering af beton mv.
- Kvalitetskontrol af beton.

## Petrografi af sand

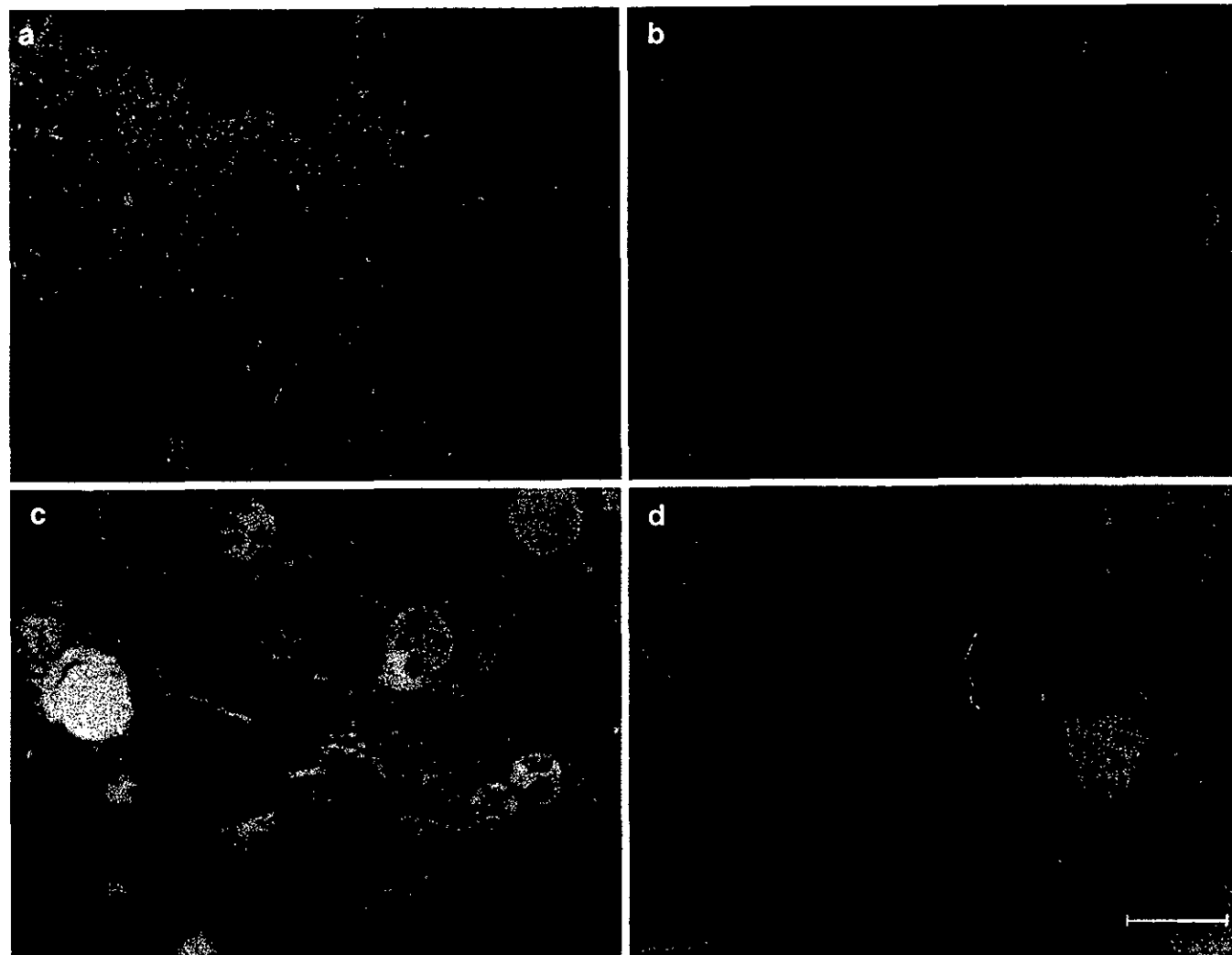
Et sands indhold af porøs, reaktiv flint kan bestemmes ved punkttælling på tyndslib fremstillet af sandkorn, indstøbt i epoxy, tilsat fluorescerende farvestof. Der fremstilles normalt 1 tyndslib af 0-2 mm fraktionen og 1 tyndslib af 2-4 mm fraktionen. Krav til et sands maksimale indhold af porøst reaktiv flint (porøs calcedon-flint og opalf Flint) skal sikre mod skadelige alkaliskelreaktioner [10].

## Skadesanalyse af beton

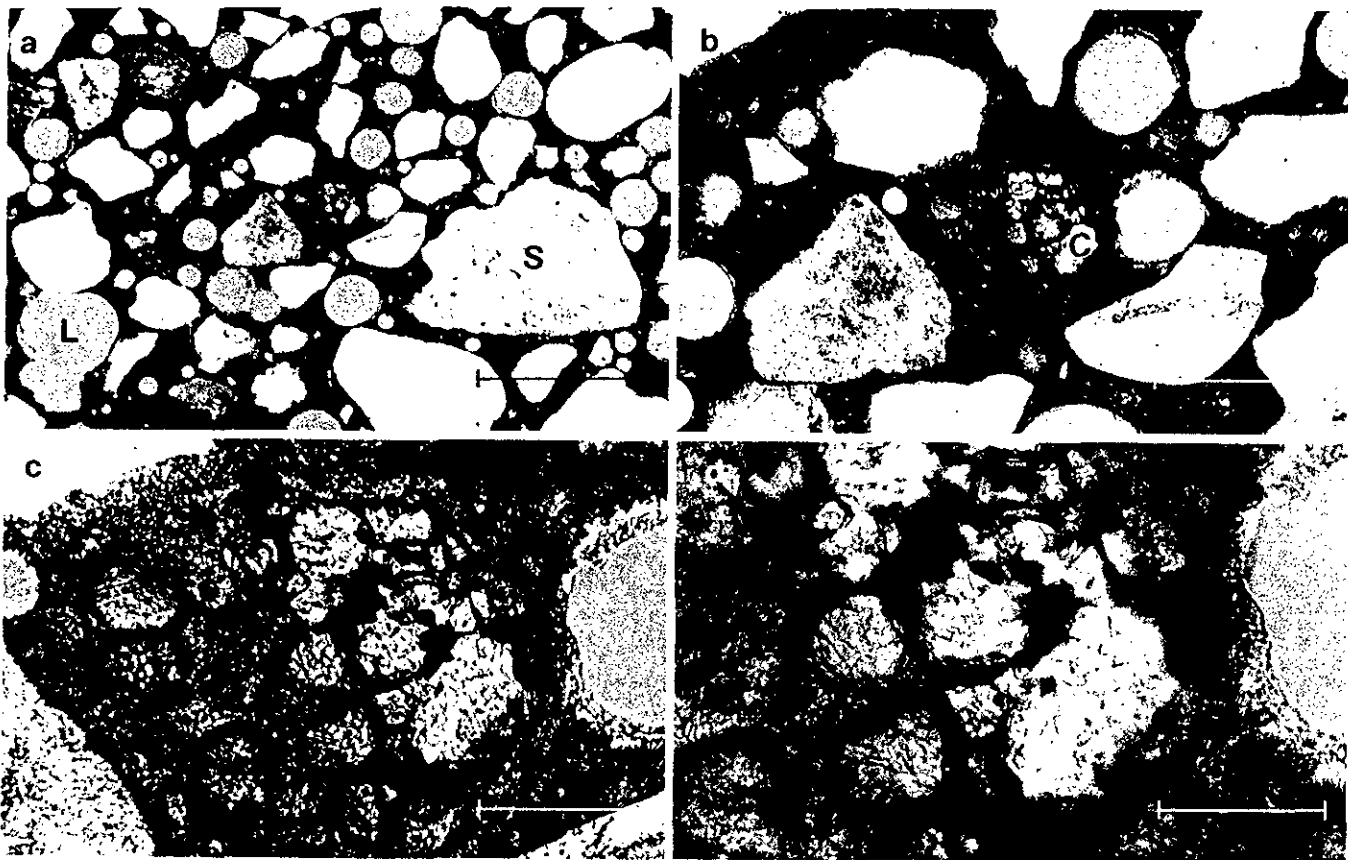
Ved undersøgelse af skadede betonkonstruktioner anvendes strukturanalyse rutinemæssigt, idet især mikroanalysen giver en række nyttige oplysninger om betonsammensætningen, betonarbejdets udførelse og nedbrydningsmekanismernes virkning. Det kan afgøres, om alkaliskelreaktioner er en væsentlig skadesårsag, om sulfatangreb (surt miljø) har haft betydning, og om betonen har haft væsentlige initialdefekter (plastiske sætningsrevner, vandudskillelse, inhomogen kapillarporøsitet, tidlig frysnings osv.). Vanskelighederne ved fastlæggelse af skadesårsagerne skyldes oftest, at det kan ses, at betonen er revnet, men ikke nødvendigvis, hvorfor den er revnet. Eksempelvis efterlader frostskeer i frisk beton tydelige spor, medens frostskeer i hærdnet beton ikke kan skelnes fra en række andre skadesårsager.

## Vurdering af nye betontyper

I forbindelse med udvikling af nye betontyper, bl.a. beton med mikrosilica og fiberbeton, og i forbindelse med forsøg og forskning inden for betonområdet, kan strukturanalyse med fordel anvendes for at skaffe et relevant kendskab til betonens indre struktur.



Figur 12. x63 (målestav 0,12 mm). Fluorescensbilledets farve er et udtryk for cementpastaens porøsitet, dvs. v/c-forholdet. Billederne a-d viser tætheder svarende til følgende v/c-forhold: (a) ca. 0,60, (b) ca. 0,50, (c) 0,40 - 0,45 (inhomogen) og (d) under 0,40.



Figur 7. Fire udsnit af et tyndslib med samme mikroskopindstilling, men med forskellige forstørrelser. Polarisationsmikroskop med parallelle nicoller. (a)  $\times 25$  (målestav 0,31 mm). Der ses sandkorn (S), luftporer (L) og cementpasta. (b)  $\times 63$  (målestav 0,12 mm). Udsnit af billede (a). Midt i billedet ses et stort cementkorn (C). (c)  $\times 160$  (målestav 0,05 mm). Ud over det store cementkorn ses også flere mindre korn. (d)  $\times 250$  (målestav 0,03 mm). Cementkornene består af  $C_3S$  (lys),  $C_2S$  (brun) og  $C_4AF$  (sort).

## Sand

Et normalt betontyndslib indeholder over 1000 sandkorn, således at analysen udføres med rimelig god statistisk sikkerhed.

Ved undersøgelse af sandfraktionen i beton ved hjælp af tyndslibsmikroskopi, bestemmes sandets petrografiske sammensætning. Kvarts, feldspat og bjergartsfragmenter dominerer normalt. De er i reglen uinteressante. Glimmerkorn, kalkkorn, kalkskalier, lerklumper mv. kan have nogen interesse (se figur 8), men det er indholdet og typen af flint, der er det væsentligste, idet flinten kan give skadelige alkalikiselreaktioner i betonen.

Flinten kan ses i forskellige varianter, såvel kalkfrie som kalkholdige. Porøsiteten af flinten er meget afgørende for, om flinten kan give skadelige alkalikiselreaktioner i betonen. Det er almindeligt at inddele flinten i følgende grupper, der alle omfatter såvel en kalkholdig som kalkfri del:

- Tæt calcedonflint (eller kvartsflint).
- Porøs calcedonflint.
- Opalflint (der altid er porøs).

Forholdene omkring flinten, dens porøsitet og alkalikiselaktivitet ses tydeligt ved mikroanalysen. Opalflint er meget reaktiv og ses ofte at give kraftige alkalikiselreaktioner med meget gel. Porøs calcedonflint kan i nogen udstrækning være alkalikiselreaktiv. Tæt flint er normalt ikke reaktiv. Beton, som er nedbrudt af alkalikiselreak-

tioner, ses med reagerede porøse flintpartikler og gelfyldte revner og porer. I ikke nedbrudt beton, som indeholder et alkalireaktivt sand, ses ofte reagerede flintpartikler og undertiden alkalikiselgel i porer og pasta, men uden betydende revnedannelse. Reaktivitetsgraden afhænger af flere faktorer, herunder betonens tæthed, fugtforhold og alkaliindhold, f.eks. fra påvirkning af tørsalte (NaCl), se figur 9.

## Cementpastaen

I et tyndslib kan den grove del af cementen iagttages ved stor forstørrelse. Cementminerallerne  $C_3S$ ,  $C_2S$  og  $C_4AF$  lader sig identificere optisk.  $C_3S$  (Belit) findes så godt som altid tilbage, også i meget gamle betoner.  $C_3S$  (Alit) er undertiden, men langt fra altid, omdannet til cementgel og calciumhydroxid, se figurerne 7 og 10. Kornenes oprindelige omrids kan dog stadig skelnes. Ved vurdering af mængden og størrelsen af de forskellige mineraler kan cementtypen i reglen bestemmes.

**Flyveaske og mikrosilica.** Det kan afgøres entydigt, om der er flyveaske i betonen, selv i små mængder (se figur 11). Mængden af flyveaske kan groft skønnes.

Små mængder mikrosilica kan være vanskelige at identificere, såfremt den er veldispergeret, medens større mængder (omkring 10% af cementmængden) altid lader sig sandsynliggøre, dels som silicaklumper og dels ved ændringer i pastastrukturen.

**Pastatæthed.** I fluorencensmikroskopet lyser cementpastaen op, fordi kapillarporøsiteten er imprægneret med fluorescerende farvestof, og jo større kapillarporøsiteten og dermed  $v/c$ -forholdet er, jo lysere fremstår cementpastaen.

En ukendt betons kapillarporøsitet og dermed  $v/c$ -forhold kan bestemmes ved sammenligning med skala af prøver med kendt  $v/c$ -forhold. Af tabel 1 ses, at kapillarporøsiteten er stærkt afhængig af  $v/c$ -forholdet, især i områderne med lavt  $v/c$ -forhold.

I mikroskopet vil intensiteten af det gule lys, der dannes ved fluorescens, og som øjet opfanger, tilnærmelsesvis være proportional med mængden af fluorescerende stof og dermed kapillarporøsiteten og  $v/c$ -forholdet. Der er f.eks. tydelig forskel på betoner med  $v/c = 0,40$  og  $v/c = 0,45$ , mindre tydelig på betoner med  $v/c = 0,60$  og  $v/c = 0,65$ , se figur 12.

I ung beton bestemmes  $v/c$ -forholdet for højt og må korrigeres ud fra skøn for hydratiseringsgraden.

I betoner med mikrosilica eller flyveaske bestemmes en kapillarporøsitet, der kan sammenlignes med en beton uden disse tilsætningsstoffer, men med samme tæthed. Herved fås et »ækvivalent  $v/c$ -forhold«, hvoraf man kan beregne mikrosilicaens eller flyveaskens aktivitetsfaktor på tæthed. Mikrosilica har oftest en aktivitetsfaktor på omkring 3, medens flyveaskens er noget under 1.

## Kvalitetskontrol af beton

På baggrund af erfaringsmateriale kan der opstilles følgende idealmodel for sammensætningen af en beton med god holdbarhed:

- En holdbar beton består af et velfordelt system af gode tilslagsmaterialer i en tæt, velhydratiseret cementpasta. Betonen skal i alle niveauer være homogen. Den skal normalt indeholde et indblandet homogent system af små luftporer, og skal efter indbygningen i konstruktionen være uden revner og tegn på unormale kemiske omdannelser. Betonen skal være velkomprimeret.

Anvendelse af fluorescensimpregnerede tyndslib til vurdering og analyse af betonstrukturer, især revner og porøsiteter, muliggør registrering af en række strukturdetaljer, herunder diverse strukturfejl. Mikroanalysen udføres på tyndslib helst omfattende betonens overflade. Tyndslibet gennemgås for grove fejl og man vurderer homogeniteten. Betonens sammensætning med hensyn til materialer kontrolleres. Overfladeforholdene beskrives med hensyn til fejl og afvigelse fra betonens indre struktur ved tælling og vurdering i et antal synsfelter. Vur-

deringen af den indre struktur omfatter følgende:

- Pastarevner (mikrorevner).
- Vedhæftningsrevner (mikrorevner).
- Poreagglomerater.
- Kapillarporøsitet.
- Homogenitet af kapillarporøsitet.

Fine og grove revner samt andre »større« defekter noteres ved ovennævnte gennemgang af tyndslibet.

Ud fra mængden af revner, fejl mv. kan betonen godkendes/ikke godkendes i holdbarhedsmæssig henseende.

Indeholder en beton for mange revner, fejl mv., kan der gives retningslinier for ændringer i betonproduktionen for fremover at få en mere fejlfri beton. Det kan f.eks. være bedre blanding, bedre bearbejdning, bedre afdækning eller ændringer i betonsammensætningen med henblik på at få en mere stabil beton.

Forskellige fejl, f.eks. forkert sandtype, efterdosering af vand på byggepladsen, manglende beskyttelse af nyudstøbt beton, urensede støbeskel, forkert cementtype, for meget vand osv., afsløres let ved mikroanalysen.

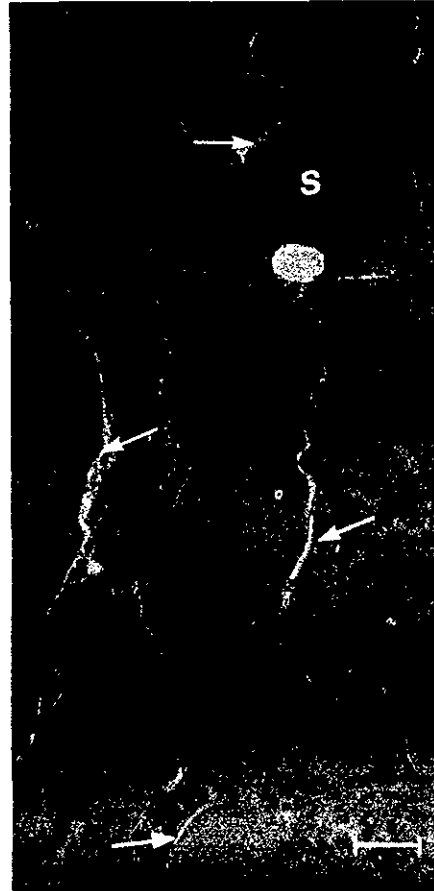
Figur 13. x160 (målestav 0,05 mm). Pore (L) delvis fyldt med grove calciumhydroxidkrystaller (Ca). I den omgivende pasta ses små calciumhydroxid-krystaller. Krydsede nicoller.



Figur 14. x250 (målestav 0,03 mm). Mikrorevner (pasta- og vedhæftningsrevner) fyldt med ettringit (E). Parallelle nicoller.



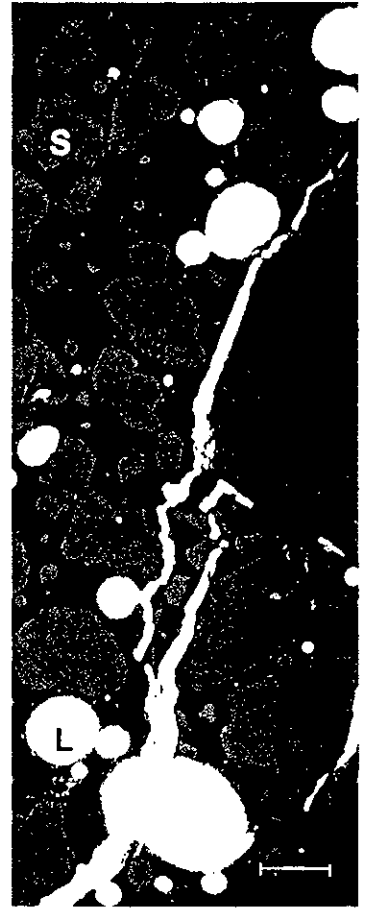
Figur 15. x63 (målestav 0,12 mm). Vedhæftningsrevner ved sten og sandkorn (pile). Cementpastaen er lidt inhomogen (forskellig farve). Fluorescens.



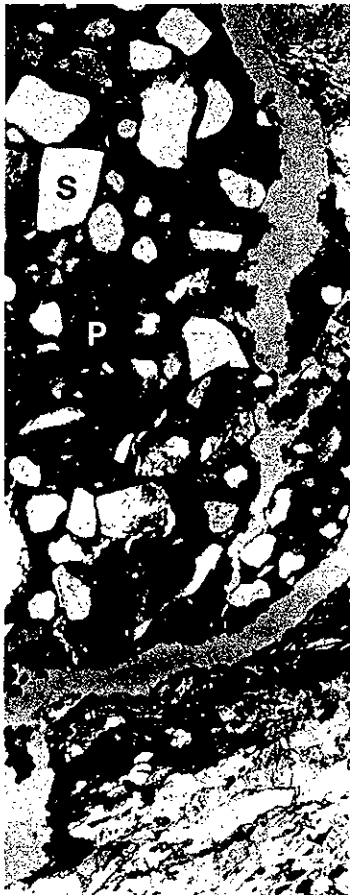
Figur 16. x63 (målestav 0,12 mm). Mikrorevner, mest påstarevner i en tæt (mørk) cementpasta. Fluorescens.



Figur 17. x25 (målestav 0,31 mm). Fine revner i en tæt (mørk) cementpasta. Den ene revne går gennem et tæt sandkorn. Revnen er dannet i en hærdnet beton. Fluorescens.



Figur 18. x25 (målestav 0,31 mm). Grove, meget uregelmæssige revner, antagelig trækbrudsrevner i en meget ung beton. Parallele nicoller.



Figur 19. x25 (målestav 0,31 mm). En beton med karboniseret overflade under 0,1 mm (pil). Desuden ses karbonatisering langs en fin revne ind i betonen (pil). Krydsede nicoller.



## Ordliste

|                  |  |
|------------------|--|
| Agglomerat:      | En tæt klump på 3 eller flere luftporer.   |
| Alkalikiselgel:  | Gel, der almindeligvis er klar, gennemsigtig og ikke krystallinsk, men som dog kan krystallisere i enkelte tilfælde. Dannes ved reaktion mellem porøs kisel (reaktivt sand), alkalier (fra cement, tøsalte, havvand) og calciumhydroxid. Ekspanderer ved fugt-optagelse. |
| Bleeding:        | Vandseparation i betonen, der ses som smalle hulrum langs grænsefladen mellem tilslag og cementpasta. Evt. er der udfældning af calciumhydroxid i hulrummene.  |
| Calciumcarbonat: | $\text{CaCO}_3$ , calcit, ses som pore- og revneudfyldning og som overfladebelægning.  |
| Calciumhydroxid: | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , portlandit. Hydratiseringsprodukt af $\text{C}_3\text{S}$ og $\text{C}_2\text{S}$ .   |
| Cement:          | De synlige cementmineraller er $\text{C}_3\text{S}$ , $\text{C}_2\text{S}$ og $\text{C}_4\text{AF}$ . $\text{C}_3\text{A}$ ses ikke.   |
| Cementpasta:     | Blanding af hydratiseringsprodukter fra cement-vand-reaktionen og uhydriseret cement. Mikrosilica og flyveaske medregnes normalt i pastaen.  |
| Ettringit:       | Nåleformede krystaller af calciumsulfoaluminat, dannet af bestanddele, herunder gips, fra cementpastaen. Dannes også ved sulfatangreb på betonen.  |
| Gips:            | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , calciumsulfat, der findes som bestanddel af cement. Dannes også ved surt angreb (svovlsyre) på beton.  |
| Hydratisering:   | Reaktionen mellem cement og vand, hvorved der dannes en cementgel (cementpasta, cement-lim), der virker som bindemiddel i betonen.   |
| Indblandet luft: | Hertil regnes normalt små og mellemstore kugleporer maks. 0,5-1 mm.  |
| Indkapslet luft: | Hertil regnes uregelmæssige og kantede luftporer i alle størrelser.  |

|                    |   |
|--------------------|---|
| Karbonatisering:   | Under påvirkning af luftens kuldioxid omdannes betonens calciumbærende faser, herunder calciumhydroxid til calciumcarbonat, hvorved pastaen neutraliseres.  |
| Omkrystallisation: | Opløsning af krystaller og genudfældning, enten som samme mineral i en anden form eller som nye mineraler, mest under påvirkning af vand.   |
| Plastisk svind:    | Svind som følge af kraftig udtørring af nyudstøbt beton, ofte med plastiske svindrevner i betonoverfladen til følge.  |
| Plastisk sætning:  | Sætning af frisk beton, ofte med plastiske sætningsrevner til følge.  |
| Porefyldning:      | Luftporer, helt eller delvist fyldt med f.eks. alkalikiselgel, ettringit, calciumhydroxid, calciumcarbonat eller gips.  |
| v/c-forhold:       | Vægtforholdet mellem vand og cement i en cementpasta. Hvis cementpastaen indeholder flyveaske og/eller mikrosilica, kan disse stoffer indregnes i cementmængden med en aktivitetfaktor til et »ækvivalent« v/c-forhold. |

## Litteratur

- [1] Christensen, P., H. Gudmundsson, N. Thaulow, A. Damgaard Jensen og S. Chatterji: »Struktur- og bestanddelsanalyse af beton«, Nordisk Betong, nr. 3, side 4-10, 1979.
- [2] Christensen, P., H. Gudmundsson, N. Thaulow, A. Damgaard Jensen og S. Chatterji: »Måling og vurdering af hærdnet betons holdbarhed«, Dansk Betonforening, publikation 10:1981.
- [3] Damgaard Jensen, A.: »Investigation of Concrete by Analysis of Thin Sections«, IABSE symposium on strengthening of Building Structures, Venedig 1983.
- [4] »Betons holdbarhed. Rapport nr. 2, undersøgelse af udvalgte betonbroer«, Vejdirektoratet 1980.
- [5] Gudmundsson, H., S. Chatterji, A. Damgaard Jensen, H. Thaulow og P. Christensen: »Quantitative Microscopy as a tool for the quality control of concrete«, 3rd International Cement Microscopy Congress, Houston 1981.
- [6] Gudmundsson, H. og P. Christensen: »Luftporemåling i hærdnet beton«, Nordisk Betong, nr. 5, 1978.
- [7] Idorn, G. M.: »Durability of Concrete Structures in Denmark«, København 1967.
- [8] »Portlandcementer« Beton-Teknik 1/01/1983.
- [9] Thaulow, N., A. Damgaard Jensen, S. Chatterji, P. Christensen og H. Gudmundsson: »Estimation of the compressive strength of concrete samples by means of fluorescence microscopy«, Nordisk Betong, nr. 2-4, 1982.
- [10] Christensen, P.: »Sten og sand til beton«, Beton-Teknik 1/05/1982

**Cto** Cementfabrikkernes  
tekniske Oplysningskontor  
Rørdalsvej 44  
Postboks 165  
9100 Aalborg  
Telf. (08) 16 77 77

**AALBORG  
PORTLAND**



Løssalgspris kr. 42,- incl. moms.



## 2.2 Luftporeanalyse

### PRØVNINGSMETODE DBT-LAB-4

Luftporemåling af hærdnet beton

#### 1. ANVENDELSESOMRÅDE

Metoden beskriver

- prøvevalg
- prøvepræparation
- optiske målemetoder
- bestemmelse af luftindhold

med henblik på

- forprøvning i forbindelse med materialevalg
- kvalitetskontrol af den hærdnede beton.

Fastsættelse af tilladelige grænser, stikprøvestørrelser og specifikke beskrivelser af måleapparatur falder uden for denne beskrivelse.

Metoden kan anvendes

- på laboratorier for at bestemme luftblandingsmidlers evne til at danne en ønsket luftporestruktur i forskellige materialekombinationer.
- på byggeplads til kvalitetskontrol af luftporesystemer i den udstøbte beton.

Der måles på cylindre eller terninger af hærdnet beton med optisk metode og følgende parametre beskrives:

Total luftmængde

Specifik overflade

Afstandsfaktor

Kordefordeling som udtryk for luftporestørrelse.

## 2. REFERENCER

DS 423.21: Fremstilling og lagring af støbte prøvelegemer af beton.

DBT-LAB-1: Neddeling af udborede betoncylindre

DBT-LAB-5: Prøvningsmetode for laboratorieundersøgelse af pastaindhold i hærdnet beton

DBT-LAB-8: Fremstilling af støbte prøvelegemer af beton - en modificering af DS 423.

ASIM C457-71

## 3. BEGREBSDEFINITIONER

Følgende begreber anvendes.

### Luftporer:

Kugleformede porer i betonens cementpasta.

### Luftindeslutning:

Lufthuller, som er over 1,5 mm i diameter.

### Totalt luftindhold: A (%)

Det relative indhold af luft i en given beton udtrykt i vol.%.

### Partielt luftindhold: $A_{+xx}$ (%)

Hermed kan luftindholdet i partielle størrelsesområder i luftporesystemet angives, fx i luftporer under 0,30 mm angives som  $A_{-.30}$ % eller over 1,5 mm angives som  $A_{+1,5}$ %.

Fortegnet angiver om luftindholdet ligger over (+) eller under (-).

### Specifik overflade: $S_v$ ( $\text{mm}^{-1}$ )

Overfladearealet af luftporerne i forhold til deres volumen ( $\text{mm}^2/\text{mm}^3$ ).  $S_v$  er den mest anvendte betegnelse i litteraturen.

Afstandsfaktor:  $\bar{L}$  (mm)

En faktor, som er beregnet ud fra luftindhold, cementpastamængde og den specifikke overflade. Denne faktor angiver maksimumafstanden fra et vilkårligt punkt i cementpastaen til den nærmeste poreoverflade, beregnet som gennemsnit gennem prøven.

Korder:  $N_k$  ( $\mu\text{m}$ )

En overskæring af en luftpore eller indeslutning med en testlinie. Korder angives i længder eller antal. Den korteste korde som medtages er ca.  $7 \mu\text{m}$ , en fravigelse fra denne regel skal angives i rapporten under prøvebestemmelser.

Cementpasta: P (%)

P defineres som den del af betonmaterialet, der ikke udgøres af sten, sand med partikelstørrelse over  $30 \mu\text{m}$ , indkapslet luft, luftporer, eller fremmedlegemer.

Regningsmæssigt kan P fastsættes ud fra betonrecepten som det samlede procentvise volumen af cement, puzzolaner, vand og fillerpartikler under  $30 \mu\text{m}$ .

#### 4. PRØVEEMNER

Prøverne kan enten være i form af cylindre eller terninger og stamme fra:

1. Laboratoriestøbninger.
2. Forprøvning på en byggeplads eller i et laboratorium.
3. Byggeplads under og/eller efter udstøbning.

Prøveemnerne kan være udstøbte cylindre eller terninger eller cylindre udborede fra en større betonmasse.

Ved laboratorieprøvninger bør sædvanlige retningslinier for udstøbning af betonprismer følges.

Ved byggepladsprøvning bør de ved produktionen anvendte bearbejdningsmetoder eller metoder i DBT-LAB-8 følges.

Ved rapportering bør angives om målingerne er udført på udstøbte prismer eller udborede cylindre.

Ved neddeling af terninger skæres prøven parallelt med støberetningen.

Ved neddeling af cylindre fra laboratoriestøbninger skæres en skive i midten af cylinderen, ved flere prøver af samme cylinder udtages skiverne jævnt fordelt over hele cylinderen.

Ved neddeling af udborede cylindre fremstilles en plan overflade enten vinkelret på betonkonstruktionens overflade eller parallelt med dens overflade. I rapporten skal angives, hvilken metode der er valgt (Ref. DBT-LAB-1)

Der kontrolleres kun en overflade pr. prøve, overfladens størrelse er angivet i tabel 1. Hvis det skønnes nødvendigt af præparationstekniske grunde, kan prøven opdeles i delprøver. Ved behandling af måleresultater betragtes disse som stammende fra én prøve.

Prøverne bør neddeles sådan, at følgende arealer frilægges til måling:

| <u>Ved stenstørrelse</u> | <u>Areal</u>                |
|--------------------------|-----------------------------|
| Over 60 mm               | 400 cm <sup>2</sup> minimum |
| 60 - 30 mm               | 155 cm <sup>2</sup>         |
| 30 - 10 mm               | 70 cm <sup>2</sup>          |
| under 10 mm              | 60 cm <sup>2</sup>          |

Tabel 1: Størrelse af prøveoverflade afhængigt af stenstørrelsen.

For at luftporeindholdet og luftporestrukturen kan bestemmes, må der fremskaffes en overflade af tilstrækkelig god kvalitet for entydig identifikation af luftporernes afgrænsninger imod cementpastaen.

Der må ikke forekomme udrivninger af sandskorn eller sliberidser, som kan forveksles med porer.

Ved en egnet præparering af overfladen, må der også skabes en tilstrækkelig kontrast for at de tre faser luft, cementpasta og tilslag entydigt kan identificeres.

## 5. MÅLEMETODE

### 5.1 Måleprincipper

Bestemmelse af den hærdnede betons luftindhold foretages ved

- at måle længden af en linie over luftfasen og sætte denne i forhold til en total testlinie eller
- at tælle et antal punkter, som falder inden for luftfasen og sætte dem i forhold til et totalt antal testpunkter.

Målingerne kan foretages ved:

- at tælle eller måle ved hjælp af streg eller punktplade i mikroskopets objektiv og registrere resultaterne manuelt.
- krydsbord på mikroskopet fremføres ved hjælp af motor, evt. tilsluttet en registreringsautomatik. Identifikation og fremføring foretages af en operatør.
- hele arbejdsprocessen d.v.s. fremføring, identifikation og registrering foretages automatisk fx ved at tilslutte et TV-system, optisk scanner el.lign. og en computer til mikroskopet. Identifikation, fremføring og registrering foregår automatisk.

## 5.2 Udstyr

Til forberedelse af prøveemner anvendes betonsave, slibemaskiner og slibemidler.

Til analyse anvendes mikroskop eller andre forstørrelsesaggregater med en tilstrækkelig opløsningsevne udstyret til manuel, semiautomatisk eller automatisk analyse enten efter linear- eller punktællingsprincipperne. Det anvendte udstyr skal have en optisk opløsningsevne, som gør det muligt at identificere partikler ned til ca. 2  $\mu\text{m}$ .

### Maskiner:

Planslibemaskine med diamantkop, korn 55

Planslibemaskine med støbejernsskive.

Betonsav og betonbor

Varmeskab

Mikroskop

Automatudstyr

EDB-anlæg

Ultralydsbad.

### Slibevæske:

Vand

### Slibepulver:

Siliciumcarbidgepulver 320, 600, 800.

### Overfladebehandling:

Neglehærder

Acetone

Spritsfarve

Zinkpasta

Krystallinsk gips, knust

Stålskraber.

### 5.3 Præparation

Betonprøven slibes planparallel og til passende finhed med diamantsliber.

Derefter lægges prøven på slibeskiven og slibes med de angivne slibemidler, indtil en tilstrækkelig overfladekvalitet er opnået.

Prøven tages af plansliberen jævnlige og renses for slibemiddel og slibepartikler. Dette kan gøres ved at afvaske prøven grundigt under rindende vand. Under afvaskning bør man sikre sig, at de små luftporer er rene og uden slibepulver.

Under slibningen og før skift imellem pulverfinheder bør overfladen kontrolleres for udrivninger, sliberidser og nedslidning af cementpastaen.

Når prøven er færdigslebet, skal porekanterne stå skarpe og afgrænse porerne præcist. Der må ikke være knusninger langs korngrænser i tilslaget. Cementpastaen skal være plan med tilslagets overflade og uden sliberidser.

Den færdigslebne prøve renses derefter for alt slibestøv med ultralyd.

Hvis cementpastaen er svag, enten fordi den er ny, eller fordi den er nedbrudt, kan den styrkes på to forskellige måder:

1. Opbevaring i op til 80°C varmt vand (fugtmættet miljø) i 10-12 timer.
2. Ved at påføre overfladen neglehårder fortyndet med acetone før slibningens sidste trin. Neglehårderen skal fjernes fuldstændigt fra porerne med acetone før målingen.

Ved automatiske målinger påføres overfladen spritfarve.

Efter indfarvning slibes prøven ganske let for at få sten og sandmaterialerne fri af farve, prøven renses i ultralyd og tørres i varmeovn.

Derefter tilføres den tilstrækkelige kontrast ved at fylde porerne med zinkpasta, som smeltes ned i porerne. Overskydende zinkpasta renses væk med en skraber. Til sidst dækkes hele prøveoverfladen med gips, som presses ned i zinkpastafyldte porer, den overskydende gips, renses væk med en skraber.

#### 5.4 Målingens udførelse

##### Beskrivelse af luftporesystemet

For at beskrive luftporesystemet, bør følgende størrelser bestemmes:

|                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| Total luftindhold  | A (%)                  |
| Specifik overflade | S ( $\text{mm}^{-1}$ ) |
| Afstandsfaktor     | $\bar{L}$ (mm)         |

Desuden kan man bestemme:

|                     |                |
|---------------------|----------------|
| Partiel luftindhold | $A_{+1,5}$ (%) |
| Partiel luftindhold | $A_{-3,5}$ (%) |

Disse størrelser er tilstrækkelige til en entydig beskrivelse af luftmængde og luftporestruktur.

Ved beregning af afstandsfaktor anvendes den proportionerede eller målte cementpastamængde.

##### Valg af måleområder ved automatisk registrering, DBT luftporemåler

Måleområderne vælges efter en af følgende to måder:

1. Der udvælges et mindre område af planslibet, der ønskes undersøgt.
2. Testlinier placeres fordelt over hele slibet.

Ved valg af testfladen bør man være opmærksom på eventuelle utilsigtede kanteffekter.



### Udførelse af måling

Målingen registrerer længde og antal af alle korder eller punkter, som ligger i luftporer og indeslutninger over ca.  $7\ \mu\text{m}$  samt den totale testlinielængde henholdsvis testpunktantal.

Følgende størrelser foreligger efter målingen.

1. Total linielængde analyseret.
2. Linielængder inden for luftporer eller indeslutninger.
3. Antal korder totalt
4. Antal korder fordeelt i størrelsesklasser.

## 5.5 Beregningsformler

### 1. Volumen luft

$$A_m = \frac{M_L}{M_T} \cdot 100 (\%)$$

$A_m$  = betonens luftindhold i %

$M_L$  = antal billedpunkter placeret i luftporer (linielængde i luftporer)

$M_T$  = total antal billedpunkter eller linielængde

### 2. Specifik overflade $S_V$

$$S_V = 4 \cdot N_L \cdot \frac{100}{A_m}$$

$S_V$  specifik overflade  $\text{mm}^{-1}$

$N_L$  antal korder pr. mm testlinie

### 3. Afstandsfaktor $\bar{L}$

For  $P_p/A_m \geq 4.33$

$$\bar{L} = (1.4 \cdot (P_p/A_m + 1)^{1/3} - 1) \cdot 3/S_V$$

For  $P_p/A_m < 4.33$

$$\bar{L} = \frac{1}{4} \cdot \frac{P_p}{100 \cdot N_L} \quad (\text{mm})$$

$P_p$  proportioneret cementpastamængde

$\bar{L}$  afstandsfaktor

$N_L$  antal korder pr. mm testlinie

#### 4. Antal porer (Lord og Willis)

$$N_{vj} = 2/\pi \left( \frac{N_{Lj}}{a_j \cdot \Delta l} - \frac{N_{L(j+1)}}{a_{(j+1)} \cdot \Delta l} \right)$$

$N_{vj}$  antal porer pr.  $\text{mm}^3$  i klasseintervallet  $j$

$\Delta l$  klasseintervallet

$a_j$  klassemidte

$N_{Lj}$  antal korder pr.  $\text{mm}$  i klasseintervallet  $j$

#### 5. Partiel luftindhold

$$V_{vj} = \pi/6 \cdot N_{vj} \cdot \left( a_j + \frac{\Delta l}{2} \right)^3 (\text{mm}^3)$$

$$A_j = \frac{V_{vj}}{\sum V_{vj}} \cdot 100 \quad (\%)$$

$a_j$  klassemidte

$V_{vj}$  rumfang af porer pr.  $\text{mm}^3$  i klasseintervallet  $j$

$A_j$  rumfang af porer pr.  $\text{mm}^3$  under/over diameter  $xx$

#### 5.6 Måleusikkerheder

Måleusikkerhederne afhænger af slibning, præparationsmetoden, opløsningsevnen i mikroskopet og operatøren.

# DANSK BETON TEKNIK A/S, HELLERUP LUND ALLÉ 21, 2900 HELLERUP

PRØVNINGSRAPPORT : LUFTPORE ANALYSE

UDTAGNINGSSTED : Laboratorieblanding, genbrugsprojekt

KONSTRUKTIONSTYPE: Betonbelægning

REKVIRENT : Miljøstyrelsen

LAB-NR : 86008-288- 1

Dato for modtagelse: 22/12/86

Dato for rapport : 03/02/87

PRØVEMERKE : 0-1, Referencebeton

Antal linier : 40 stk

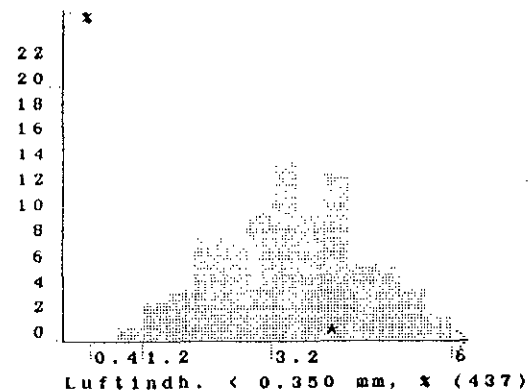
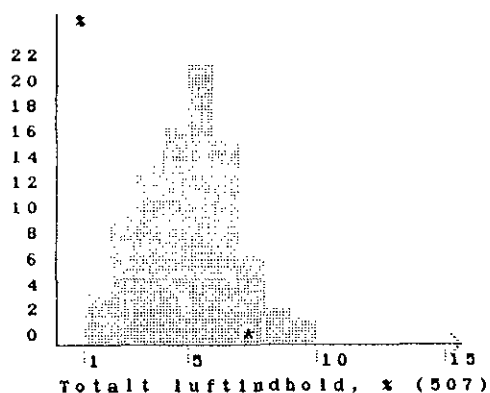
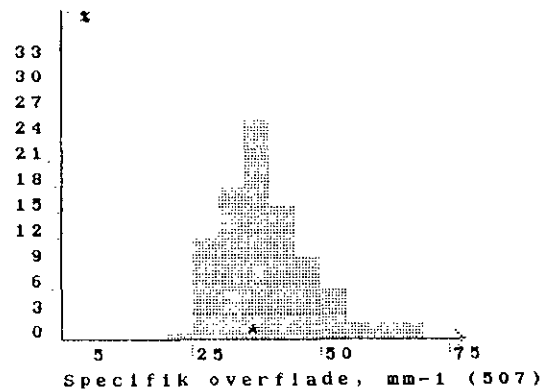
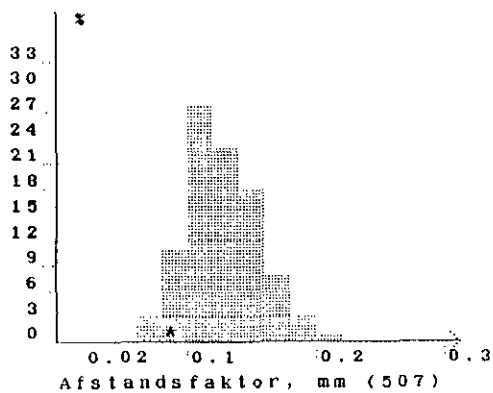
Analyse metode : Planslib  
ASTM C457

## LUFTINDHOLD:

Total : 7.6 %  
< 0,350 mm : 4.3 %  
0,35 - 1,5 mm : 1.8 %  
> 1,5 mm : 0.2 %

Specifik overflade: 36 mm<sup>-1</sup>

Afstandsfaktor : 0.09 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. abskisseværdi.

## SANDS ALKALIKISELREAKTIVITET

### 3.1. Petrografisk analyse af sand

#### 1. ANVENDELSESOMRÅDE

Metoden anvendes til bestemmelse af et sands relative indhold af flint samt den alkalireaktive andel heraf.

#### 2. REFERENCER

- [1] Beton Teknik 1/05/1982: Sten og sand i beton
- [2] Gry og Søndergaard: Flintforekomster i Danmark, 1958
- [3] Thomas Blume: Flint i tyndslib, II-B 1984

#### 3. DEFINITIONER

I metoden anvendes følgende petrografiske grupperinger:

##### A. Tæt flint

Ved tæt flint forstås flint, der ikke har absorberet gult farvestof (Epodye opløst i epoxy) ved vakuumimprægning af tyndslibspræparatet.

Tæt flint repræsenteres af hovedflinttyperne

- tæt kvartsflint (tidligere ofte benævnt Calcedon flint [2])
- tæt kalkkvartsflint (tidligere ofte benævnt Kalkcalcedonflint [2]).

Der adskilles ved den petrografiske analyse ikke mellem ovennævnte typer.

##### B. Porøs kvartsflint eller kalkkvartsflint

Disse flinter tilhører mineralogisk samme gruppe som ovenfor nævnte, men absorberer gult farvestof ved vakuumimprægning af præparat.

Porositeterne lyser gult op ved polarisationsmikroskopisk betragtning med UV-lys og gulfilter.

Flinter af denne type betegnes i nærværende prøvning under ét som Porøs Kvartsflint.

##### C. Opalflint og varianter heraf

Disse flinttyper er porøse i henhold til kriterier angivet ovenfor og indeholder følgende hovedflinttyper:

- Opalflint
- Kalkopalflint

Disse flinter betegnes i nærværende prøvning under ét som Opalflint.

## D. Andet

Herunder medregnes korn, der ikke rubriceres under ovenstående, og som består af rene mineraler eller bjergfragmenter.

### 4. Prøveudtagning

En repræsentativ sandprøve neddeles til ca. 80 g, som tørres i tørreskab ved 105° C til vægskonstans (mindst 6 timer).

### 5. PRØVNINGSMETODE

#### 5.1 Princip

Sand består hovedsageligt af kvarts, feldspat, kalk, flint, porøs flint, glimmer og diverse bjergartsfragmenter.

Da porøse flintholdige korn (normalt kaldet porøs flint) kan forårsage revnedannelser som følge af alkalikiselreaktioner i beton og mørtel, ønskes volumenprocenten af disse korn bestemt i forhold til det samlede antal korn. Volumenindholdet af kalk og/eller glimmer kan eventuelt bestemmes samtidigt. For at kunne bestemme partiklernes mineralogi fremstilles et tyndslib af en repræsentativt udtaget sandprøve, der er imprægneret og sammenstøbt med flourescerende epoxy (epoxy med gult farvestof).

Derefter foretages i polarisationsmikroskop en punkttælling af de forskellige korn indeholdt i sandet, hvorpå deres volumenprocent bestemmes.

#### 5.2 Apparatur

Vægt

Tørreskab : Med ventilation, hvori sandprøven kan tørres ved en temperatur på 105°C.

Imprægneringsudstyr : Eget udstyr

Plastform : Ø 40x25 mm, eller tilsvarende rektangulær

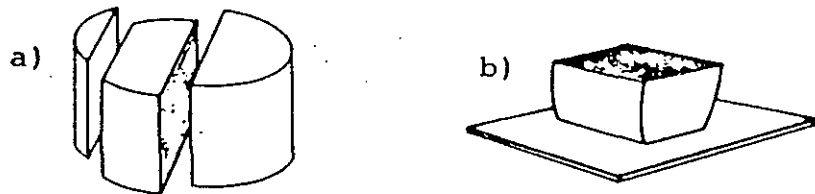
Mikroskop : Polarisationsmikroskop med drejebord, polarisator, analysator,  $\lambda$ -filter, 6,3 x objektiv og 10 x okular med trådkors.  
Halogen lyskilde med interferens filtre.  
Primærfilter: 490 Nm. Sekundærfilter: 515 Nm.

Punkttæller: Tælleenhed (eget fabrikat), der står i forbindelse med en objektholder, som flytter prøven i trin på 0,3 mm.

### 5.3 Forbehandling af prøve

Den udtagne prøve fyldes i den anvendte plástform, hvorefter indeholdt luft evakueres under vakuum. Herefter tilsættes under omrøring epoxy med opløst fluorescensfarvestof.

Sandprøven afformes, efter at epoxyen er hærdet (ca. 1 døgn). Der afskæres langs cylinderens frembringere en skive, således at denne bliver størst mulig. Af denne skive fremstilles et tyndslib efter normal procedure.



Udskæring af prøvecylinder

Prøveoverflade

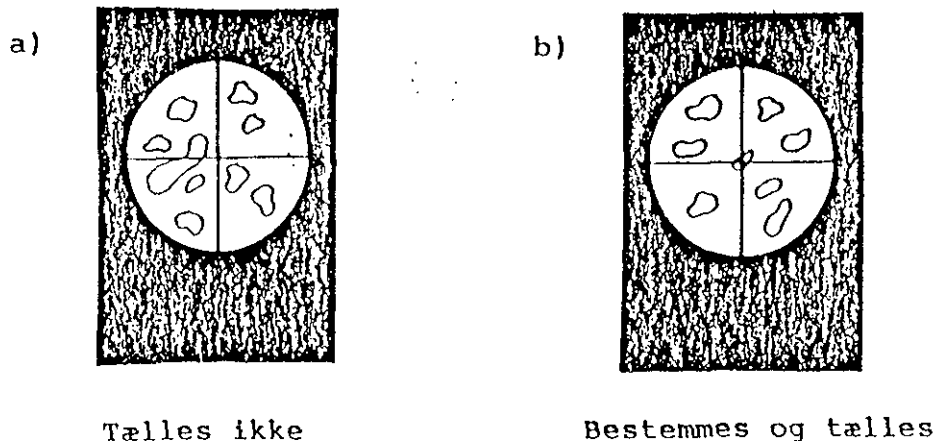
Figur 1: Arbejdsgang ved udskæring af prøvecylinder.

### 5.4 Fremgangsmåde

Tyndslibet placeres i objektholderen, således at en tælling startes nær et hjørne. Den automatiske punkttæller sørger for flytning på tværs af slibet. Flytning i slibets længderetning foretages manuelt (på krydsbordet)

Sandkornenes mineralogi bestemmes i mindst 1800 punkter pr. slib. Punkter, som falder i indstøbningsmediet, medtælles ikke. Kun punkter, der falder i sandskorn, bestemmes og tælles, se figur 2.

Der skal uanset punkttal tælles i punkter jævnt fordelt over hele slibet.



Tælles ikke

Bestemmes og tælles

Figur 2: Punkttælling ved hjælp af trådkors.

## 5.5 Resultater

Den mineralogiske sammensætning af sandet angives i volumenprocent.

$$\text{Flint total} = \frac{N_a + N_b + N_c \times 100}{N_t} = \text{Vol.}\%$$

$$\text{Porøs kvartsflint} = \frac{N_b \times 100}{N_t} = \text{Vol.}\%$$

$$\text{Opalflint} = \frac{N_c \times 100}{N_t} = \text{Vol.}\%$$

hvor:

$N_a$  = registrerede punkter i tæt kvartsflint

$N_b$  = registrerede punkter i porøs kvartsflint

$N_c$  = registrerede punkter i opalflint

$N_t$  = punkter ialt

Resultatet angives som indhold i vol.% af flint total, porøs kvartsflint og opalflint.

## 5.6 Nøjagtighed

For at sikre repræsentativitet i den undersøgte prøve vil det normalt være nødvendigt at fraktionere sandet i fraktionerne 0/2 mm og 2/4 mm før præparation.

En sådan procedure anses arbitrært for nødvendig, såfremt der påvises eller forventes et højt indhold af porøse flintvarianter i 2/4 mm-fraktionen.

For at opnå en tilstrækkelig statistisk sikkerhed bør en præpareret prøve indeholde mindst 1800 korn, og der bør tælles i mindst 1800 punkter.

Dette medfører normalt behov for fremstilling af følgende antal tyndslib:

0/2 mm-fraktionen - 1 slib pr. prøve.

2/4 mm-fraktionen - 5 slib pr. prøve.



## PROJEKT VEDRØRENDE GENBRUGSBETON

### 3.2 Prøvningsmetode for udførelse af mørtelprismeeekspansion

I forbindelse med projektets undersøgelser af de nedknuste sands alkalikiselreaktivitet er gennemført en række analyser af mørtelprismers ekspansion ved lagring i varmt saltvand.

Disse analyser er gennemført på grundlag af prøvningsmetode udgivet af Teknologisk Institut, Byggeteknik.

Prøvningsmetoden er betegnet:

TI-B 51, Sands alkalikiselreaktivitet, 1985-04-12.

Der bringes i det efterfølgende kopi af denne prøvningsmetode.

1. Anvendelsesområde

Metoden kan anvendes til kontrol af et sands evne til at udvikle alkalikiselreaktioner ved lagring af mørtelprismer i varmt saltvand.

2. Referencer

TI/Byggeteknik: Undersøgelse og klassifikation af danske sandforekomster, 1980.

Beton-teknik 1/05/1982: Sten og sand til beton.

S. Chatterji: Cement and Concrete Research, nr. 8, side 647-650, 1978.

DS 427: Portlandcement.

Sands vandbehov, TI-B 53.

3. Definitioner

Følgende definitioner anvendes i prøvemethoden:

Længde  $l_1$  [mm]  
-----<sub>1</sub>

Indvendig længde imellem måletappe (referencelængde) efter vandlagring i 4-5 uger.

Længde  $l_0$  [mm]  
-----<sub>0</sub>

Måleursaflæsning imellem måletappe efter vandlagring i 4-5 uger.

## PROJEKT VEDRØRENDE GENBRUGSBETON

### 3.2 Prøvningsmetode for udførelse af mørtelprismeeekspansion

I forbindelse med projektets undersøgelser af de nedknuste sands alkalikiselreaktivitet er gennemført en række analyser af mørtelprismers ekspansion ved lagring i varmt saltvand.

Disse analyser er gennemført på grundlag af prøvningsmetode udgivet af Teknologisk Institut, Byggeteknik.

Prøvningsmetoden er betegnet:

TI-B 51, Sands alkalikiselreaktivitet, 1985-04-12.

Der bringes i det efterfølgende kopi af denne prøvningsmetode.

### 1. Anvendelsesområde

Metoden kan anvendes til kontrol af et sands evne til at udvikle alkalikiselreaktioner ved lagring af mørtelprismer i varmt saltvand.

### 2. Referencer

TI/Byggeteknik: Undersøgelse og klassifikation af danske sandforekomster, 1980.

Beton-teknik 1/05/1982: Sten og sand til beton.

S. Chatterji: Cement and Concrete Research, nr. 8, side 647-650, 1978.

DS 427: Portlandcement.

Sands vandbehov, TI-B 53.

### 3. Definitioner

Følgende definitioner anvendes i prøvemethoden:

Længde  $l_i$  [mm]  
-----<sub>i</sub>

Indvendig længde imellem måletappe (referencelængde) efter vandlagring i 4-5 uger.

Længde  $l_o$  [mm]  
-----<sub>o</sub>

Måleuraflæsning imellem måletappe efter vandlagring i 4-5 uger.

Længde  $l_n$  [mm]

Måleuraflæsning imellem måletappe efter lagring i saltbad i n uger.

Længdeændring  $\Delta l_n$  [o/oo]

Prøveprismers længdeændring  $\Delta l_n (l_n - l_0)$  i promille efter n uger i saltbad i forhold til referencelængden  $l_i$ .

Længdeændring  $\Delta \bar{l}_n$  [o/oo]

Gennemsnitlig promillelængdeændring for de 3 prøvelegemer ved de givne måleterminer.

#### Prøveudtagning

Ud fra en tørret sandprøve på 3 kg frasigtes korn større end 4 mm. Der fremstilles 3 stk. mørtelprismer, 40 x 40 x 160 mm, i vægtforholdet 3 dele sand til 1 del cement, PC /A/L/S) og  $v/c = 0,50$ , og med konsistensen, målt med et faldbordsmål [4], på 150-200 mm. Om nødvendigt tilsættes plastificeringsmiddel til opnåelse af dette. I hver ende-flade af prismerne indstøbes en måletap. Fremstillings-procedure af prøveprismer ellers efter DS 427 [3].

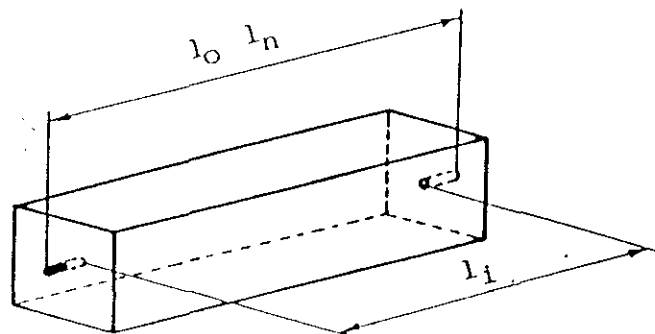


Fig. 1. Prøveprisme, 40/40/160 mm.

Mørtelprismerne afformes efter 1 døgn, prismerne vejes og densitet bestemmes. Luftindholdet beregnes. Hvis luftindholdet overstiger  $x\%$ , kasseres prismerne. En ny støbning foretages derefter med mørtel med højere konsistens eller bedre kan prismerne vandlagre i 4-5 uger ved  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

## 5. Prøvningsmetode

### 5.1 Princip

En mørtel med et alkalireaktivt sand, som vandlagres i alkaliholdigt varmt mættet saltvand (NaCl), vil reagere ved, at materialets porøse flintpartikler udvikler ekspanderende alkalireaktioner. Herved opstår et tryk på omgivelserne ud fra de reaktive partikler. Dette tryk kan medføre revnedannelser og blivende forlængelse, hvilket kan måles.

### 5.2 Apparatur

Måleur med 1/1000 mm inddeling.

Måletappe af rustfast stål.

Termostatstyret vandbad ( $+20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ).

Termostatstyret saltbad ( $+50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) mættet af NaCl.

### 5.3 Prøveforberedelse

På hver af de 3 prøveprismer bestemmes længden  $l_i$  som totallængde minus længde af måletappe.

### 5.4 Fremgangsmåde

Måleuraflæsningen  $l_o$  registreres efter vandlagring.

De 3 prøveprismer anbringes nu i saltbadet med en temperatur på  $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Volumet af opløsningen skal være mindst 4 gange det samlede prisme-volumen, og prismene skal lagres således, at opløsningen har uhindret adgang til alle flader.

Måleursaflæsningen  $l_n$  registreres efter henholdsvis (2,4,6) 8, (12,16) og 20 uger.

Forud for hver måling (ca. 15 timer) igangsættes afkøling af lagringskar fra  $50^{\circ}\text{C}$  til  $20^{\circ}\text{C}$ .

Måleoperationen foretages ved  $+ 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### 5.5 Resultater

Prismernes længde ændring  $\Delta l_n$  i promille beregnes af formelen:

$$\Delta l_n = \frac{l_n - l_0}{l_1} \cdot 1000 \text{ [o/oo]}$$

Længdeændringen præsenteres som et gennemsnit af resultater for de 3 prizmer ved de forskellige terminer,  $\Delta l_n$ .

### 5.6 Usikkerheder

Den reaktive andel af sandet er begrænset og findes ofte i den grove fraktion. Dette stiller store krav til prøveudtagningen.

Ved udstøbning er den foreskrevne konsistens af blandingen vigtig, da mørtelens luftindhold kan have indflydelse på expansionen.

### 5.7 Rapportering

Prøvelegemers længdeændring afbildes som funktion af prøvningstid eller gives i skemaform.

I rapporten angives bl.a.:

- Rekvirent.
- Sandets oprindelse.
- Prøvens udtagningssted.
- Prøveudtager.
- Prøvestørrelse.
- Mørtelens densitet.
- Expansionen efter 8 og 20 uger.
- Tilstedværelsen af revner og "springere" efter 8 og 20 uger.



## PROJEKT VEDRØRENDE GENBRUGSBETON

### 4. Prøvningsmetode for sands vandbehov

#### 1. Formål og anvendelsesområde

Forskellige sand har forskelligt vandbehov, når de anvendes til beton og mørtel.

Når der skal anvendes beton med lavt vandindhold (lavt vand/cement forhold), bør der vælges et sand med et lavt vandbehov.

Dette vandbehov måles i Danmark normalt efter en modificeret ASTM-metode (ASTM C 618). Ved metoden bestemmes den sandmængde, der skal tilsættes 600 g cement og 360 g vand for opnåelse af et faldbordsmål på 200 mm. Massen er et udtryk for sandets vandbehov.

#### 2. Referencer

DS 427, pkt. 4.6.2.1 og 4.6.2.4.

ASTM C 230.

ASTM C 618.

Rapport til Miljøstyrelsen 1987, Beskrivelse af nedknust betons densitet, vandabsorption og mørtelindhold.

TI-B 53, Sands vandbehov.

#### 3. Prøveudtagning

Der udtages en repræsentativ prøve på 8 kg af det pågældende sandmateriale

#### 4. Prøvningsmetode

4.1 Apparatur ved denne prøvning udgøres af følgende:

- Faldbord, som beskrevet i ASTM C 230
- Mørtelkegleform som beskrevet i ASTM C 230
- Vægt med en nøjagtighed på 0,1%
- Blandemaskine med kapacitet min. 5 l, max 10 l.
- Sandsigter jf. DS 405.

#### 4.2 Forbehandling af prøver

Det anvendte sand bibringes vandmættet, overfladetør tilstand (MOI).

Derefter foretages en kontrolsigtning til dokumentation af sandets kornkurve. Udviser denne sigtning indhold i sandet af korn over 4 mm, foretages en frasisgning af disse korn i hele sandprøven.

#### 4.3 Fremgangsmåde

600 g cement PC (A/HS/FA/G) jf. DS 427 (lavalkali-cement) og 360 g vand blandes med 1300 g sand efter

foreskrifterne i DS 427, afsnit 4.6.2.4.

Derefter bestemmes mørtelens konsistens ved, at der på faldbordet fremstilles en mørtelkegle ved at fylde kegleformen i 2 lag á 25 mm, der hver stemples 20 gange.

Efter at kegleformen er fjernet gives faldbordet 10 fald med interval mellem faldene, svarende til 100 fald pr. minut.

Herefter måles mørteludbredelsen som gennemsnit af mindst 4 diagonaler.

Proceduren gentages ved, at det materiale, der anvendes til foregående udbredelsesmåling, tilbageføres til blanderen, hvorefter der tilsættes yderligere 300 g sand, der blandes i den tidligere fremstillede mørtel. Med denne mørtel gentages faldbordsmålingen, hvorefter proceduren med tilsætning af yderligere 300 g sand gentages. Forsøget fortsættes indtil udbredelsesmålet er mindre end 180 mm.

#### 4.4 Resultater

De målte gennemsnit af mørtlernes udbredelsesmål plottes i et koordinatsystem med udbredelsesmålet som funktion af den tilsatte sandmængde.

Sandmængden, svarende til et udbredelsesmål på 200 mm, bestemmes ved direkte aflæsning på funktionskurven, der skal beskrive en ret linie. Denne aflæste sandmængde opgives som udtryk for sandets vandbehov.

# PROJEKT VEDRØRENDE GENBRUGSBETON

## FROSTPRØVNING

### 5.1 Modificeret Dobrolubov-Romer metode

Den i efterfølgende beskrevne metode anvendes som accelereret prøvning til bedømmelse af et betonmateriales frostbestandighed.

Prøvningsbetegnelse DBI.LAB.9.

#### 1. Anvendelsesområde

Metoden kan anvendes til kontrol af frostbestandigheden af hærdnet beton.

#### 2. Referencer

Dobrolubov og Romer, 1977: Richtlinien zu Bestimmung und Prüfung der Frost-Tausalzbeständigkeit von Zementbeton, Labor für Präparation und Methodik, Schweiz.

#### 3. Definitioner

Længde  $l_0$ : Måleurstmåling imellem måletappe efter vandmætning ved 20°C.

Længde  $l_n$ : Måleurstmåling imellem måletappe efter n frost/tø cykler målt i overfladetør tilstand ved 20°C i mm.

$\Delta l_n$  o/oo: Længdeændring af prøvelegemer efter n frost/tø cykler udtrykt i o/oo af

#### 4. Prøveudtagning

Af den aktuelle betonprøve fremstilles pr. prøvning 3 stk. udsavede prismer 30x30x70 mm. De således fremstillede prøvelegemer pålimes med plastic-padding måletappe centralt i endefladerne.

#### 5. Prøvningsmetode

##### 5.1 Princip

En beton, der ikke er frostbestandig, antages at reagere på en påvirkning bestående af vandbelastning og frostpåvirkning.

Reaktionen kan registreres som afskalning eller smuldring af cementpasta, som afskalning af mørtel, som afskalning af stenmateriale eller som revnedannelse i betonprismet.

Det kan konstateres, at der samtidig med en frostnedbrydning kan registreres en blivende forlængelse af prøvelegemerne.

Disse forlængelser lægges i nærværende metode til grund for en vurdering af betonmaterialets frostbestandighed.

## 5.2 Apparatur

Bore- og skæreværktøj til prøveudtagning og neddeling af prøvelegemer.

Måletappe af rustfast stål til længdemålinger.

Måleur med 1/1000 mm registrering.

Målestand, der sikrer en standardiseret anvendelse af måleuret.

Standardprøvelegeme til kontrol før og efter registrering med måleur af nulpunktsfejl.

Termostatstyret frostbad med temperatur  $+ 20^{\circ}\text{C}$  uden anvendelse af alkaliskse tøsalte.

Termostatstyret optøningsbad med temperatur  $+ 20^{\circ}\text{C}$ .

Automatisk overføringsudstyr, der gennemfører transport af prøvelegemer fra frostzone til optøning i en given cyklus. Udstyret skal kunne indstilles til gennemførelse af et multiplum af 50 cykler med afslutning i optøningszonen.

## 5.3 Fremgangsmåde

Prøver nedsænkes i vandbad ( $+ 20^{\circ}\text{C}$ ) og vandmættes til opnåelse af vægtkonstans. Denne prøvningspræparation udstrækkes til min. 3 døgn.

Prøvelegemernes længde mellem måletappe  $l_0$  måles efter en aftørring af prøverne med en klud.

Det sikres, at temperaturen i målerummet er  $+ 20^{\circ}\text{C}$ .

Prøvelegemerne placeres derefter i prøveapparatet, der indstilles til gennemførelse af 50 cykler bestående af 20 min. ophold i frostbad og efterfølgende 10 min. i optøningsbad.

Gennemsnittet af længdeændring  $\Delta l_n$  for de til en prøvning hørende 3 prøvelegemer udregnes og resultatet indtegnes i et diagram som vist på efterfølgende bilag.

## 6. Vurdering af måleresultat

Betonens karakteriseres efter den målte forlængelse, idet høj frostbestandighed kan tillægges prøver, hvor den gennemsnitlige ekspansion efter 350 frost/tø cykler ikke overstiger 1 o/oo. Karakteren middel/god frostbestandighed tillægges beto-

ner, hvor ekspansion af prøvelegemer efter 350 frost/tø cykler ikke overstiger 2 o/oo.

Ekspansionen over 2 o/oo efter 350 cykler fører til bedømmelsen "lav frostbestandighed efter nærværende prøvningsmetode".

Ved uddybning af måleresultaterne kræves mindst prøvning af 3 prøver af den hærdnede beton (min. 9 prøveprismer).

Får alle disse prøver karakteren høj frostbestandighed er det et udtryk for, at betonen selv i aggressiv miljøklasse vil vise sig at være frostbestandig.

I de fleste tilfælde vil karakteren middel/god frostbestandighed gives betoner, der under normale danske klimaforhold vil udvise god frostbestandighed.

Det vil være normalt, at beton, der efter nærværende prøvningsmetode karakteriseres som havende lav frostbestandighed, ikke viser sig frostbestandig under aggressive miljøbelastninger.

#### 7. Gennemførelse af afkortet prøvning

Det vil i mange tilfælde, hvor prøvning af frostbestandigheden ikke er et led i en dokumentation af en kontraktopfyldelse eller mangel herpå, være tilstrækkeligt at gennemføre en prøvning omfattende 200 frost/tø cykler.

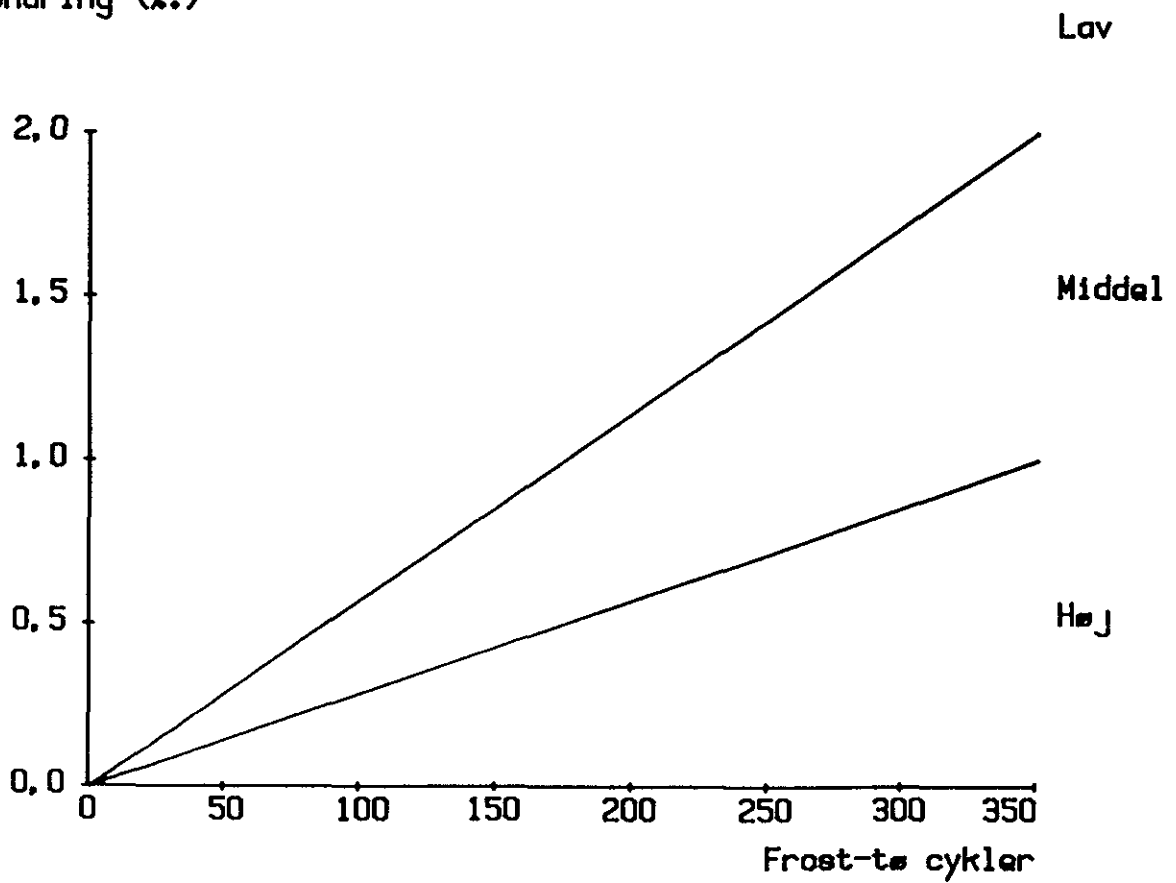
# FROST-TØ PRØVNING

## DBT LAB. 9 (Mod. DR-metode)

Rekvirent  
Prøvenr.

— Middelværdi (N= )  
| Spredning

Længde-  
ændring (%)



FROSTBUST-ANVISNINGER