



**TI-B 4 (83)
Prøvningsmetode
Luftporemåling af hærdnet beton**

Prøvningsmetode Luftporemåling af hærdnet beton

Deskriptorer:

Luftporemåling, hærdnet beton

Udgave: 1
Dato: Nov. 1983
Sideantal: 8
Udarbejdet af: HG

Prøvningsmetode Luftporemåling af hærdnet beton

1. Anvendelsesområde

Metoderne beskriver

- prøvevalg
- prøvepræparation
- optiske målemetoder
- parameter til bestemmelse af luftindhold og cementpastamængde i hærdnet beton

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 luftindblandingsmidlers evne til at danne en ønsket luftporestruktur i forskellige materialekombinationer
- på byggeplads til kvalitetskontrol af luftporesystemer i den udstøbte beton
- samt begge steder til at måle den totale cementpastamængde i en given betonmængde samt pastaens fordeling i en given beton.

Der måles på cylindre eller terninger af hærdnet beton med optiske metoder og følgende parametre beskrives:

Total luftmængde
Specifik overflade
Afstandsfaktor
Cementpastamængde.

2. Referencer

- DS 423.21: Fremstilling og lagring af støbte prøvelegemer af beton.
- SS 137210: Cylinderhållfasthed i hårdnad betong.

- NS 427A: Betongarbejde, del 2: Prøvningsmetoder.
- 251B001: Neddeling af udborede betoncylindre.

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 (α) [mm⁻¹]

Overfladearealet af luftporerne i forhold til deres volumen (mm²/mm³). S_v er den mest anvendte betegnelse i litteraturen.

Afstandsfaktor: 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 [μm]

En overskæring af en luftpore eller indeslutning med en testlinie. Korder angives i længder eller antal. Den korteste kode som måles, er ca. 7 μm, en fravigelse fra denne regel skal angives i rapporten under prøvebestemmelser.

Cementpasta: P [%]

Cementpasta måles som % af total prøvestørrelse og beregnes som % fast

stof i prøven, det vil sige korrigeres for andel luft. Partikler under 30 µm kan betragtes som tilhørende cementpastaen.

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 på pladsen anvendte bearbejdningsmetoder følges.

Ved rapportering bør angives om målingerne er udført på udstøbte prismar 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. TI-B 2).

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 en prøve.

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

Ved stenstørrelse	Areal
over 60 mm	400 cm ²
60 - 30 mm	155 cm ²
30 - 10 mm	70 cm ²
under 10 mm	60 cm ²

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 luftcementpasta- og tilslag entydigt kan identificeres.

5. Målemetode

5.1 Måleprincipper

Bestemmelse af den volumetriske sammensætning af betonen foretages ved:

- at måle længden af en linie over en given fase og sætte denne i forhold til en total testlinie eller
- at tælle et antal punkter, som falder inden for en given fase 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 dvs. fremføring, identifikation og

registrering foretages automatisk f.eks. ved at tilslutte et TV-system 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 µm.

Maskiner:

Planslibemaskine med støbejernsskive
Betonsav og betonbor
Køleskab
Varmeskab
Mikroskop

Slibevæske:

3/4 glycerol, 1/4 vand eller 1/4 butandiol mod 3/4 vand.

Slibepulver:

Siliciumcarbidgepulver 120, 330, 320, 600, 800.

Overfladebehandling:

Neglehærder
Acetone
Stempelpude og stempelfarve (sort)
Zinkpasta
Gipspulver
Stålskraber

5.3 Præparation

Betonprøven lægges 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.

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 (fugtmettet miljø) i 10-12 timer.
2. Ved at påføre overfladen neglehærder fortyndet med acetone før slibningens sidste trin. Neglehærderen skal fjernes fuldstændigt væk fra porerne med acetone før målingen.

Ved automatiske målinger påføres overfladen sværte enten med en plan stempelpude eller rulle for at skabe det nødvendige kontrastgrundlag.

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

5.4.1 Beskrivelse af luftporesystemet

For at beskrive luftporesystemet, bør følgende størrelser bestemmes:

Total luftindhold	A (%)
Specifik overflade	S (mm ⁻¹)
	—
Afstandsfaktor	L (mm)

Desuden kan man bestemme:

Partiel luftindhold	A _{+1,5} (%)
Partiel luftindhold	A _{-,35} (%)

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

Ved beregning af afstandsfaktor anvendes den proportionerede cementpastamængde.

Valg af måleområder:

Måleområderne vælges efter en af følgende to måder:

1. Vælg områder efter et forudvalgt mønster f.eks. ved at vælge koordinater for begyndelsespunktet og lægge testlinier eller testarealer jævnt fordelt over hele prøvens areal.
2. Placer testlinier tilfældigt (randomiceret) på testfladen.

Ved valg af testfladen kan der lægges en zone på 1 cm langs prøvens yderkanter for at undgå eventuelle kanteffekter.

Udførelse af måling:

Målingen registrerer længde og antal af alle korder eller punkter, som ligger i luftporer og indeslutninger over ca. 7 μm samt den totale testlinielængde henholdsvis testpunktantal.

Følgende størrelser bør foreligge efter målingen:

1. Totalt antal punkter eller total linielængde analyseret.
2. Mængden af punkter eller linielængden inden for luftporer eller indeslutninger.
3. Antal korder totalt.
4. Antal korder fordelt i størrelsesklasser.

5.4.2 Måling af cementpasta

Ved cementpastamålinger bestemmes cementpastaen i forhold til total betonvolumen (pasta + tilslag + luft).

Cementpasta P_m [%]

Derefter korrigeres for luftindholdet, sådan at pastaen opgives i % af betonens faststof (total volumen minus luft).

Cementpasta P_k [%]

Ved manuel måling registreres cementpastaen samtidig med måling af luftindholdet og porestrukturen.

Ved automatisk måling må der skabes kontrast ved specialpræparering i fortsættelse af luftmængdemålingen.

Udførelse af måling

Der følges generelt samme procedure som ved luftporemåling, dog kan man ved automatisk måling vælge en højere forstørrelse på grund af lavere krav til opløsningssevnen. (De mindste partikler som skal identificeres er 30 μm i diameter).

1. Totalt antal punkter eller linielængde analyseret (jf. 5.1).
2. Mængden af punkter eller linielængden inden for luftporer eller indeslutninger (jf. 5.1).
3. Mængden af punkter eller linielængden inden for cementpasta (evt. luft + cementpasta).

5.5 Beregningsformler

1. Volumen luft

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

A_m = betonens luftindhold i %

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

M_T = totalt antal billedpunkter eller linielængde

2. Specifik overflade S_V

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

S_V = specifik overflade 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 $P_p / A_m < 4.33$

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

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. mm^3 i klasseintervallet j

Δl klasseintervallet

a_j klassemidte

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

5. Partiel luftindhold

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

$$A_j = \frac{V_{vj}}{\Sigma V_{vj}} \cdot 100 \text{ (%)}$$

a_j klassemidte

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

A_j rumfang af porer pr. mm^3 under/over diameter xx

6. Cementpasta P_m [%]

$$P_m = \frac{M_{L+P} - M_L}{M_T} \cdot 100 \text{ [%]}$$

P_m målt pastamængde

M_{L+P} antal billedpunkter eller linielængde i luft- og cementpasta

M_L antal billedpunkter eller linielængde i luft

M_T total antal billedpunkter

7. Cementpasta korrigeret P_k [%]

Den korrigerede cementpasta beregnes ud fra formlen:

$$P_k = \frac{P_m}{100 - A_m} \cdot 100 \text{ [%]}$$

P_k cementpasta i forhold til faststof

5.6 Måleusikkerheder

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

5.7 Rapport

Ved rapportering kan format vælges frit, men følgende data bør opgives.

Hovedoplysning, identifikation

- Identifikation af det udførende laboratorium
- Identifikation af rapport
- Formål med måling
- Prøveidentifikation
- Prøveudtagning

Prøvebestemmelser

- Henvisning til anvendte standardbeskrivelser
- Beskrivelse af målemetode
- Fremhævelse af afvigelses

Resultater

- Prøvenummer
- Totalluft (A) (%)
- Specifik overflade (S_v) (mm^{-1})
- Partiel luft (A_{xx}) (%)

- Afstandsfaktor (\bar{L}) (mm)

Resultater opgives sædvanligvis med to betydende cifre.

Bilag

Til bilag henføres detailoplysninger om f.eks.

- Prøveudtagning
- Prøveneddeling
- Specielle målebetingelser
- Udskrift af måleresultater for enkeltprøver
- Oplysninger om tillægsmålinger og måleværdikorrektioner
- Materialeoplysninger.

Appendix

A. Neddeling af prøver

1. Terninger
2. Cylindre
3. Referencer

Litteratur

ASTM C 457-71

Luftporemålinger i hærdnet beton
H. Gudmundsson, P. Christensen,
Nordisk Beton 5-1979.

The Precision and The Microscopical
Determination of the Air-Void System in
Hardened Concrete
Hermann Sommer
Cement, Concrete and Aggregate
Vol. 1, No. 2 1979, pp. 45-55

Statistische Beurteilung des
Analytischen Teils der Bestimmung der
Frost-Tausalzbeständigkeit von Beton
gemässe Richtlinien SNV 640 461.
B. Romer et al
Betonstrassen - april 1979.

Calculation of Air Bubble Size
Distribution from Results of a Rosiwal
Traverse of Created Concrete
Lord and Willis
ASTM Bulletin No. 177, oct. 1951, pp.
56-61.

Quantitative Stereologi
Underwood, E.E.
Addison-Wesley, 1970.