

DBF

FLYDEBETON

**B. HYLÉN
H.H. BACHE**

**PUBLIKATION 2:1978
DANSK BETONFORENING**



DANSK BETONFORENING

FLYDEBETON

et arrangement i serien om praktisk betontechnologi
afholdt den 18. januar 1978 i
Ingeniørhuset, København

B. HYLÉN
ingeniør ved Cementa AB, Malmö

H.H. BACHE
civilingeniør ved Cement- og Betonlaboratoriet
Aalborg Portland

København, oktober 1978

INDHOLD

	Side
Forord	3
Praktisk anvendelse af super- plastificerende tilsætningsstoffer B. Hylén, v/Chr. Justesen	5
Superplastificerende tilsætningsstoffers effekt for flydning og komprimering af frisk beton H.H. Bache	9
Resumé	9
Partikelmaterialers flydemodstand	11
Mekanisk komprimering eller overfladeaktive stoffer	15
Flydespænding	18
Flydeopførsel	21
Bleeding	25
Højstyrkeflydebeton	30
Afslutning	34

F O R O R D

DANSK BETONFORENING vil gennem sin publikationsvirksomhed bl.a. medvirke til, at en del af de arrangementer, der afholdes i København, kan blive gjort tilgængelige for en bredere kreds af interesserede, der måske har haft vanskeligt ved at afse tid og kræfter til at deltage i mødet.

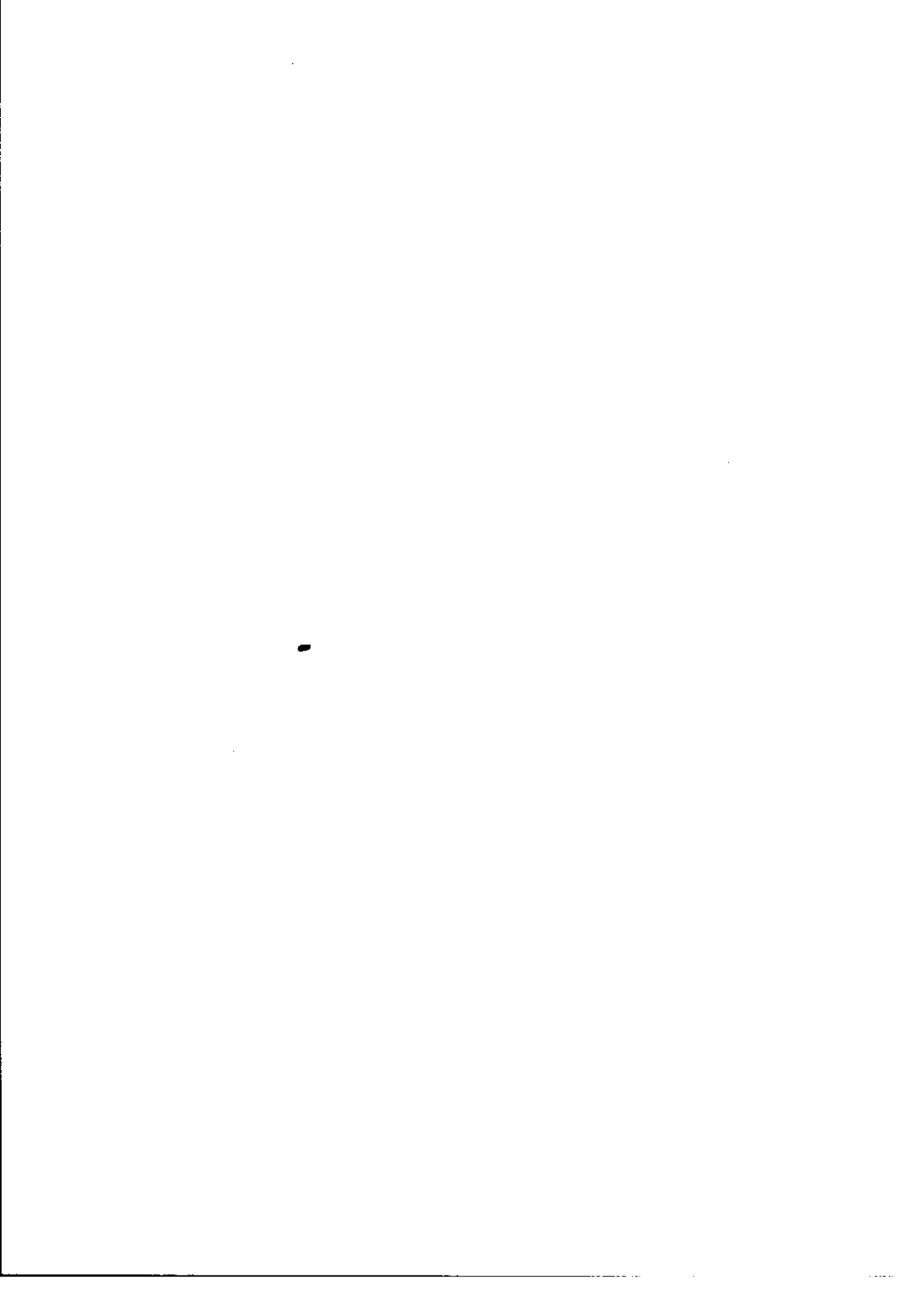
Denne publikation skal ses i denne sammenhæng.

Desværre har det kun været muligt at få manuskript til det ene af de to indlæg, nemlig civilingeniør H.H. Bache's om den teoretiske baggrund for superplastificerende tilsætningsstoffers virkemåde på den friske beton.

Det andet indlæg, ingeniør B. Hylén's om den praktiske anvendelse af superplastificerende tilsætningsstoffer, var bygget op omkring en lysbilledserie, der viste praktiske eksempler. Dette indlæg vil blive belyst gennem det referat, som civilingeniør Chr. F. Justesen har skrevet til "ingeniøren".

Det er Publikationsudvalgets håb, at publikationen alligevel må være af interesse for DANSK BETONFORENING's medlemmer og andre med interesse for emnet.

Svend Pedersen.



PRAKTISK ANVENDELSE AF SUPERPLASTIFICERENDE
TILSÆTNINGSSTOFFER.

B. HYLÉN, Cementa AB, Malmö

(Uddrag af referat til "ingeniøren" ved civilingeniør
Chr. F. Justesen)

Halvdelen af al superplastificeret beton i Sverige anvendes af betonelementindustrien. En vigtig årsag hertil er rent arbejdsmiljømessig. Ved tilsætning af superplastificeringsmiddel (SPT) gøres betonen flydende - sætmål større end 20 cm. Den kræver derefter ikke den sædvanlige kraftige vibrering for at komme på plads i formene. Svenske elementfabrikker reducerer lydproblemerne væsentligt på denne måde, f.eks. kan antallet af formvibratører reduceres til ca. det halve. Dette nævnte ingeniør B. Hylén fra Cementa AB, Malmö ved Dansk Betonforenings første arrangement i forårssæsonen 1973 den 18. januar i DIF. Arrangementet havde titlen "Flydebeton" og Hyléns indlæg udgjorde første halvdel heraf.

Danske ingeniører er ret tilbageholdende med anvendelse af SPT, vel hovedsagelig på grund af en række dårlige erfaringer. Ude i verden er flydebeton derimod en stor succes. Fordelene ved flydebeton er nævnt efter aftagende vigtighed:

1. Bedre bearbejdelighed
2. Vandbesparelse
3. Opnåelse af flydeegenskaber (f.eks. ved pumpning)
4. Høje tidlige styrker

Hvis man overholder de tre følgende punkter, vil fremstillingen af flydebeton normalt ikke volde problemer:

- a. Husk: Ikke al beton kan gøres til flydebeton ved tilsætning af SPT.
- b. 270 kg/m^3 cement er minimum for at få en god flydebeton.
- c. Mængden af cement + filler (korndiameter mindre end $0,25\text{mm}$) skal være større end 400 kg/m^3 .

Bleeding vil ikke forekomme, hvis betonen er af høj kvalitet inden tilsætning af SPT.

Flydebeton er ikke i sig selv frostbestandig.

SPT indvirker normalt ikke på andre tilsætningsmidler som f.eks. luftindblanding (frostbestandighed). Erfaringer viser dog, at SPT + luftindblanding nok giver den ønskede luftprocent, men ikke den bedste luftporefordeling med henblik på frostsikring. Cementa's laboratorium arbejder netop nu med et nyt luftindblandingsmiddel som i forbindelse med SPT, giver den bedste luftporefordeling, svarende til at den såkaldte afstandsfaktor bliver relativ lille.

Flydebeton kræver ikke særligt udstyr på arbejdspladsen, f.eks. ikke specielt tætte forme.

Flydebeton har en højere m^3 pris end sædvanlig beton. Til gengæld spares på bearbejdningsomkostningerne.

Flydevirkningen holder ikke længe, kun ca. $\frac{1}{2}$ time (der nævnes dog eksempler på, at man ved tilsætninger kan nå op på 2 timers virkning).

Det årlige svenske forbrug af flydebeton er 3 å 4 gange så stort som det danske. Det svenske fordeler sig på følgende områder:

50 %	Elementfabrikkerne
50%	{ Fabrik beton
	{ Spartling af gulve
	{ Specialprodukter

Denne sammensætning vil nok forekomme danske ingeniører at være ret bemærkelsesværdig.



SUPERPLASTIFICERENDE TILSETNINGSSTOFFERS EFFEKT FOR FLYDNING OG KOMPRIMERING AF FRISK BETON

H. H. BACHE, Cement- og Betonlaboratoriet, Aalborg Portland

Hærdet betons egenskaber afhænger i væsentlig grad af koncentrationen af cement i den cementpasta, der sammenlimer sand- og stenpartiklerne. Jo højere cementkoncentration eller jo lavere vand-cementforhold jo bedre kvalitet.

Tiltrækkende kræfter mellem cementpartikler sammenlåser disse og vanskeliggør flydning og komprimering af den friske beton. Disse kræfter sætter en grænse for, hvor langt man i praksis kan reducere vand-cementforholdet.

Superplastificerende tilsætningsstoffer (SPT), der adsorberes på cementpartiklernes overflade, søger at skubbe partiklerne fra hinanden, hvorved deres indbyrdes bevægelighed øges.

SPT muliggør, at man kan bearbejde frisk beton med højere cementkoncentration (mindre vand-cementforhold) og hermed - med almindelig støbeteknik - fremstille beton med stærkt forbedrede egenskaber eller, at man med vanlig betonkvalitet kan gøre brug af stærkt forenklet støbeteknik gennem brug af ekstremt letflydende beton.

I dette indlæg gives hovedtræk i SPT's fysisk-mekaniske virkemåde til at bibringe frisk beton og specielt frisk cementpasta letflydende. Desuden omtales konsekvenser for praksis og udvikling. Der vil derimod ikke blive redegjort for stoffernes kemiske struktur og heller ikke for deres effekt på den kemiske strukturdannelse ved cementens hydratisering.

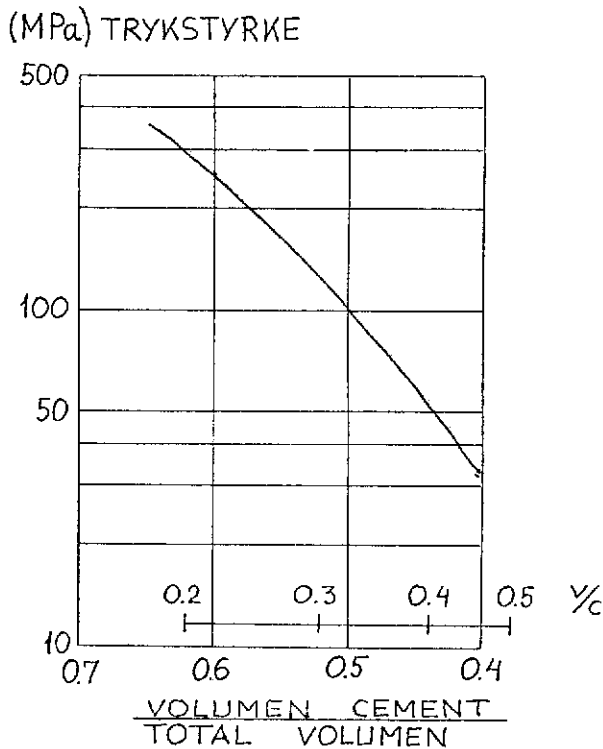


FIG 1

Afhængighed mellem trykstyrke og porøsitet for hærdnet cementpasta. Eksperimenterne er udført med små cylindformede prøver (volumen 1 cm^3) fremstillet ved vibropresning med oscillerende trykpåvirkning op til 10 MN/m^2 for de tætteste prøver [1]. For normal god beton er porøsiteten af cementpastaen omkring 0,6-0,5 svarende til vand/cementforhold 0,5-0,3 efter vægt.

I eksperimenterne anvendes væsentlig kraftigere komprimering end ved vanlig betonfremstilling resulterende i pastastykker op til 350 MN/m^2 . Dette styrkeniveau er 5-10 gange højere end styrken af den cementpasta, der sammenkitter sand og sten i sædvanlig beton.

Der refereres til porøsiteten af cementpulveret forud for hydratisering.

(Fra Beton - Teknik 3/06/1976)

Styrke af hærdet cementpasta og hermed af hærdet beton vokser kraftigt med cementkoncentrationen i den friske cementpasta som vist i FIG. 1.

Cementpartiklernes kornform og kornkurve muliggør i sig selv en meget tæt pakning (volumenkoncentration på omkring 0.65 , hvilket svarer til et vand-cementforhold efter vægt på 0.17).

Praktiske erfaringer viser imidlertid, at man med vanlig bearbejdningsteknik ikke tilnærmelsesvis kan arbejde med eller opnå så høje cementkoncentrationer. Det skyldes tiltrækkende kræfter mellem cementpartikler, der fastlåser partiklerne og forhindrer indbyrdes glidning. Materialet udviser kohæsiv deformationsmodstand.

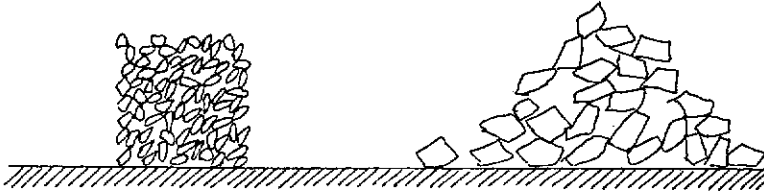
Vore daglige erfaringer med pulvermaterialer - sukker, mel, ler, sand, cement o.s.v.-viser os visse almene tendenser om partikelmaterialers flydemodstand, nemlig at en sådan kohæsiv modstand er karakteristisk for de finkornede materialer, at modstanden vokser med partikelkoncentrationen og med styrken af bindingskræfterne mellem partiklerne (se FIG. 2).

Kampen mellem ydre påvirkninger og indre sammenhæng som følge af tiltrækkende overfladekræfter virkende mellem partiklerne kan illustreres ved en masterkurve (FIG. 3), hvor partikel-tæthed er afbildet som funktion af påvirkningen.

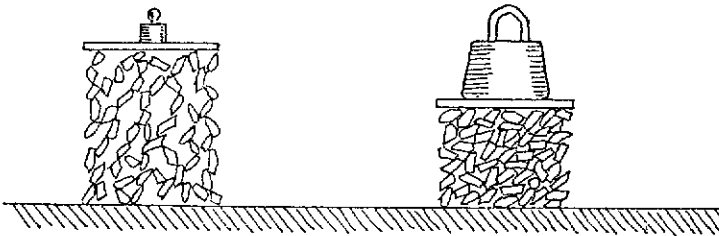
$\frac{pD}{Y}$ (den dimensionsløse påvirkning) angiver forholdet mellem kraften virkende på den enkelte partikel, hidrørende fra ydre påvirkninger og indre modstand mod at flytte (forskyde eller adskille) partiklen i forhold til nabopartiklen.

Det ses at overfladekræfters låsende effekt er større jo mindre partikelstørrelsen (D) er - eller med andre ord - jo mere finkornet cementen er. Med samme ydre påvirkning (tryk- eller forskydningspåvirkning p) opnås således lavere dimensionsløst tryk $\frac{pD}{Y}$ med finere cement (mindre D) og en tilsvarende lavere cementkoncentration. Dette forhold afspejles bl.a. i vandbehov af danske standardcementer (se FIG. 4), hvoraf det fremgår, at vandbehovet steg (svarende til at cementkoncentrationen faldt) med øget cementfinhed.

Partikelstørrelse (D)



Partikelkoncentration



Overfladekræfter (energi γ)

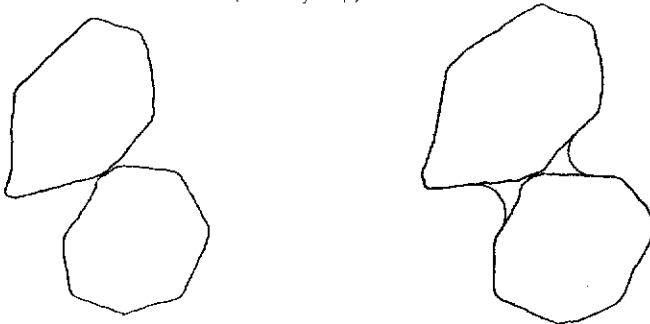


FIG. 2. Indre sammenhæng af partikelmateriale.
Effekt af partikelstørrelse, partikelkoncentration
og størrelse af overfladekræfter.

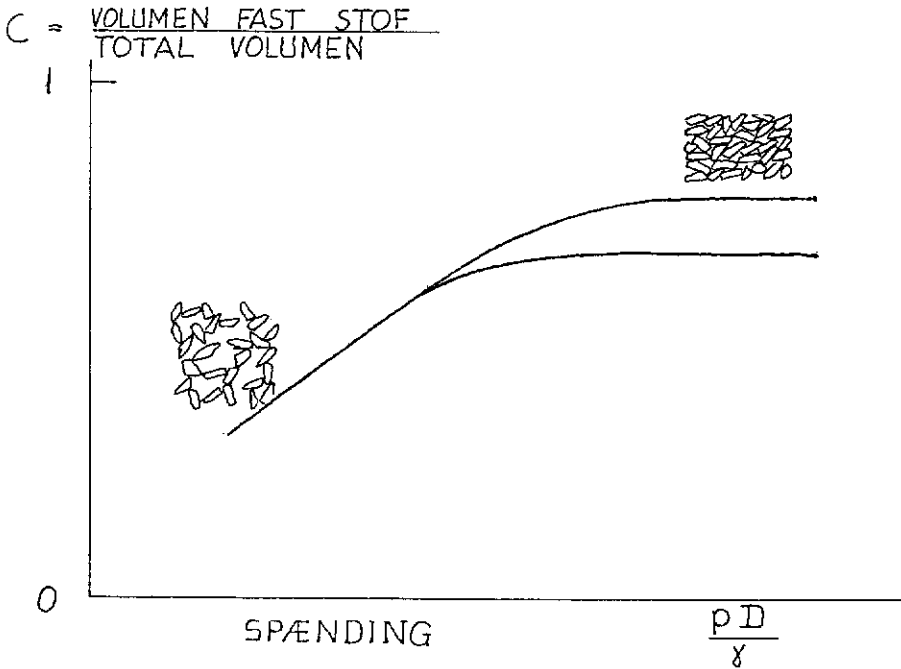


FIG. 3. Komprimerings- eller flydespænding for partikelmateriale fastholdt af indre overfladekræfter. Abscissen angiver forholdet mellem ydre kraft virkende på en partikel ($F_y = pD^2$) og indre sammenhængskraft fra en nabopartikel ($F_i = \gamma D$). Arbitrær skala, $\frac{pD}{\gamma}$ vokser mod højre.

Løs partikelstruktur kan bringes til at flyde for små værdier af $\frac{pD}{\gamma}$, mens tæt partikelstruktur kræver store værdier af $\frac{pD}{\gamma}$ for at flyde.

Partikelpakning med komprimering med meget høje værdier af dimensionsløs spænding er ikke betinget af overfladekræfter, men af partikelgeometri og orientering af mekaniske påvirkninger

C volumenkonzentration fast stof partikler =
volumen fast stof/totalvolumen

D karakteristisk partikeldimension (m)

p komprimerings- eller flydespænding (N/m^2)

γ overfladeenergi (N/m) ... er lig arbejdet per frigjort fladeenhed ved at adskille planparallelle flader fra kontaktafstanden til uendelig afstand.

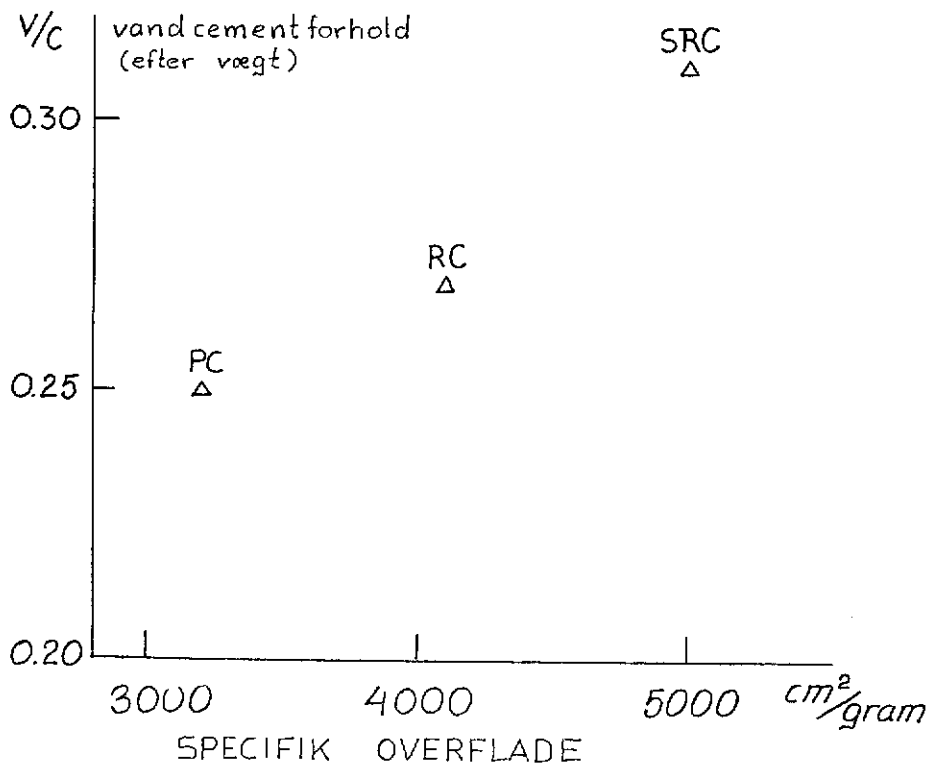


FIG. 4. Effekt af cementfinhed for vandbehov af frisk cementpasta med vanlige danske cementtyper. Som et mål for finheden af cementen er angivet den specifikke overflade bestemt ved luftgennemstrømning (Blaine). Vandbehovet er bestemt som den vandmængde, der netop giver den pågældende friske cementpasta en specificeret plastisk konsistens.

To forskellige midler kan tages i anvendelse for at øge cementpartikelpakningen, nemlig krættig mekanisk komprimering hvor ydre mekaniske påvirkninger overvinder materialets indre modstand mod at lade sig pakke tættere og overfladeaktive stoffer, der reducerer eller eliminerer kræfterne, der låser partiklerne sammen.

I FIG. 1 er førstnævnte middel "mekanisk komprimering" taget i anvendelse.

SPT er en konsekvent udnyttelse af det andet middel "overfladeaktive stoffer til at reducere eller eliminere overfladekræfterne", der sammenlåser partiklerne.

Lad os se lidt nøjere på de kræfter, der sammenlåser cementpartikler i vanlig frisk beton.

Der synes i dag ikke at være fuld klarhed over, hvilke kræfter, der virker mellem cementpartikler i "kontakt" i vandig suspension. Der er dog grund til at tro, at der i væsentlig grad er tale om de såkaldte Van der Waahlske kræfter. Det er kræfter, der virker direkte mellem molekulerne i de to nabopartikler. Det er svage bindinger, ofte med betydelig rækkevidde sammenlignet med atomare dimensioner. Andre, stærkere mere korttrækkende bindingstyper er sandsynligvis også aktuelle i mindre omfang.

Uanset arten af overfladekræfterne vil deres effekt for kraftpåvirkningen mellem partikler i kontakt kunne udtrykkes ved en overfladeenergi γ . γ er defineret som arbejdet pr. frigjort areal ved åbning af en plan spalte fra den oprindelige kontaktafstand (gerne nogle få Ångstrøm) til uendelig (se FIG. 5).

Med indførelse af begrebet overfladeenergi mellem partikler har man indenfor colloidvidenskaben beregnet den aktuelle kraft, der sammenholder partikler i kontakt (se FIG. 6)

$$F_a = \text{konst. } \gamma \cdot D \quad * \quad (1)$$

hvor D er en karakteristisk partikeldimension.

* Specielt for lige store kugler haves trækraften $F = \frac{1}{2} \gamma D$, hvor D refererer til partikeldiameteren.

Kraften for at adskille to partikler er givet ved (1). Kraften, der kræves for at forskyde to partikler indbyrdes er proportional med adskillelseskraften $F_r = F_a \cdot \mu$ (se FIG. 7).

Ved flydning af partikelmaterialer, hvis indre sammenhæng er bestemt af overfladekræfter mellem partikler i kontakt, kræves at de ydre påvirkninger - tryk, forskydning eller træk - er i stand til at overvinde de indre kræfter, der modsætter sig partikeladskillelse, -glidning og -rulning.

Under forudsætning af, at partikelglidning og -adskillelse er de dominerende modstandsbidrag, findes ved at opstille indre kraftbalance (FIG. 8), flydekriterier på formen

$$p = \text{konstant} \frac{Y}{D}$$

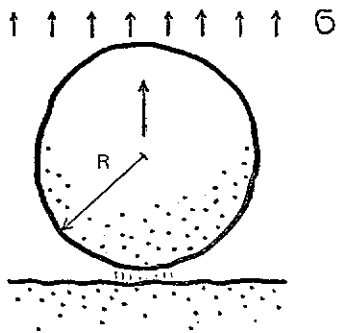
hvor p er den påførte flydespænding.

Konstanten afhænger af partikelgeometrien d.v.s. kornform, relativ kornstørrelsesfordeling og indbyrdes placering af partiklerne. Det ses at flydespændingen er omvendt proportional med partikeldimensionen og proportional med overfladeenergien.

Vi vender igen tilbage til masterkurven (FIG.3). Vi ser, at den dimensionsløse spænding $\frac{pY}{D}$ angiver forholdet mellem ydre påført spænding (p) og indre overfladekraftbetinget sammenhæng pr. fladeenhed partikelmateriale ($\frac{Y}{D}$).

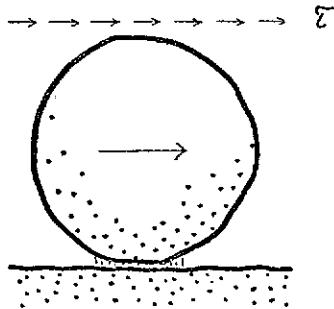
Masterkurven uddyber og kvantiserer således vore erfaringer om pulvermaterialers flydespænding:

1. For et givet pulvermateriale vokser flydespændingen med partikelkoncentrationen.
For geometrisk ligedannede partikelsystemer - ens kornform, relativ partikelstørrelsesfordeling og partikel-pakning ses det, idet $\frac{pD}{Y}$ holdes konstant, at
2. flydespændingen øges når partikelstørrelsen mindskes (vokser omvendt proportionalt med partikelstørrelsen) og
3. flydespændingen vokser ligefrem proportionalt med overfladeenergien.



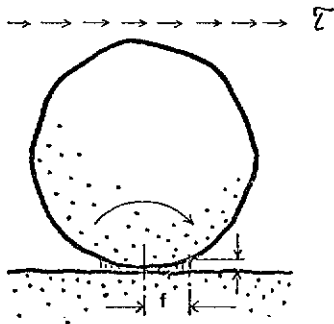
Separation

$$\sigma \approx \frac{\gamma_0}{R}$$



Shear

$$\tau \approx \mu \frac{\gamma_0}{R}$$



Rolling

$$\tau \approx \frac{f \gamma_0}{R^2} \approx \left(\frac{\Delta_0}{R}\right)^{1/2} \left(\frac{\gamma_0}{R}\right)$$

Stresses required to move particles relative to each other 1) separation, 2) shear and 3) rolling in cases where resistance to the movement is dominated by surface forces

FIG 7

COHESION OF PARTICULATE MATTER — Draft figures, 16 April 1974 ©

By Hans Henrik Bache

Aktieselskabet Aalborg Portland-Cement-Fabrik

RESEARCH and DEVELOPMENT, Concrete Research Laboratory Karlstrup, Denmark

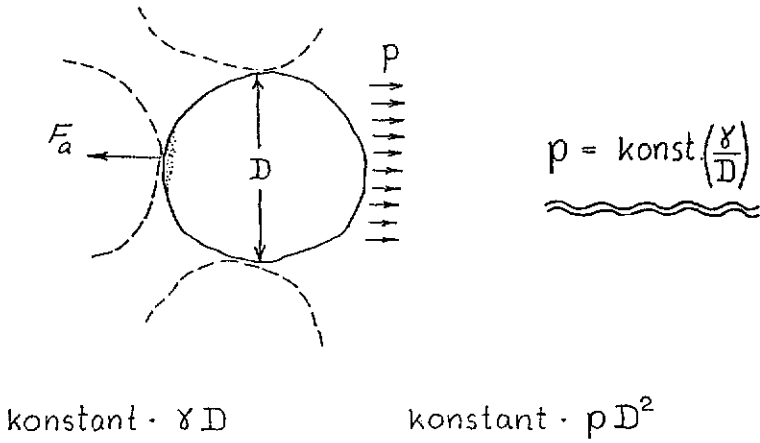


FIG. 8. Brud- eller flydekriterium for partikelmateriale sammenholdt af overfladekræfter. Kræfter på en partikel hidrørende fra ydre påvirkninger (spænding p) afbalanceres med indre sammenhængskraft fra nabopartikel (γD).

SPT praktisk taget eliminerer den låsende partikeltrækning. SPT er overfladeaktive stoffer, ofte bestående af lange molekuler opløst i blandedvandet. Molekulerne er specielt karakteriserede ved, at de er meget ivrige efter at sætte sig på overfladen af partiklerne. SPT virker ved, at molekulerne adsorberes på cementpartiklernes overflade (se FIG. 9). På grund af deres lyst til at sætte sig på overfladerne er de i stand til at adskille nabopartikler fra direkte kontakt. Herved mindskes tiltrækningen og glidningsfriktionen reduceres, forhold der begge letter indbyrdes partikelbevægelse og medvirker til at gøre cementpastaen flydende.

Diskuteret i lys af den dimensionsløse afbildning i FIG. 3 betyder det, at vi med SPT har reduceret overfladeenergien γ til nul eller i hvert fald til en meget lille størrelse. Herved har vi gjort det dimensionsløse tryk eller spænding $\frac{pD}{\gamma}$ meget stor, så vi selv med meget små påvirkninger (p) og meget finkornet cement (partikelstørrelse D) har cementpasta, hvis flyde- og pakningsmodstand kun afhænger af partikelgeometri og viskos modstand i fluidfasen, og ikke som for vanlig beton også af overfladekræfter.

Masterkurven er baseret på ren deduktion. Den er fremkommet ved at anvende Deryagin og Overbeeks klassiske modeller for kræfter mellem to colloide partikler (1) på partikelmaterialer.

Formålet med at betragte flydning af cementpasta og frisk beton i lys af denne afbildning er tofoldigt, dels kan det fremme forståelsen af alm. betons og flydebetons opførsel som vi observerer den, dels - og det er nok vigtigere - giver det vejledning for udvikling af ny og endnu bedre flydebeton og nyt udstyr til blanding og komprimering.

Flydeopførsel. Almindelig cementpasta udviser udpræget plastisk-viskos opførsel, karakteriseret ved øget letflydenhed med øget påvirkning. Der er tale om ikke tæt pakkede partikelsystemer i en væskefase. Ubelastet danner cementpartiklerne et netværk sammenholdt i kontaktpunkterne af overfladekræfter. Udsættes materialet for forskydningspåvirkninger udover en vis grænseværdi, brydes bindingerne. Med øgede forskydningspåvirkninger nedbrydes stadig flere partikelbindinger, og materialets deformerbarhed øges tilsvarende (FIG. 10 og 11).

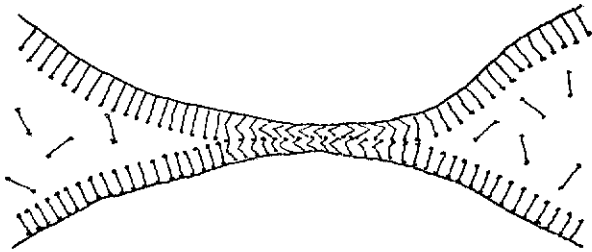
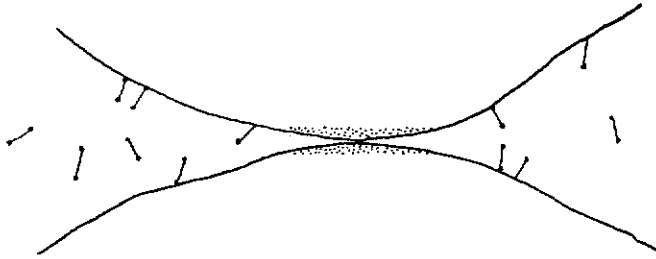
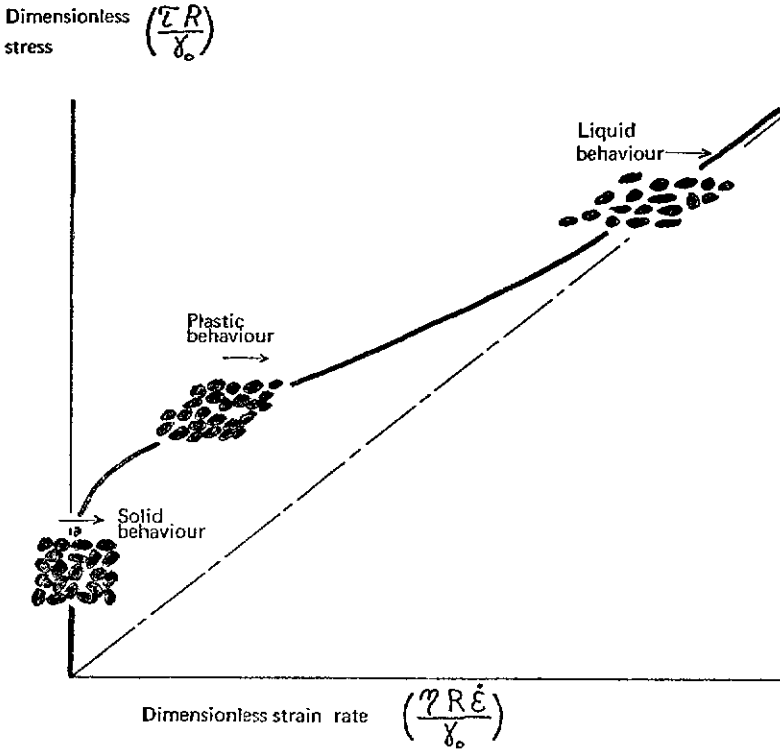


FIG. 9. Virkemåde af overfladeaktive plastificeringsstoffer. Plastificeringsstofferne opløses i vand. De består af lange molekyler, som er ivrige efter at sætte sig på partiklernes overflade. De søger at kile sig ind mellem partikler i kontakt og skubbe dem fra hinanden.



Shear behaviour of a cohesive viscous particle system. (Non-cohesive viscous matrix and solid particles, where surface forces between the particles cause the cohesive behaviour).

The master curve shown is valid for geometrically similar systems. A given point corresponds to a given kinematic system.

Example: Two particle systems with identical surface energy (γ_0) and matrix viscosity η but with different particle size (r and R) will behave in a kinematically identical manner when the external stress changes from τ to $\tau \frac{r}{R}$.
The output - rate of strain will then changes from $\dot{\epsilon}$ to $\dot{\epsilon} \frac{r}{R}$

Fig 10

COHESION OF PARTICULATE MATTER — Draft figures, 16 April 1974 ©

By Hans Henrik Bache

Aktieselskabet Aalborg Portland-Cement-Fabrik

RESEARCH and DEVELOPMENT, Concrete Research Laboratory Karlstrup, Denmark

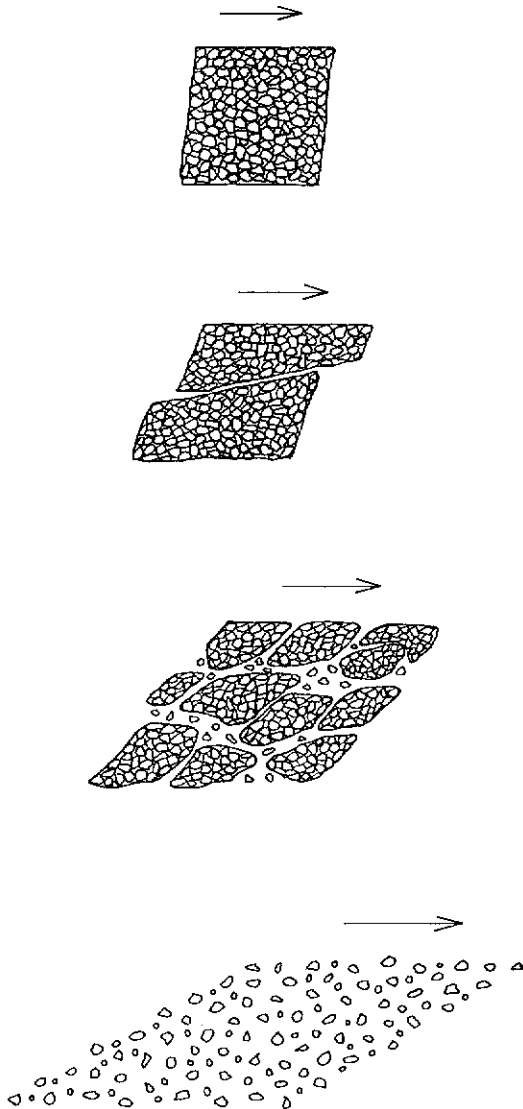


FIG. 11. Shear behaviour of a cohesive viscous particle system (Non-cohesive viscous matrix and solid particles, where surface forces between the particles cause the cohesive behaviour).

Cementpasta med lavt vand-cementforhold gjort flydende med SPT udviser markant anderledes flydeopførsel (FIG. 12). Ved langsom forskydning flyder pastaen som en træg væske. Ved hurtige forskydninger øges materialets modstand meget kraftigt - pastaen ligesom stivner og rives over i stedet for at flyde. Der er tale om et materiale med en væskefase, hvori der findes tæt pakkede partikler, der ikke er sammenholdt indbyrdes. Materialet lader sig let deformere ved langsomme påvirkninger, hvor partiklerne kan lempes rundt mellem hinanden. Ved højere forskydningshastigheder kræver bevægelserne, at partikelsystemet åbner sig (volumenudvidelse). Herved vil der induceres indre undertryk i væskefasen, som søger at modvirke volumenudvidelsen, hvorved bevægelsen blokeres. Denne opførsel, der er karakteristisk for partikelsystemer bestående af tætpakkede partikler i en væskefase, benævnes dilatans (FIG.13).

Opførselen afspejles kraftigt i betonpraksis, f.eks. ved tvangsblanding af højstyrkeflydebeton, hvor modstanden mod hurtig omrøring er markant højere end for vanlig beton, selvom flydebetonen ved efterfølgende konsistensmåling viser sig at være ekstremt flydende.

Der kan peges på muligheder for udvikling af nye fremstillingsprocesser specielt egnede for at bearbejde højstyrkeflydebeton. F.eks. vil langsom blanding hjulpet med højfrekvent vibrering og komprimering ved højfrekvent "simrende" vibration forekomme egnede til at blande og komprimere sådanne udprægede dilatante partikelmaterialer.

Bleeding. Bleeding betegner vandudskillelse på overfladen af den friske beton efter udstøbning og komprimering forårsaget af yderligere pakning af faststofpartiklerne under indvirken af tyngden (FIG. 14).

Selvom man med flydebeton ofte arbejder med ekstremt lave vand-cementforhold (0.3-0.2) indebærer materialet altid en potentiel risiko for bleeding. Det skyldes, at den maximale partikelkoncentration, hvormed man kan have en flydende cementpasta, hvor partiklerne ruller over hinanden, er mindre end den man opnår ved sedimentation, hvor partiklerne ikke ruller men glider sammen i tæt pakning (FIG.15).

FORSKYDNINGSSPÆNDING

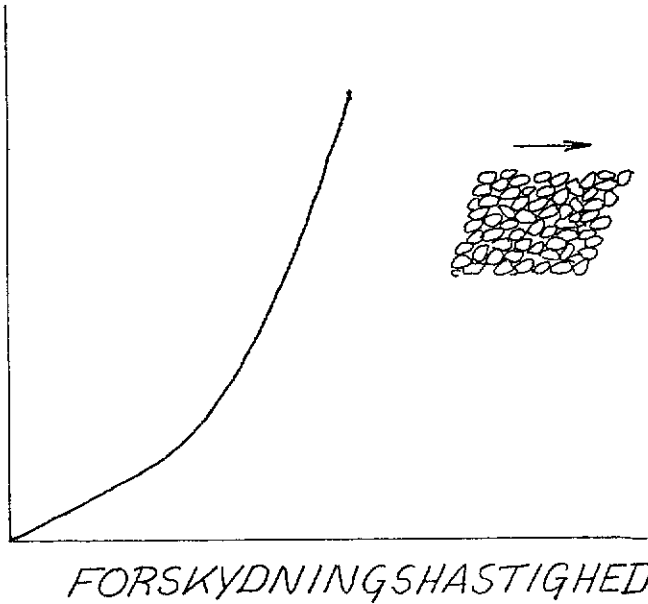


FIG. 12. Flydeopførsel af tætpakkede ikke overfladekraftbundne partikler i væske.

Ved langsomme påvirkninger flyder materialet som en træg væske. Ved hurtigere påvirkninger stiger modstanden drastisk.

Flydning ved hurtige påvirkninger er betinget af væsentlig løsningen af de tætpakkede partikler. Herved etableres et undertryk i væsken, der modsætter sig bevægelsen, resulterende i den drastiske modstand.

Denne flydeopførsel benævnes dilatans.

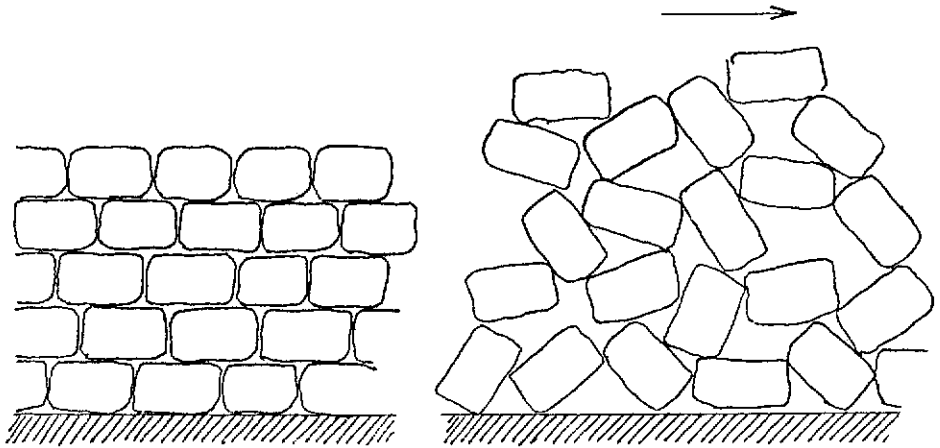


FIG. 13. Flydeopførsel af tætpakkede ikke overfladekraftbundne partikler i væske.

Ved langsomme påvirkninger flyder materialet som en træg væske. Ved hurtigere påvirkninger stiger modstanden drastisk.

Flydning ved hurtige påvirkninger er betinget af væsentlig løsningen af de tætpakkede partikler. Herved etableres et undertryk i væsken, der modsætter sig bevægelsen, resulterende i den drastiske modstand.

Denne flydeopførsel benævnes dilatans.

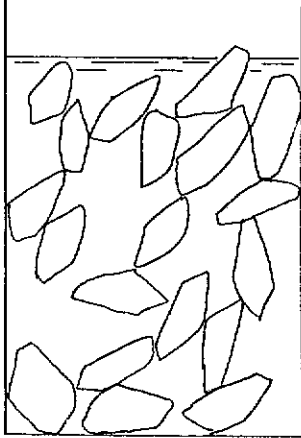
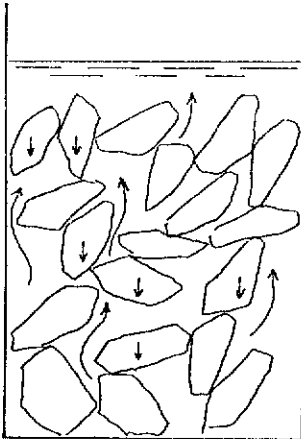


FIG. 14. Bleeding er den betonteknologiske betegnelse for væskeudskillelse af faststofpartikler i væske under indvirken af tyngdekraften. Der refereres gerne til den sidste del af sedimentationsprocessen, hvor partiklerne glider fra en næsten sammenhengende struktur ned i et indbyrdes tættere og stabilt leje. Bleeding er betinget af såvel



1. bevægelse (flydning til større tæthed) af partikelstrukturen

som

2. strømning af væske op gennem mellemrummene mellem partiklerne.

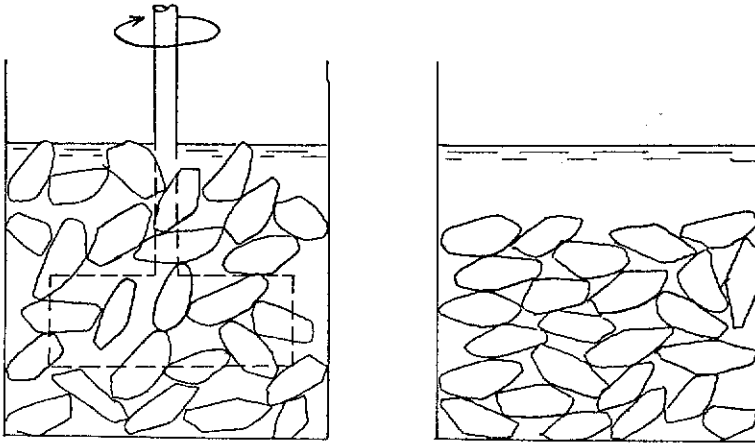


FIG 15

Bleeding. Bleeding betegner vandudskillelse på overfladen af den friske beton efter udstøbning og komprimering forårsaget af yderligere pakning af faststofpartiklerne under indvirken af tyngden.

Selvom man med flydebeton ofte arbejder med ekstremt lave vand-cementforhold (0.3-0.2) indebærer materialet altid en potentiel risiko for bleeding. Det skyldes, at den maximale partikkelkoncentration, hvormed man kan have en flydende cementpasta, hvor partiklerne ruller over hinanden, er mindre end den man opnår ved sedimentation, hvor partiklerne ikke ruller men glider sammen i tæt pakning.

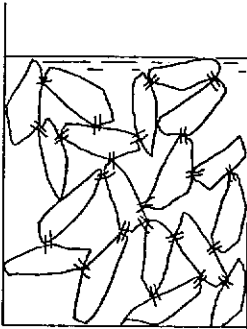
Bleedingen kan imidlertid styres med forskellige tilsætningsstoffer. Forskellige principper kan tænkes anvendt (se FIG. 16):

1. Hindre eller forsinke indbyrdes partikelglidning ved indbygning af henholdsvis kohæsive eller viskose kontaktbindinger mellem partiklerne.
2. Forsinke væsketransport op gennem kanalerne mellem partiklerne ved at øge væskens viskositet.
3. Forsinke væsketransporten op gennem kanalerne mellem partiklerne ved at indføre mikro-filtermateriale, der blokerer for væskebevægelsen.

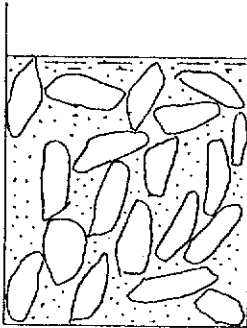
Højstyrkeflydebeton. Anvendelse af SPT rummer muligheder for udvikling af kvalitetsbeton med ekstrem høj styrke. Allerede i dag har man fremstillet SPT-beton med trykstyrker væsentligt over 100 MPa stort set baseret på anvendelse af normal cement og støbeteknik. Ideer til videreudvikling baseret på at ændre cementen til specielt at udnytte SPT's muligheder skal skitseres. Som grundlag tjener masterkurven, FIG. 2, og erfaringer om at styrken af skøre partikelmaterialer øges med mindsket partikelstørrelse (FIG. 17).

Af styrkehensyn er det ønskeligt at anvende meget finkornet cement, som normalt vanskeligt lader sig udnytte fuldt ud på grund af stort vandbehov. Med SPT kan selv ekstrem finkornet cementpasta bringes til at flyde og pakke med meget lavt vandindhold ($v/c \approx 0.2$). Mængden af SPT skal naturligvis tilpasses den større overflade for de fine-re cements.

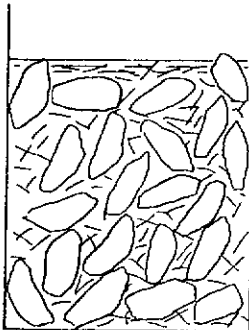
Der åbnes muligheder for at anvende cementkornkurver, der ud fra rent geometriske forhold giver muligheder for tæt partikelpakning (god partikelgradering, evt. partikelspring) (se FIG. 18). (Cementkornkurver har langt mindre betydning for vanlig cementpasta, hvor modstanden mod pakningen i væsentlig grad hidrører fra overfladekræfter og ikke fra partikelgeometri. Man har derfor ikke i cementproduktionen gjort noget særligt for at opnå en speciel god kornkurve).



Hindre eller forsinke indbyrdes partikelglidning ved indbygning af henholdsvis kohæsive eller viskose kontaktbindinger mellem partiklerne.

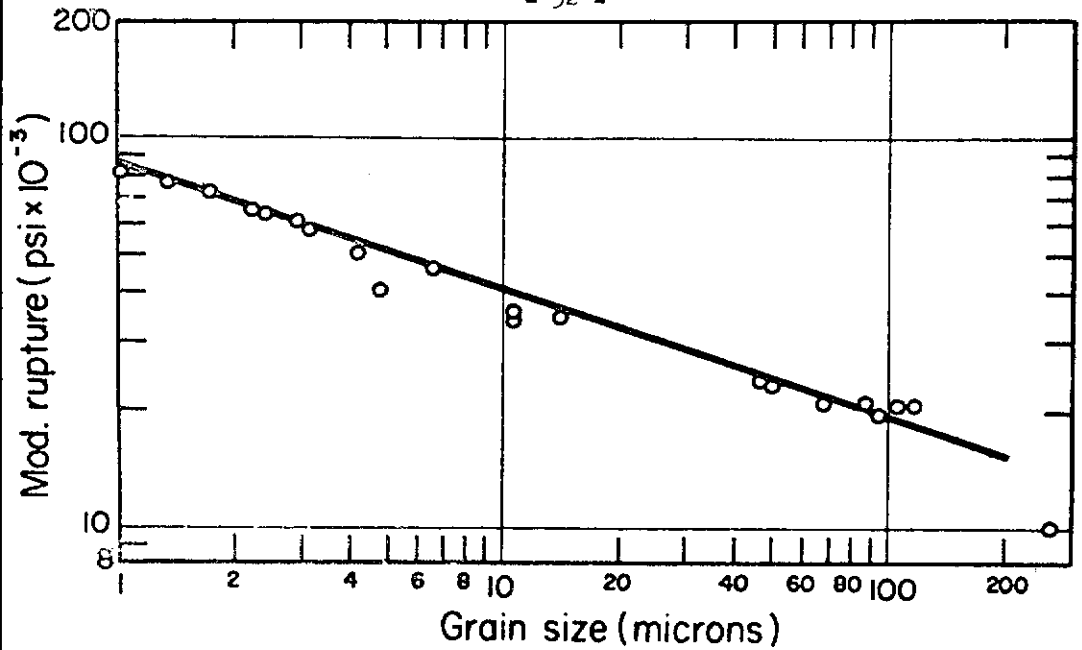


Forsinke væsketransport op gennem kanalerne mellem partiklerne ved at øge væskens viskositet.



Forsinke væsketransporten op gennem kanalerne mellem partiklerne ved at indføre mikrofiltermateriale, der blokerer for væskebevægelsen.

FIG. 16. Principper til reduktion eller elimination af bleeding i cementpasta.



Some data showing the effect of grain size on fracture of a single phase polycrystalline ceramic.

Effekt af pore- og partikelstørrelse

Erfaringer, specielt med keramiske materialer, viser, at styrken af skøre porøse materialer af samme grundsubstans og ens porøsitet er størst, jo mindre porestørrelsen er. I mange tilfælde, hvor det skøre porøse materiale er dannet ud fra partikelmateriale - f.eks. ved sammensmeltning - vil en væsentlig del af porerne være dannet ved mangelfuld udfyldning i hulrummene mellem partiklerne og være af samme størrelsesorden som de oprindelige partikler. I sådanne tilfælde vil man derfor finde højere styrke, jo mindre partikeldimensionen er. Et eksempel herpå er angivet i Fig. 8, hvor styrken af sintrede keramiske materialer er afbildet som funktion af partikelstørrelse.

Styrkens afhængighed af porestørrelse kan forklares ud fra Griffith's teori for brud i skøre materialer med indre revner.

Teorien for brud i skøre materialer er oprindelig udformet af Griffith [3] i 1920 for rent træk og er senere videreudviklet til også at gælde toaksetspændingstilstand, Pau [4] og herunder ensakset tryk. Generelt kan brudstyrken for skøre materialer skrives på formelen

$$\sigma = k \cdot \sqrt{\frac{E\gamma}{c}}$$

hvor c er en karakteristisk revne- eller porestørrelse, E elasticitetsmodulen, γ overfladeenergien og k en konstant, der afhænger af belastningsretning og pore- eller revnemængde, form og orientering indbyrdes og i forhold til belastningerne.

FIG 17

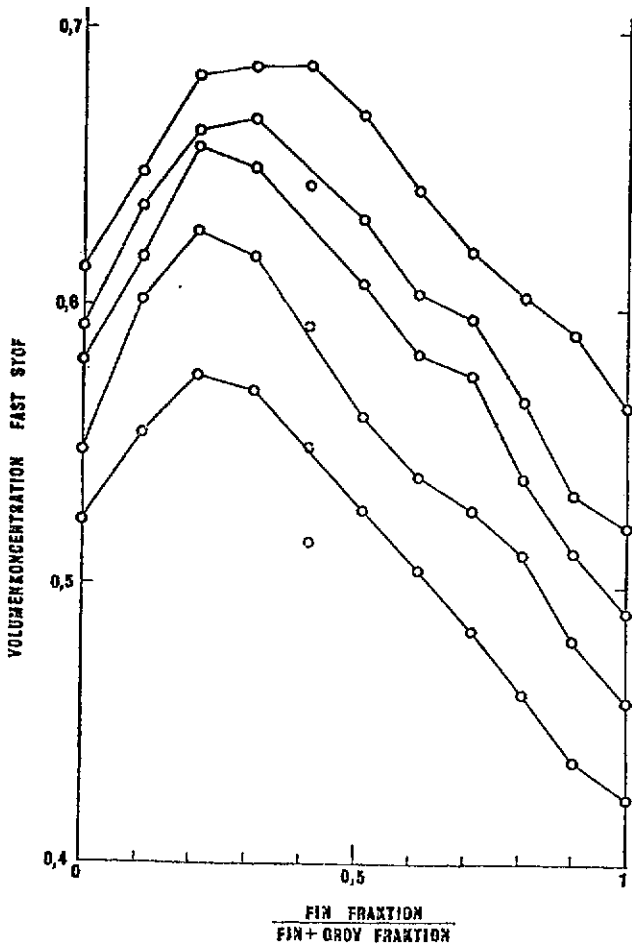


FIG. 18. Tæthed af vibropresset tør specialcement bestående af en binær blanding af grovcement ($d > 40\mu$) og fincement ($d < 2\mu$) i afhængighed af blandingsforholdet mellem grov og fin cement. Prøverne komprimeredes på 5 forskellige niveauer af oscillerende tryk fra 0.6 til 12 M Pa, resulterende i tilsvarende højere tæthed.

(Bache og Møller)

Den markante forbedrende effekt af små mængder SPT på betonfremstilling og betonkvalitet vil utvivlsomt afspejle sig i at SPT vil vinde stadig større indpas ved betonfremstilling.

Billiggørelse og yderligere forbedring af tilsætningsstofferne og udvikling af speciel højstyrke SPT-beton må ses som interessante fremtidsaspekter.