



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.

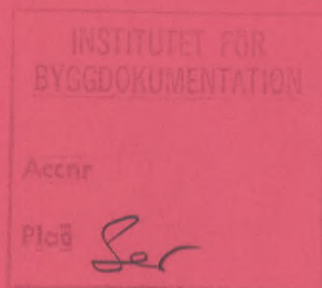


Rapport

R8:1989

Ultrahöghållfast betong Tillverkningsprinciper

Leif Berntsson
Satish Chandra



BYGGDOK

Institutet för byggdokumentation
Hälsingegatan 49
113 31 Stockholm, Sweden
08-34 01 70 Telex 125 63

Byggforskningsrådet

R8:1989

ULTRAHÖGHÅLLFAST BETONG

Tillverkningsprinciper

Leif Berntsson
Satish Chandra

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
830910-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Avdelningen för byggnadsmaterial, CTH, Göteborg.

REFERAT

Rapporten är en allmän introduktion till principerna för framställning av höghållfast betong baserat på effektiva dispergerade tillsatsmedel och mikropartiklar av silox (silika), som vid blandningen kombineras med portlandcement. Genom att utnyttja dessa material optimalt kan avsevärt högre betonghållfastheter uppnås än vad som tidigare varit möjligt. Med lämplig sandgradering, val av kvarts eller porfyrmaterial, kan hållfastheter upp till ca 200 MPa erhållas. Dessutom kan konventionella tillverkningsförfaranden användas, dock med vissa modifikationer.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R8:1989

ISBN 91-540-4987-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

ULTRAHÖGHÅLLFAST BETONG, tillverkningsprinciper

Förord

Föreliggande kortfattade skrift är avsedd att vara en allmän introduktion till principerna för framställning av höghållfast betong baserat på effektiva dispergerade tillsatsmedel och mikropartiklar av silox (silika), som vid blandningen kombineras med portlandcement. Genom att utnyttja dessa material optimalt kan avsevärt högre betonghållfastheter uppnås än vad som tidigare varit möjligt. Dessutom kan konventionella tillverkningsförfaranden användas, dock med vissa modifikationer.

Orsaken till att vi startade utredningen av höghållfast betong var, förutom vårt intresse för nyutvecklingen, en förfrågan 1978 från industrin att gemensamt utveckla betong bl a med extremt höga hållfastheter. Målet var att ta fram ett ekonomiskt koncept för betong med högsta möjliga hållfasthet, slagtålighet och täthet. Av sådana betongtyper kan man förvänta hög motståndsförmåga mot borrning, sågning, slag samt hög täthet mot gaser och vätskor. Med alltmer ökade krav på såväl beständighet som låg vikt hos konstruktioner kan höghållfast betong i en framtid spela en viktig roll. Även inom teknikområden utanför vad som räknas till renodlade byggnadskonstruktioner kan höghållfast betong få användning exempelvis som ersättning för metaller m m i maskinelement.

Allmänt

För de flesta bärande betongkonstruktioner används betong i hållfasthetsklasserna inom K25-K50. I plastgjutna stommar för bostadshus, kontor och industribyggnader väljes hållfasthetsklasserna i det lägre området, medan för spännarmerade element och i broar oftast inom det högre området. I speciella betongkonstruktioner såsom sliprar och högtrycksrör, master m fl brukas även ännu högre tryckhållfastheter än vad som motsvarar K50. Höghållfast betong har åtminstone tidigare definierats som den betong vars hållfasthetsklass ligger över den högsta klassen i gällande betongbestämmelser. Enligt dagens betongbestämmelser BBK 79 är högsta hållfasthetsklass K80, varför höghållfast betong skulle vara den betong med tryckhållfastheter som överstiger vad som skall motsvara K80.

Genom att jämföra de högsta hållfasthetsklasserna i tidigare betongbestämmelser och samtidigt tillämpa den ovannämnda definitionen är höghållfast betong inte densamma idag som för exempelvis 20 till 40 år tillbaka i tiden. Även här inom vårt område betongteknologi är våra bedömningsgränser rörliga med den allmänna materialutvecklingen. I 1949 års "Statliga betongbestämmelser" fanns normerat som högsta hållfasthet K350 och i 1965 års "Bestämmelser för betongkonstruktioner" K600. Märk också att dessa K-värden är 10 gånger större än de som anges i BBK 79 eftersom man övergått från kg/cm² till MPa.

Om definitionen på höghållfast betong fortfarande skall gälla kan den betong, vars tryckhållfastheter är högre än vad som motsvarar K80, räknas som höghållfast betong.

Skulle man av någon anledning vilja ytterligare framhäva betong med mycket höga hållfastheter över exempelvis 200 MPa, är man i sådana fall tvingad att göra ingrepp i cementet så att porositeten blir exceptionellt låg efter kompaktering av massan. Liknande mycket speciella materialkombinationer eller förfaranden kan ge tryckhållfastheter på t o m över 300 MPa. I sådana fall skulle den betong som har hållfastheter över 200 MPa kanske kunna betecknas som ultrahöghållfast betong.

Portlandcementets hydratationsprodukter som uppstår då ohydratiserade cementkorn och vatten reagerar med varandra, utgör den matris som grundlägger hållfasthetsutvecklingen i alla betongtyper. Mängden vatten i förhållande till mängden cement som erfordras för att fullständigt hydratisera det portlandcement som deltar i de kemiska reaktionerna uppgår till 0,25 - 0,28 (vattencementtalet, vct). Förutom detta kemiskt bundna vatten finns även vatten som tillhör cementgelen eller rättare sagt som ingår i tobermoriten dvs hydratationsprodukten från tri- och dikalciumsilikat.

Till de flesta betongblandningar tillsättes mer vatten vid blandningen än vad som teoretiskt åtgår för att fullständigt hydratisera all ingående cement. Den huvudsakliga orsaken till detta är att betongmassan skall få en lagom lös konsistens och därvid kunna komprimeras vid vanliga gjutarbeten. Till mängden överskottsvatten kan räknas allt det vatten som överstiger vattencementtalet 0,36 - 0,38. Detta överskottsvatten kvarlämnar alltid kapillärer i cementpastan. Cementets hydratationsprodukter räcker inte i sådana fall till att fylla kapillärporerna. Däremot kan hydratationsprodukterna räcka till att teoretiskt fylla kapillärerna om ovan angivna vattencementtal underskrides. Ju lägre vattencementtal desto mindre cement behöver hydratiseras för att hydratationsprodukterna skall fylla kapillärporerna. Detta betyder dessutom att det alltid finns ohydratiserat cement kvar vid exceptionellt låga vattencementtal förutsatt att packningen är fullständig från början. Från hållfasthetssynpunkt är ohydratiserat cement ingen nackdel eftersom cementklinkern har högre hållfasthet än hydratationsprodukterna.

Hållfastheten i betong är primärt en funktion av porositeten förutsatt att cementets hydratation kommit en god bit på väg. Ju högre porositet bindemedlet cementpastan har, desto lägre blir dess hållfasthet. Detta betyder då att ju högre vattencementtal som väljes vid blandning av betong, desto lägre blir sluthållfastheten. Det är därför uppenbart att om man har för avsikt att uppnå riktigt höga hållfastheter så måste porositeten och vattencementtalet sänkas så lågt som möjligt samtidigt som kravet på fullständig packning bibehålles. För betong skall dessutom ställas krav på ballastmaterialet. Dess hållfasthet skall åtminstone inte understiga cementpastans sluthållfasthet.

Några faktorer som styr höga betonghållfastheter

Betong är ett material som vi räknar till kompositgruppen. Med sina bägge huvudkomponenter cementpasta och ballast finns det oändligt antal variationsmöjligheter att välja mellan. Hållfastheten av betongen beror av hållfastheterna hos cementpasta och ballast, deras deformationsegenskaper och inte minst vidhäftningen mellan pasta och ballastpartikelyta.

För att uppnå höga hållfastheter hos betong är det nödvändigt att dessa nämnda faktorer var och en skall ge höga hållfasthetsbidrag till kompositen.

De allra viktigaste principerna som man normalt har att basera sin betongproportionering på är följande:

- Vattencementtal.

Numera är det vanligt att cementet delvis ersätts med vissa reaktiva finpartikelsystem och i stället för vattencementtalet ersättes detta med kvoten mellan vatten och cement puls tillsatsmaterial. Denna kvot brukar benämnas vattenbindemedelstal. De luftporer som eventuellt tillkommer adderas till vattenvolymen i täljaren. Vattencementtalet härrör från Abram's år 1919 och avser att egentligen uttrycka någon relation till den hårdnade cementpastans porositet.

Rent praktiskt är det inte möjligt att sänka vattenbindemedelstalet till mycket låga värden beroende på begränsningen i kompaktering av partiklarna. Begränsningen är dels styrd av geometrin dels av partiklarnas ytladdning. Ytladdningen kan man förändra genom att välja lämpliga tillsatsmedel med dispergerande effekt.

- Ballastmaterial

I allmänhet kan man inte påräkna att naturlig ballast har tillräckligt hög hållfasthet för att den ska lämpa sig för mycket höga hållfastheter. Redan vid tryckhållfastheter hos betong på 100 MPa kommer ballastmaterialens egenskaper att ha viss inverkan. Täta finkristallina hårda bergarter kan vara lämpliga att använda för betongtryckhållfastheter även något över 200 MPa. För att ytterligare nå högre är det nödvändigt att använda syntetiskt ballastmaterial.

- Specialcement

Eftersom cementpastans hållfasthet är en av de viktigaste faktorerna som styr betongens hållfasthet är det naturligtvis viktigt att cementets egenskaper är optimala. Vid samma vattencementtal, åtminstone för mycket låga sådana, framträder stora skillnader i tryckhållfastheterna. För s k "rena portlandcement" uppnås de högsta hållfastheterna och bästa resultatet ger portlandcement med enbart kalciumsilikat (C_3S och C_2S) som ingående cementmineral.

Hur kan man uppnå låg porositet i cementpasta?

Cement består av mineralpartiklar som erhålles efter någon malningsprocess, exempelvis malning i s k kulkvarnar. Härvid uppstår en storleksfördelning av partiklarna som huvudsakligen ligger inom området $1 \mu\text{m}$ till $200 \mu\text{m}$. Medelstorleken ligger inom $5-10 \mu\text{m}$. Även vid långt driven finmalning kommer det fortfarande att bli en storleksfördelning som enbart resulterar i att fördelningskurvan blir något förskjuten åt vänster eller åt det håll partiklarna är mindre.

Packning av partikelsystem där ytkrafter inte inverkar är oberoende av partikelstorleken och beror enbart på partikelform, relativa storleksfördelningen och den mekaniska placeringen av partiklarna dvs kinematiken. Exempelvis betyder detta förenklat att lika stora sfäriska partiklar kan packas på olika sätt. För kubisk packning blir volymandelen partiklar 0,52 och mellanrummet 0,48 (porositeten). Vid hexagonal packning blir volymandelen 0,74 med porositeten 0,26. Detta helt oberoende av sfärernas storlek. Den enda möjligheten att ytterligare minska porositeten är att avsevärt mindre sfärer placeras i mellanrummen mellan de stora.

Packningen beror naturligtvis på partiklarnas form, ju mera kantiga och avlånga partiklarna är desto större blir mellanrummet m a o densiteten minskar. Packning av naturlig och krossad sand visar att de kantiga krossade partiklarna inte kan packas alls så lätt som sanden med rundade korn.

Det finns klassiska packningsexperiment utförda med sfäriska partiklar av två grupper partiklar av olika storleksförhållande. Packningsgraden, dvs volymandelen partiklar ökar i och med att storleksförhållandet mellan de båda partikelgrupperna ökar. I experimentet har volymandelen för var och en av de singulära partikelstorlekarna uppmätts till 0,63 och oberoende av storleken. Blandas de två olika storlekarna erhålles en maximal packningsgrad då man väljer en volymandel av 25-40% av den mindre storleken. Den maximala packningsgraden ökar ju större partikelsprånget (skillnad i partikelstorleken) är. Vid storleksförhållande mellan de stora och de små på 3,4:1 blir packningen 0,70 och vid 16:1 blir packningen 0,85, se fig. 1.

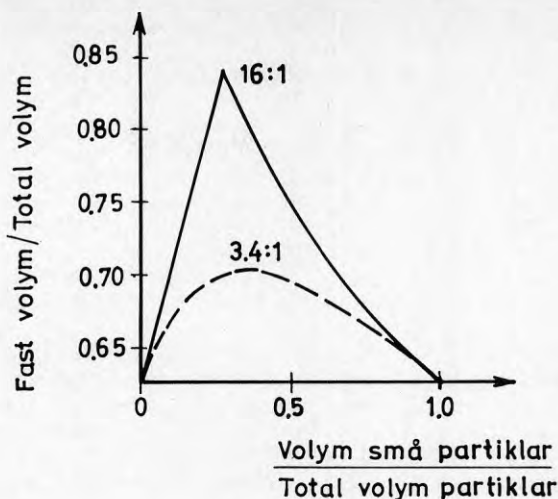


Fig. 1. Packning av två olika partikelsystem med storleksförhållande mellan de stora och små partiklarna, 3,4:1 resp 16:1.

Det är mycket svårt att driva packningen till volymandelar ytterligare över 0,85 med binärt system. Däremot kan det vara möjligt att fortsätta att införa partiklar i mellanrummet mellan de minsta partiklarna enligt samma princip som i det binära fallet. En multikomponentblandning kan då till slut kunna byggas upp och rent teoretiskt kan man närma sig packningsgraden 1,0. Begränsningar uppstår bl a genom väggeffekt och trånga utrymmen intill stora partiklar, se fig. 2.

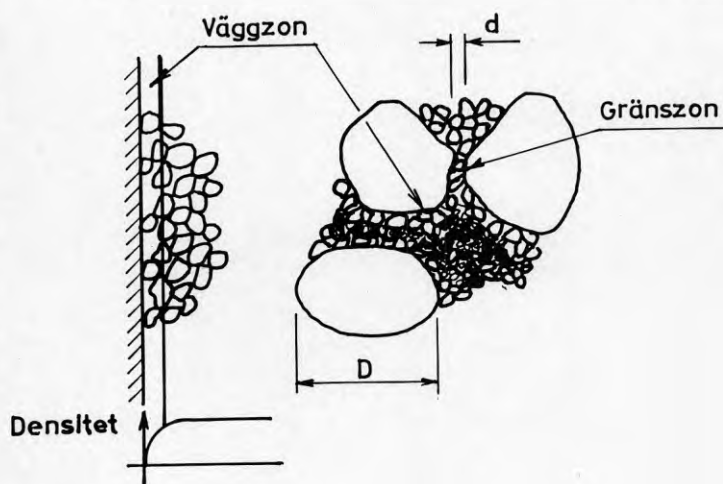


Fig. 2. Väg- och barriäreffekt som visar olika packningsgrad av partiklar intill väggtytor och ute i massan samt i trånga zoner vid kontaktgränser till de stora partiklarna.

Allmänna principer för tät packning kan vara följande:

- Partikelsprång av tillräcklig bredd skall åstadkommas såväl i området för grova som fina partiklar.
- För cementbundet material skall användas grov sand som är de grova partiklarna och ultrafina partiklar som kan placeras i mellanrummet mellan cementpartiklarna. Mellansand, finsand och filler skall således inte användas i kompositionen. Det är samtidigt inte nödvändigt att göra ännu ett hopp för att kunna tillsätta mer ballastmaterial. Stora korn innehåller ofta svaga zoner och är olämplig för höga hållfastheter.
- Små partiklar av cementkornsstorlek och nedåt har ytladdningar som förorsakar flockulering och en mycket porös (lucker) struktur. Verkan av ytladdningarna kan reduceras genom tillförande av tillsatsmedel med dispergerande egenskaper.

Den färska betongens reologi - kompakteringsmöjligheter

För att uppnå låg porositet i bindemedlet fordras lågt vattenbindemedelstal, dvs extremt liten vattentillsats. Detta ger mycket styva blandningar och konsistensen kan betecknas som jordfuktig. Packning av partiklarna med vattenmenisk som sammanhållande i enskilda kontaktytor fordrar bl a kompakteringstryck.

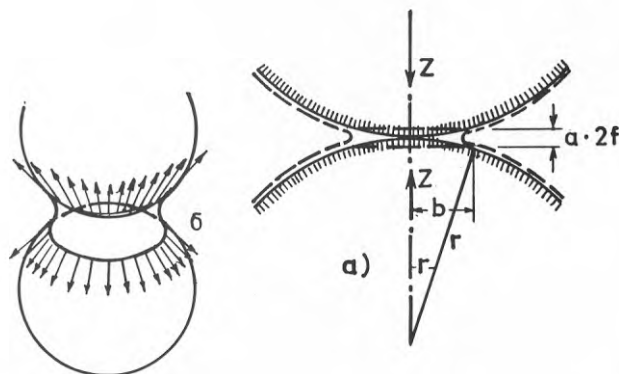


Fig. 3. Två sfäriska partiklar hålles samman av vattenmenisk med kraften Z.

I fig. 3 visas principiellt sammanhållningsmekanismen mellan två sfärer i det ideala fallet. Den kraft som håller samman partiklarna beror av trycket i vattnet som i sin tur styrs av meniskens krökning. Kraften blir

$$Z \approx \frac{2\sigma}{a} \cdot \pi \cdot b^2 = 2\pi\sigma r$$

där $b^2 \approx r \cdot a$ och σ = vattnets ytspänning. Tas hänsyn till dubbelkrökning kommer Z att minska något i verkligheten.

Man kan säga att $Z \propto \sigma \cdot r^{-1}$, dvs $pr/\sigma = \text{konstant}$. Kvantiteten pr/σ (dimensionslös) är ett mått på yttre spänningen (p) som behövs för att överskrida den inre kohesionen (σ/r). För att kunna åstadkomma packning av materialet fordras högt packningstryck (p) för hög kohesion (σ/r). Genom att sänka ytspänningen på vattnet (σ) eller välja större partikelstorlek behövs mindre kompakteringstryck (p).

Den s k låseffekten från ytkrafterna kan effektivt sänkas genom tillsats av dispergeringsämnen som då möjliggör att packa små partiklar mellan större partiklar. För cementpasta kan detta åstadkommas med s k siloxpartiklar som har genomsnittsstorleken på en 1/100 av cementpartiklarnas s k medelstorlek.

Ändamålet med att använda dispergeringsmedel är att eliminera flockulering av partiklar och i synnerhet de minsta. Hur detta sker är inte helt klarlagt i detalj. Steriskt hinder och repulsion av laddade ytor spelar dock en stor roll i mekanismen. Att uppnå god dispergering av ultrafina siloxpartiklar ($\approx 0,1 \mu\text{m}$) i vatten är delvis enklare än att nå dispergering med större partiklar såsom cement med medelstorleken $10 \mu\text{m}$.

Så länge ultrafina siloxpartiklar endast blandas med vatten är det möjligt att uppnå en effektiv dispergering med rätt val av pH-värde eller tillsats av något dispergeringsmedel exempelvis 3% natriumtripolyfosfat. Inblandas dessutom cement sker en kraftig flockulering och tillstyvnande. Cement ger med vatten en kraftig höjning av pH-värdet, $>12,5$, och de amorfa silikapartiklarna löses och åstadkommer gelning. För att förhindra detta och dispergera siloxpartiklarna i cementpasta duger inte de vanliga dispergerande tillsatsmedlen. I detta fall åstadkommer vissa s k superplasticerande betongtillsatsmedel en god dispergeringseffekt.

Mängden tillsatsmedel för att åstadkomma dispergering står i viss relation till partiklarnas sammanlagda yta. Den dispergerande effekten ökar således upp till ett visst värde för att sedan förbli konstant. Mängden beror bl a av cementtyp och vattenbindemedelstal.

I ett fullständigt torrt partikelmaterial finns ingen inre kohesion, eftersom inga vattenmenisker utbildats. Vid uppfuktning utbildas kohesion som till slut upphör vid mätnad. Ändringen från styv, plastisk konsistens över till flytande sker inom ett mycket snävt område exempelvis vattenpartikelförhållande 0,13 till 0,15 med lämpligt dispergeringsmedel.

Vattenbehovet för att uppnå en viss bestämd konsistens är för cementpasta bl a beroende av specifika ytan på cementkornen. Ökas finheten eller tillsättes finpartiklar erfordras mer vatten. Detta gäller även för betong då ballastmaterialets kornstorlek minskas fast då är vägg- och barriäreffekten den största orsaken till ökat vattenbehov. För finpartikelsystem av silika och superplasticerare är mekanismen en annan därigenom att de ultrafina partiklarna utfyller mellanrummet mellan cementkornen samtidigt som ytladdningarna elimineras på partiklarna och gelning undviks.

Siloxpartiklar i mängder över 20% på cementmängder med superplasticerare förändrar cementpastans egenskaper väsentligt. Följande påpekanden bör uppmärksammas särskilt då man ämnar tillverka höghållfast betong eller bruk:

1. Blandningstiden är avsevärt förlängd, 8-15 minuter måste man räkna med.
2. Bindetiden är förlängd pga stor tillsats av superplasticerare, beräkna 6-18 timmar vid 20°C.
3. Kontraktionen under det första dygnet är stor, ungefär dubbelt mot ren cementpasta.
4. Eftersom vatteninnehållet är mycket lågt är nygjutet material mycket känsligt för uttorkning. Plastisk sprickbildning uppstår lätt.

Eftersom grundläggande egenskaper saknas hos det betongbindemedel som är en blandning av portlandcement, mikropartiklar av silox och superplasticerare, är det viktigt att vidare kunskap tas fram efter det att man lärt konsten att tillverka betong med höga hållfastheter. Det bör ju vara självklart att det inte är särskilt framgångsrikt att studera den betong som inte finns i sinnevärlden varken genom teoretiska eller tillämpade studier.

Praktiska laboratorieprov

Försök har utförts i laboratorieskala med avsikt att tillämpa ovan beskrivna principer för att uppnå högsta möjliga hållfastheter efter normal packning på viborbord.

Följande kommentarer kan göras till tabell II, som visar några exempel på sammansättning av höghållfast betong. Fyra olika cementtyper har använts, ett aluminatcement och tre portlandcement. Cementens oxidinnehåll efter kemisk analys framgår av tabell I. Det vita portlandcementet kännetecknas av hög CaO-halt, 70%, och låga halter Al_2O_3 , alkalier och Fe_2O_3 , således består det vita portlandcementet huvudsakligen av di- och trikalciumsilikat. Närmast det vita portlandcementet ligger anläggningscementet om man frånräknar halten Fe_2O_3 . Standard portlandcementet har anmärkningsvärt hög alkaliehalt och halt av MgO. Aluminatcementet tillhör inte portlandcementgruppen varför någon jämförelse inte kan göras.

Tre olika kommersiella plasticerande tillsatsmedel har använts nämligen natriumsalt av ligonsulfat (LS), natriumsalt av sulfonerat melamin formaldehydkondensat (MF) och natriumsalt av sulfonerat naftalenformaldehydkondensat (NF).

Som ballastmaterial användes dels normalsand för cementprovning av tre olika fraktioner betecknade 1, 2 och 3 samt Malungsand som bl a innehåller porfyr. Sammansättningen cement till ballast anges i viktandelar. Vattentillsatsen har avpassats så att man försökt hålla konstant konsistens. Såväl vattencementtal och vattenbindemedelstal anges.

Provkroppar, prismor 40x40x160 mm, packades i stålformar på vibrobord. Prismorna förvarades täckta med plastfolie i sina formar under det första dygnet i rumstemperatur. Efter avformning vid ett dygns ålder värmehärdades provkropparna under vatten i 80°C i omkring 24 timmar. Fortsatt förvaring skedde i luft vid 70°C och 55% rel luftfuktighet.

Prismorna provades efter en vecka med avseende på böjdrag- och tryckhållfasthet.

Provkroppar tillverkade av höghållfast betong visade sig vara mycket spröda. Vid bestämning av tryckhållfastheten i hydrauliska tryckprovningsskåp erhölls explosiva brott och för tidig sprickpropagering. För att undvika detta valdes att tillsätta stålfibrer. Fibertillsatsen visade sig väsentligt förändra brottagenskaperna. Inget explosionsartat brott inträffade vilket är viktigt med tanke på skaderisken för de personer som genomför tryckprovningen.

Resultat och kommentarer

Av blandningar 1, 2 och 3, tabell II, framgår att det inte tycks föreligga någon större inverkan på hållfastheterna av de tre utvalda plasticerande tillsatsmedlen. En viss skillnad på de reologiska egenskaperna i tiden föreligger men resultaten har inte angetts i tabellen. Blandning av portlandcement och aluminatcement gav inga höga hållfastheter. Däremot rent aluminatcement med mikrosilox ger som väntat höga hållfastheter. De riktigt höga hållfastheterna uppnåddes vid användning av anläggningscement och vit portlandcement med mikrosilox, 30 à 35% på cementvikten, blandningar 9, 10, 11 och 12. Med snabbhärdande portlandcement (SH), blandning 7 och 8, erhöles inte så höga hållfastheter. Däremot erhöles samma hållfasthet för 4% som för 2% (vikt torrmaterial) stålfiber. Blandning 13 är en kommersiell produkt från Aalborg Portland Cement. Den hållfasthet som uppnåddes var motsvarande den som erhöles för standardportlandcement.

Av dessa resultat tycks framgå att inverkan av cementtyp är avgörande för hur höga hållfastheterna blir. Särskilt tydligt framgår skillnaderna av konsistensen vid samma vattencementtal eller vattenbindemedeltal.

Förutom dessa prov har även grövre ballastmaterial utprovats liksom olika bergarts- och mineraltyper såsom granit, diabas och korund. Av dessa prov visade det sig att man skall undvika att använda alltför grov ballast. En begränsning av största stenstorleken till 8-10 mm är en definitiv fördel. Likaledes bör bergarten vara finkornig och tät.

Vid övergång till att prova större provkroppar, såsom kuber med 15 cm sida, uppstår en del problem, bl a provningsutrustningens lämplighet för höga laster vid spröda material. Betongens brottmekaniska egenskaper tycks vara av stor betydelse för riktig värdering av hållfastheterna.

Slutsatser

Det tycks vara möjligt att tillverka bruk och betong med exceptionellt höga hållfastheter med utnyttjande av traditionell betongteknik om man väljer rätta material, proportioner, blandningsförfarande och superplasticerare.

Helt naturligt återstår ingående studium, och kartläggning av alla de okända fenomen som finns i dessa annorlunda betongmaterial.

Litteratur

1. Lewandowski, R., Peterfy, P., Beton. Fert. Tech. 546 (1974)
2. Kasami, K., Ikedo, T., Orake, T., Yamamoto, T., Shimono, T.; The Chemical Association of Japan, Rev. of 30th general meeting, Tokyo, Giugno, p 151, June 1976.
3. Hattori, K., Yamakawa, C.; The Chem. Assn. of Japan, Rev. of the 30th general meeting, Tokyo, Giugno, p 153, June 1976.
4. Fukushi, I., Yokoyama, M., The Chem. Assn. of Japan, Rev. of 31st general meeting, Tokyo, Maggio, p 106, May 1977.
5. Idemitsu, T., Takayoma, S., Emoto, Y.; the Chem. Assn. of Japan, Rev. of 31st general meeting, Tokyo, Maggio, p 108, May 1977.
6. Collepardi, M., Corradi, M., Baldini, G., Pauri, M.; Proc. 7th Int. Cong. Chem. of Cement, Parigi-Paris, Vol. III.
7. Developments in the use of superplasticizers. Ed V.M. Malthotra, ACI, Publ. SP-68, p 423, 1981.
8. CHIOCCHIQG, Paolini, A.E., Turrisiani, R.; Atti del 1 Convegno Nazionale ASMI, Milano-Milan, 26-27, p 397.
9. Godfrey Jr, Concrete strength record jumps, 36%, Civil Engineering 1984.
10. CHIOCCHIQG, Paolini, A.E.; Cem. Conc. Res. 15, 901 (1985).

Tabell I

Kemisk analys av använda cementtyper

	AIC	VPC	Std (PC)	AnIC
CaO	38,5	70	62,9	65,3
SiO ₂	4,5	24,0	19,6	23,7
Al ₂ O ₃	39,0	1,9	4,14	2,55
Fe ₂ O ₃	12,0	0,3	2,08	2,55
K ₂ O	0,15	0,2	1,15	0,67
Na ₂ O	0,1		0,25	0,08
MgO	0,1	0,6	3,09	0,87
SO ₃	0,15	1,9	3,40	1,95

AIC Kalciumaluminatcement

VPC Vit portlandcement

Std (PC) Standard portlandcement (Slite)

AnIC Portlandcement (anläggningscement, Degerhamn)

Tabell II

Sammansättning och hållfasthet av höghållfasta betongblandningar

Blandning nr	Cementtyp Proportioner cement/sand	Mikrosilox	vct/vbt	Tillsatsmedel (vikt-%)	Stålfiber l=2,5mm vikt-% av torrt material	Hållfastheter (MPa)	
						Böjdrag	Tryck
1	Std(PC) Norm 1,2,3 1:(3x1,33)	(Slurry) 0,17% av amorft (fast) material	0,41/0,374	LS-1,33% av cement	-	11,3	92
2	"-	"-	"-	MF-1,3% av cement	-	10,0	90
3	"-	"-	"-	NF-1,3% av cement	-	11,0	95
4	Std(PC) Norm 1,2,3 1:(3x1,22) + SiC (0,70)	-	"-	LS-0,67% + MF-0,67%	-	10,3	95
5	Std (PC) + AlC 0,53/0,47 Norm 1:(3x1,33)	-	0,375	"-	-	8,9	55
6	AlC/Malungsand 1:2	35% av cement	0,25/0,186	NF 0,27% av bindemedel	4%	13,4	148
7	SH(PC)/Malungsand 1:2	"-	"-	"-	"-	10,9	166
8	"-	"-	"-	"-	2%	10,9	166
9	An1C/Norm 1,3 1:(2x1,5)	"-	0,215/0,16	NF 3% av bindemedel	4%	27,0	206
10	"-	30% av cement	0,25/0,19	NF 3,5% av bindemedel	"-	22,7	193
11	VPC/Norm 1,3 1:(2x1,5)	35% av cement	0,227/0,17	NF 3% av bindemedel	"-	21,3	212
12	"-	"-	0,25/0,186	"-	"-	23,3	194
13	Ref.		7,5% av torrt material	-	"-	15,5	165

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830910-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen
för byggnadsmaterial, CTH, Göteborg.**

Art.nr: 6709008

**Abonnemangsgrupp:
S. Byggplatsens verksamhet
Z. Konstruktioner och material**

R8: 1989

ISBN 91-540-4987-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**Distribution:
Svensk Byggtjänst,
171 88 Solna**

Cirkapris: 33 kr exkl moms