

INSTITUTTET FOR HUSBYGNING

Rapport nr. **162**

KRISTIAN HERTZ

EKSPLOSION OG RESTSTYRKE AF VARMEPÅVIRKET SILIKABETON

Den polytekniske Lærestalt, Danmarks tekniske Højskole
Lyngby 1982

RESUMÉ

Resultaterne af en serie indledende undersøgelser over silikabetons egenskaber ved høje temperaturer anføres.

Da betonen selv ved meget langsom opvarmning eksploderede med stor kraft, behandles i særdeleshed dette fænomen.

Desuden vises værdier, som kan give en foreløbig ide om udviklingen af trykstyrke og dynamisk E-modul med temperaturen for de prøver, som ikke eksploderede.

SUMMARY

The results of a series of preliminary investigations of the high temperature properties of silica concrete are presented. (Densified systems containing homogeneously arranged ultra-fine particles of silica fume, Bache [4]).

As the concrete exploded vigorously even when heated at a very slow rate, this phenomenon is especially considered.

Further, values are shown giving an idea of the development in temperature of the compressive strength and the dynamic modulus of elasticity for the non exploded specimens.

INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
RESUMÉ	2
SUMMARY	2
INDHOLD	3
INDLEDNING	4
OM BRÆNDING OG UDGANGSMATERIALE	5
OM RESULTATERNE	6
KONKLUSION	9
CONCLUSION	10
REFERENCER	11

INDLEDNING

Igennem de senere år, har man udviklet højstyrkebetoner med trykstyrkeniveauer, der nærmer sig ståls ved at udfylde hulrummene mellem de hydratiserede cementkorn med et endnu finere materiale - silikapulver.

Foruden den høje trykstyrke opnås en stor tæthed af materialet, hvilket i sig selv er fordelagtigt ved utallige anvendelser.

Hvis materialet skal anvendes til konstruktive opgaver, bør indflydelsen af diverse ydre påvirkninger kendes bedst muligt, og for husbygning samt en række industrielle formåls vedkommende kan disse påvirkninger involvere høje temperaturniveauer hidrørende fra brand eller kontrollerede varmeafgivende processer.

Nærværende publikation omhandler imidlertid forsøg, som så vidt vides for første gang viser, at silikabeton har tendens til at eksplodere selv ved overordentligt langsomme opvarmninger, hvorfor anvendelse i husbygning og industri, hvor betonen kan udsættes for stærk varme, bør frarådes.

OM BRÆNDING OG UDGANGSMATERIALE

I forbindelse med et eksamensprojekt: Pedersen [1] blev der foretaget en serie prøvninger for at få en ide om silika-betons mekaniske egenskaber under og efter en varmpåvirkning.

16 cylindre med diameter 100 mm og højde 200 mm blev støbt ved Aalborg Portland A/S under opsyn af H.H. Bache, og efter 20 døgn i vand ved 20°C, 42 døgn i luft ved 20°C, 65 - 70 % RH, 4 døgn transport og ca. 14 døgn i luft ved 16°C, 60 % RH blev cylindrene opvarmet i en elektrisk ovn med opvarmningshastigheden 1°C/min til maximaltemperaturen, som blev holdt i 2 timer, hvorpå der afkøledes med ikke over 1°C/min, og cylindrene lagredes herefter i 7 døgn inden trykprøvningen.

Den valgte opvarmningshastighed er ca. 10 gange langsommere end realistisk for betydende dele af en brandpåvirket betonkonstruktion; men er valgt for at undgå for store termiske spændinger i materialeprøven.

Trykprøvningen udførtes 7 døgn efter varmpåvirkningen, da det for almindelig beton vides, at trykstyrken først når sin laveste værdi til dette tidspunkt.

Blanderecepten med det forventede styrkeniveau på 150 - 160 MPa var som følger:

		kg/m ³
Diabas	4-16 mm	1080
Kvartssand	1-4 mm	404
Kvartssand	0,25-1 mm	202
Kvartssand	0-0,25 mm	101
Sand-kridt cement		500
Elkem silica		100
Mighty (42 % opløsning)		25
Vand (ud over Mi-opl.)		80

Rumvægten blev 2680 kg/m³.

OM RESULTATERNE

Der opvarmedes til tre forskellige maximaltemperaturer: 350°C , 450°C og 650°C med tre cylindre pr. brænding.

Herudover anvendtes tre cylindre til bestemmelse af det oprindelige styrkeniveau ved 20°C samt tre til at give en ide om mængden af frit vand i prøverne. Disse cylindre opvarmedes til en konstant temperatur på 150°C , som blev holdt i 7 døgn.

Det mest iøjnefaldende resultat af forsøgene var, at adskillige af cylindrene eksploderede.

Ekspllosionerne indtraf med et højlydt knald, og sprængstykkerne opnåede en så betydelig bevægelsesenergi, at ovnsens varmelegemer med stålindkapsling blev revet over.

Ved praktisk taget alle eksplosionerne var intet tilbageværende sprængstykke større end en tiendedel af cylinderens oprindelige volumen, og brudfladerne gik såvel gennem tilslag som matrix.

Årsagen til fænomenet må søges i silikabetonens store tæthed, som er fremkommet ved den bevidste udfyldning af hulrummene mellem de hydratiserede cementkorn med silikapulveret.

Da der ved opvarmningen udvikles damp dels fra det frie vand og dels ved dehydratisering af calciumsilikathydraterne og af calciumhydroxiden, vil der i al beton optræde en dampstrømning mod overfladen.

Betonens tæthed er afgørende for strømningsmodstanden, og det er for almindelig beton påvist, at risikoen for eksplosiv afskalning øges ved sænkning af permeabiliteten, jfr. Hertz [3].

Da vægttabet efter 7 døgn ved 150°C kun var 1,2 % mod over 3 % ved temperaturer højere end 300°C , tyder det på, at det kemisk bundne vand udgør en væsentlig kilde til dampproduktionen.

En udtørring vil derfor næppe mindske risikoen for eksplosion nævneværdigt. Hertil kommer, at en udtørring af et bygværk i silikabeton vil tage en betydelig tid - netop på grund af materialets store tæthed.

Ved de enkelte brændinger gjordes følgende iagttagelser.

Efter 150°C havde cylindrene undergået et vægttab på 1.2 %. Farven var lidt lysere end den oprindelige sorte farve, som skyldes kulstof på silikapartiklerne, og der kunne ikke spores revner på cylinderoverfladerne.

Efter 350°C var en ud af tre cylindre eksploderet. Vægttabet var 3.1 % og farven lidt lysere end ved 150°C . Brudflader var dog mørkere end cylinderoverfladerne, som stadig var uden revner.

Efter 450°C var to ud af tre cylindre eksploderet, og af tidspunktet for knaldene sås dette at have fundet sted mellem 300°C og 350°C under den langsomme opvarmning med $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Vægttabet af den resterende cylinder var 3.5 %, farven var lysere end ved 350°C , og der forekom spredte revner på overfladen.

Efter 650°C var to ud af tre cylindre eksploderet. Vægttabet af den resterende cylinder var 3.1 %, og den havde en lysegrå farve, som var lysere end ved 450°C . Overfladen var revnet og klangen af prøven kan sammenlignes med klangen af tegl (jfr. afsnittet om brændt betons klang i Hertz [3]).

Der blev efter 7 døgn udført måling af dynamisk E-modul og efterfølgende trykprøvning af de cylindre, som ikke eksploderede ved opvarmningen.

Resultaterne heraf er opført i det følgende skema.

Det ses, at der først forekommer et væsentligt fald i trykstyrken over ca. 350°C samtidigt med revnedannelsen i overfladen, hvorimod det dynamiske E-modul allerede er faldet ved 150°C .

Max temp. °C	Tryk- styrke MPa	Vægt- tab %	E-dyn. efter GPa	E-dyn før GPa
20	169.1	-	-	58.1
20	119.2	-	-	64.0
20	146.4	-	-	58.4
150	113.1	1.2	44.6	61.3
150	207.5	1.2	42.9	60.2
150	167.8	1.2	43.6	60.8
350	171.9	3.1	21.3	59.5
350	179.0	3.2	20.7	58.3
350	Eksploderet			58.5
450	120.2	3.5	31.7	60.7
450	Eksploderet			59.0
450	Eksploderet			59.9
650	64.7	3.1	umålelig	62.6
650	Eksploderet			62.5
650	Eksploderet			60.7

Tabel over måleresultater

KONKLUSION

Ud fra disse forsøg må det konkluderes, at silikabeton på grund af sin tæthed har en udtalt risiko for dampekspllosion selv ved en så lav opvarmningshastighed som $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, og at konstruktioner derfor ikke bør udføres i materialet, hvor sådanne eller hurtigere opvarmningsforløb kan forekomme, før de hermed forbundne problemer er løst.

Dette indebærer bl.a., at silikabeton indtil videre ikke bør anvendes til bygning af konstruktioner, hvor der stilles noget som helst krav til bevarelse af bæreevnen ved brandpåvirkning.

Endvidere må det frarådes at anvende silikabeton til ethvert emne, som skal kunne tåle en opvarmningshastighed på $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ eller derover til et højere temperaturniveau.

Grænsen for niveauets højde vil afhænge af den aktuelle hastighed.

For silikabeton, som opnår en højere temperatur uden at eksplodere, vil trykstyrken falde over ca. 350°C , samtidigt med, at materialet revner.

Det dynamiske E-modul falder hurtigere end trykstyrken, og faldet begynder ved lavere temperaturer.

Hverken trykstyrken eller det dynamiske E-modul synes at falde helt så stærkt, som tilfældet er for almindelig beton.

Sammenholdes dette med iagttagelser af, at den relative resttrykstyrke øges med mængden af uhydratiseret cement, som for vand-cementforhold mindre end 0.4 udgør et fintfordelt varmestabilt tilslag, tyder dette på, at silikapulveret virker til gunst for resttrykstyrken, hvis materialet ikke eksploderer.

CONCLUSION

From the investigations considered it must be concluded that silica concrete possesses a high risk of steam explosion due to the dense microstructure, even at an extremely low heating rate as 1°C per minute.

Therefore, the material should not be used for structures, where heating rates of this magnitude or greater could be expected, before the problems involved have been solved.

This means that silica concrete so far may not be used for constructions for which any requirement whatever can be set up regarding the load-carrying capacity in case of fire.

Furthermore it must be dissuaded to use silica concrete for any subject that should be able to withstand a heating rate of 1°C per minute or more to a high temperature level.

The limit of this level depends on the rate.

Silica concrete which achieves a high temperature without exploding will suffer a decrease in compressive strength from approximately 350°C , where the material also will start cracking.

The dynamic modulus of elasticity decreases more than the compressive strength, and from a lower temperature level.

Neither the compressive strength nor the modulus of elasticity decreases as much as for an ordinary concrete.

If this is compared to observations indicating that the relative residual compressive strength increases by the amount of non-hydrated cement, which for water-cement ratios smaller than 0.4 forms a fine graded heat resistant aggregate, it indicates that the silica fume improves the residual strength of the material in case that no explosion occurs.

REFERENCER

- [1] PEDERSEN, S.:
Beregningsmetoder for varme-
påvirkede betonkonstruktioner.
Eksamensprojekt 251 p.
Instituttet for Husbygning, DTH.
Lyngby 1981.

- [2] HERTZ, K.D.:
Brandpåvirkede betonkonstruktioner.
Dansk Betonforening
Publikation 11:1981.
Teknisk Forlag
København 1981.

- [3] HERTZ, K.D.:
Betonkonstruktioners brandtekniske
egenskaber.
Rapport nr. 140, 210 p.
Instituttet for Husbygning, DTH.
Lyngby 1980.

- [4] BACHE, H.H.:
Densified Cement/Ultra-Fine
Particle-Based Materials.
Presented at the second international
conference on superplasticizers in
concrete,
June 10-12. 1981, Ottawa, Canada.
Aalborg Portland A/S
Aalborg 1981.