



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

R66:1985

Flytbetong med silica

Kapillärsugning och frostbeständighet

**Juhan Aavik
Tomas Kutti
Mats Rodhe**

R
A/A

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	SR

Byggeforskningsrådet

R66:1985

FLYTBETONG MED SILICA

Kapillärsugning och frostbeständighet

Juhan Aavik
Tomas Kutti
Mats Rodhe

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830910-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Chalmers
Tekniska Högskola, Avd för byggnadsmaterial, Göteborg.

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

R66:1985

ISBN 91-540-4383-2
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

FÖRORD

Detta arbete ingår som en del i en större undersökning om struktur och egenskaper i färskt och hårdnat tillstånd hos flytbetong. Undersökningarna påbörjades läsåret 1980/81 och har bedrivits främst inom ramen för påbyggnadskursen i ämnet byggnadsmaterial vid CTH. Författarna riktar ett varmt tack till professor Roman Malinowski och tf professor Leif Berntsson för fruktbara diskussioner, råd och anvisningar under arbetets gång samt till Annika Palmelin för redigering och utskrift av denna rapport.

INNEHALLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	5
2	DEFINITIONER OCH ANTAGANDEN	6
3	PROGRAM OCH FÖRSÖKSBETINGELSER	7
3.1	Program	7
3.2	Delmaterial	8
3.3	Sammansättning, tillverkning och lagring	9
3.4	Provtagning och provningsmetoder	10
4	RESULTAT OCH ANALYS	13
4.1	Färsk betong och tryckhållfasthet	13
4.2	Kapillärsugning	14
4.3	Frostbeständighet	17
5	SLUTSATSER	22
6	DISKUSSION	23
	LITTERATURFÖRTECKNING	24

BILAGA 1

BILAGA 2

SAMMANFATTNING

Frostbeständigheten hos flytbetong har i flera undersökningar rapporterats vara låg. De förbättringar som fås genom luftporbildande tillsats och förhöjd cementhalt (sänkt vattencementtal) anges vara betydligt mindre än för betong med styvare konsistens.

I denna undersökning studerades kapillärsugning och frostbeständighet hos flytbetong, där 10 vikt-% av cementet ersatts med silica. Frostbeständigheten provades vid två olika vattenfyllnadsgrader och medelst två olika metoder. Betongen jämfördes med silicabetong av trögflytande konsistens samt med betong utan silica. Undersökningen genomfördes laboratoriemässigt under kontrollerade härdningsbetingelser.

Resultaten visade att inblandning av silica förfinar kapillärstrukturen och förbättrar frostbeständigheten hos såväl flytbetong som betong med styvare konsistens. Frostbeständigheten är god även vid låga lufthalter och höga porfyllnadsgrader.

Inblandning av silica i flytbetong kan vara ett alternativ till lufttillsats som skydd mot frost och tössalter. Metoden är mindre känslig för separation och nedbrytning av skyddssystemet vid blandning och hantering.

1 INLEDNING OCH BAKGRUND

Frostbeständigheten hos lufttillsatt flytbetong har rapporterats vara sämre än hos lufttillsatt betong med styvare konsistens /1/, /2/, /3/, /4/. Försämringen förklaras dels med att lös konsistens ger större lufthaltsförluster och förgrovad luftporstruktur /4/, dels med att vissa kombinationer av luftporbildare och flyttillsatsmedel ger ett instabilt luftporsystem /3/. Varje kombination av luftporbildare och flytmedel kräver noggrann förprovning. Detta har lett till osäkerhet i att använda flytbetong i konstruktionsdelar utsatta för frost och tösalter.

I silicabetong rekommenderas vanligen tillsatsmedel av högplasticerande typ (flytmedel) som vattenreducerare. För sådan betong tycks kraven på luftporsystemet för frostbeständighet inte vara lika stränga som för betong utan silica (normalbetong). Vid tillsats av lika mängd luftporbildare erhålls jämfört med normalbetong klart lägre lufthalt men betydligt bättre frostbeständighet /5/, /6/, /7/, /8/. Vissa undersökningar tyder till och med på att silicabetong kan göras frostbeständig utan tillsats av luftporbildare /6/, /7/. Den goda frostbeständigheten förklaras med ett förfinat kapillärsystem, vilket innebär mindre andel frysbart vatten och lägre permeabilitet. Undersökningsresultat angående frostbeständigheten hos flytbetong med silica har inte påträffats i litteraturen.

I denna undersökning studerades kapillärsugning och frostbeständighet hos lufttillsatt och ej lufttillsatt normal- och silicabetong av såväl trögflytande som flytande konsistens. Undersökningen utfördes på laboratorietillverkade provkroppar gjutna i mars 1983. Avsikten med kapillärsugningstesten var att med hjälp av sugförloppet få en uppfattning om porstrukturens förändring vid inblandning av silica och större mängd flytmedel. Undersökningen begränsades till att omfatta en betongkvalitet och en kombination av luftporbildare och flytmedel.

2 DEFINITIONER OCH ANTAGANDEN

Silicainblandning

Ersättning av 10 vikt-% av cementet med silica.

Flytmedelstillsats

Tillsats av högplasticerande medel i sådan mängd att betong med sättningsmått större än 20 cm erhålls.

Porvolym

Porvolymen i betong antages utgöras av gel-, kapillär- och luftporer. Silicainblandning antages inte påverka summan av gel- och kapillärporvolymen /11/.

- Gelporvolymen beräknas ur antagandena att gelporositeten är 28% och att vattnets volymminskning, då det binds kemiskt till cementet, är 25%. Vid silicainblandning enligt ovan antages gelporvolymen öka med 35% /11/.
- Kapillärporvolymen definieras som den volym som erhålls då gelporvolymen och den vattenvolym som binds kemiskt subtraheras från volym tillsatt vatten vid blandning.
- Luftporvolymen bestäms genom provning och utgöres av de luftporer som erhålls i färsk betong efter komprimering.

Fuktfixering

Ett fukttillstånd där samtliga gelporer är fyllda och samtliga kapillärporer är tomma antages kunna existera. Bortses från verkan av hysteresis innebär detta

- att vid desorption töms gelporererna först då kapillärporvolymen är helt tom
- att vid absorption fylls kapillärporerna först då gelporvolymen är helt fylld.

Ovanstående antagande medför att gelvattnet huvudsakligen är adsorbtivt bundet vid porväggarna och att mindre del av gelvattnet och allt kapillärsvatten är fixerat med vattenmenisker. Gelporererna fylls således huvudsakligen genom fuktadsorption och kapillärporerna genom kapillärsugning och kapillärkondensation.

3 PROGRAM OCH FÖRSÖKSBETINGELSER

3.1 Program

Undersökningen omfattade provning av totalt 8 st betongblandningar varav 4 st med och 4 st utan silicainblandning. Blandningarna betecknades enligt följande:

- N normalbetong, trögflytande konsistens
- NF normalbetong, flytande konsistens

- NL normalbetong, lufttillsatt, trögflytande konsistens
- NLF normalbetong, lufttillsatt, flytande konsistens

- S silicabetong, trögflytande konsistens
- SF silicabetong, flytande konsistens

- SL silicabetong, lufttillsatt, trögflytande konsistens
- SLF silicabetong, lufttillsatt, flytande konsistens

Normalbetongerna proportionerades för hållfasthetsklass K 30 enligt /9/. Silicabetong proportionerades med samma utgångsrecept som motsvarande normalbetong. Vatten och flytmedel anpassades så att avsedd konsistens erhöles.

Provningarna omfattade:

- bestämning av betongens konsistens, lufthalt, densitet och tryckhållfasthet vid 28 dygns ålder enligt svensk standard
- kapillärsugningstest vid 3 månaders ålder
- frystest efter 1 och 17 månaders vattenlagring (4 resp. 20 månaders betongålder) enligt svensk metod
- frystest efter 1 och 17 månaders vattenlagring (4 resp. 20 månaders betongålder) enligt en tysk metod.

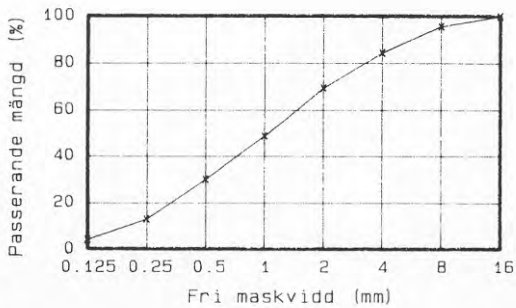
3.2 Delmaterial

Bindemedel

- Std portlandcement, Slite (levererad i mars 1983)
- Silica, Elkem Micro Silica (50%-ig slurry)

Ballastmaterial

- Gjutgrus 0-8 mm. Finhetsmodul 3.00
- Makadam 8-16 mm. Finhetsmodul 6.50



Figur 1. Siktcurva för gjutgrus 0-8 mm. Finhetsmodul 3.00.

Tillsatsmedel

- Luftporbildare, tensid
- Flytmedel, naftalen/melamin

3.3 Sammansättning, tillverkning och lagring

Betongerna proportionerades i 4 st satser (sats 1-4) om vardera 250 liter. Satsernas sammansättningar anges i tabell 1.

TABELL 1. Sammansättning för provade betongblandningar.

Sats nr	Betong	Delmaterial (kg/m ³)				Tillsatsmedel (%)		Vatten (l/m ³)	vbt*
		Cement	Silica torr	Grus 0-8	Sten 8-16	LP	FLYT		
1	N	310	-	1210	640	-	-	215	0,69
	NF						1,5	218	0,70
2	NL	330	-	1090	640	0,1	-	190	0,58
	NLF						1,5	193	0,59
3	S	280	31	1190	630	-	-	225	0,72
	SF						2,5	230	0,74
4	SL	300	33	1110	650	0,1	-	215	0,65
	SLF						2,5	221	0,66

* vbt = volym vatten / vikt (cement+silica)

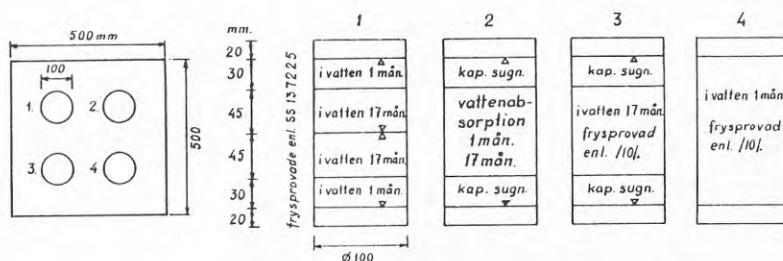
Blandningen utfördes i två steg. I steg 1 blandades betongen i 5 minuter till trögflytande konsistens, varefter 240 kg (ca 100 l) borttogs för provkroppstillverkning. I steg 2 sattes till resten av satsen (ca 150 l) flytmedel i sådan mängd att betong med sättmått större än 20 cm erhöles. Blandningstid 5 minuter.

Av varje blandning tillverkades 3 st standardkuber 15x15x15 cm och 1 st platta 50x50x20 cm. Kuberna kompakterades på vibrobord och plattan med hjälp av vibrostav. Vibreringstid 20 sekunder för trögflytande betong och 5 sekunder för flytbetong. Under första dygnet efter gjutning förvarades provkropparna i laboratorielokalen övertäckta med våt säckväv, dygn 2-5 i vatten och därefter fram till provning och provtagning i klimatrum (+20°C, RH 60%).

3.4 Provtagning och provningsmetoder

Uttagning och lagring av provkroppar

Kapillärsugningstest och frysprovningar utfördes på cylindriska provkroppar uttagna ur plattorna. Utbörning ägde rum 3 månader efter gjutning. Provkropparnas storlek och läge i borrkärna och platta anges i figur 2. Betong till en nivå om ca 2 cm från plattans över- och underyta uteslöts från provning.



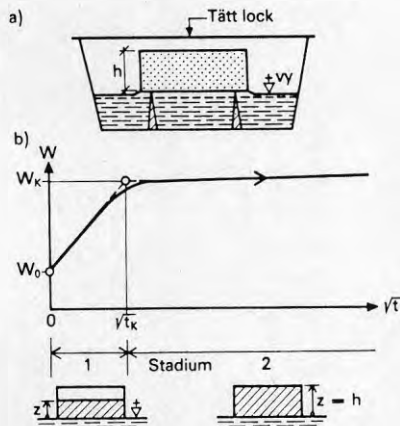
Figur 2. Plan över borrkärnornas läge i plattan samt provkropparnas storlek och läge i respektive borrkärna. ▽ markerar provad yta.

Provkroppar för kapillärsugning (höjd 30 mm) uttogs från borrkärna 2 och 3:s övre och undre del. Medelvärden av resultaten från dessa prov antogs karakterisera materialet. Skivorna konditionerades före sugningens början under 10 dygn vid temperaturen $+50^{\circ}\text{C}$ och relativa fuktigheten 50%.

För frystest enligt svensk metod uttogs provkroppar från borrkärna 1. Skivor från kärnans övre och undre del (höjd 30 mm) provades efter 1 månads vattenlagring och mittdelarna (höjd 45 mm) efter 17 månaders vattenlagring. För frystest enligt tysk metod användes borrkärna 4 (höjd 16,0 cm) samt mittdelen av borrkärna 3 (höjd 9,5 cm). Mittdelen av borrkärna 2 användes för bestämning av vatteninnehåll vid frysprovningarnas början. Provkropparna lagrades direkt efter utbörning och uppsugning i vatten.

Kapillärsugningstest

Provnigen utfördes enligt /9/. Se figur 3a. I analysen, figur 3b, antages att den kapillärt uppsugna vattenmängden hos betong är proportionell mot kvadratroten ur tiden. Då fuktfrenten nått provets överyta (vattengenomslag) anses den kapillära porvolymen vara fylld och fortsatt vattenabsorption vara ringa. Baserat på sugförloppet kan betongens motståndstal och kapillaritetstal beräknas. Motståndstalet bestäms ur tiden för vattenfronten att nå provkroppens överyta och beror huvudsakligen på kapillärernas finhet. Ju finare kapillärer desto högre motståndstal. Kapillaritetstalet anger lutningen på kurvan i stadium 1 och är förutom kapillärernas finhet även beroende av kapillärvolymens storlek och fukttillståndet i materialet vid sugningens början.



Figur 3. Schema för kapillärsugning. Figuren är hämtad ur /9/.

a) Försökupställning för kapillärsugningstest.

b) Typisk vattenabsorptionskurva.

Frystest enligt svensk standard (SS 13 72 25)

En yta av provkroppen nedsänks 3 mm i 3%-ig NaCl-lösning. Nedfrysning och upptining sker cykliskt i luft. Nedfrysning under 16 timmar vid temperaturen -15°C och upptining under 8 timmar vid temperaturen $+20^{\circ}\text{C}$. Avskalat material från nedsänkt sidoyta bestäms och anges i kg/m^2 .

Frystest enligt tysk metod beskriven i /10/

Hela provkroppen nedsänks i köldbadd av 35%-ig (mättad) NaCl-lösning. Badets temperatur hålls vid -15°C . Nedfrysning sker under 8 timmar. Upptining sker i vatten under 16 timmar vid temperaturen $+20^{\circ}\text{C}$. Volymminskning till följd av avskalat material efter 25 fryscyklar bestäms och utgör ett mått på betongens frostbeständighet.

4 RESULTAT OCH ANALYS

4.1 Färsk betong och tryckhållfasthet

Betongernas egenskaper i färskt tillstånd samt tryckhållfasthet 28 dygn efter gjutning visas i tabell 2.

TABELL 2. Egenskaper hos färsk betong samt tryckhållfasthet 28 dygn efter gjutning.

Betong	Sättmått (mm)	Utbredningsmått (cm)	Luft-hållt (%)	vlbt*	Färsk densitet (kg/m ³)	Tryckhållf. (MPa)
N	80	42,5	1,8	0,75	2370	38
NF	230	57,0	0,5	0,72	2370	40
NL	80	39,0	7,2	0,79	2250	35
NLF	210	47,5	4,2	0,71	2320	40
S	60	38,5	1,5	0,77	2360	41
SF	220	51,5	1,0	0,77	2360	41
SL	60	38,0	4,2	0,77	2300	40
SLF	200	47,0	2,3	0,73	2350	45

* vlbt = volym (vatten+luft) / vikt (cement+silica)

Tabellen visar att endast en av de lufttillsatta betongerna (NL) uppfyllde kravet på erforderlig lufthalt för frostbeständighet enligt BBK 79, $L_{\min} = 5\%$ vid $d_{\max} = 16$ mm. Såväl inblandning av silica som tillsats av flytmedel medförde reduktion av lufthalten med ca 40%. De hållfasthetsskillnader som erhöles kan inte enbart förklaras med olika vattenluftbindemedelstal. Även silicatisatsen tycks ha haft en viss hållfasthetshöjande effekt.

4.2 Kapillärsugning

Uppmätt fukttinhåll samt beräknad fylld kapillärporvolym i provkropparna före provningens början anges i tabell 3. Fylld kapillärporvolym har beräknats under antagande att gelporvolymen är helt fylld.

TABELL 3. Fukttillstånd i provkropparna före kapillärsugning. Provkropparna konditionerade vid +50°C och RH 50%. Uttorkningsbart vatten vid +105°C och beräknade porvolymen anges i procent av betongvolymen. Antagen hydratationsgrad 0,75.

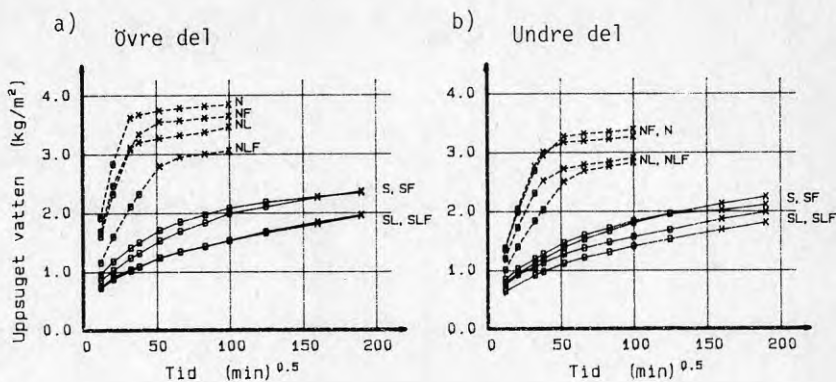
Betong	N	NF	NL	NLF	S	SF	SL	SLF
Uttorkningsbart vatten (vol-%)								
Övre del	5,6	5,0	3,8	5,4	9,0	9,0	8,6	8,9
Undre del	5,3	4,7	3,7	4,8	8,7	8,8	8,9	8,7

Beräknade porvolymen (%)								
Gelporvolym	4,7	4,7	5,0	5,0	6,2	6,2	6,6	6,6
Kapillärporvolym	12,3	12,6	9,5	9,8	11,8	12,4	10,4	10,7
Fylld kapillärporvolym, medelvärde	0,8	0,2	0	0,1	2,7	2,7	2,2	2,2

Baserat på tabellvärdena ovan fås

- att kapillärporererna i normalbetong i det närmaste var tomma
- att kapillärporererna i silicabetong var fyllda till 20-25%
- att kapillärporererna i flytbetong och motsvarande utgångsbetong var fyllda i ungefär samma grad.

Uppsugningsförloppen under kapillärsugningen visas i figur 4.



Figur 4. Kapillär vattenuppsugning som funktion av kvadratrotten ur tiden. Provingarna utfördes på cylindriska skivor (diameter 100 mm, höjd 30 mm) konditionerade vid $+50^{\circ}\text{C}$ och RH 50%. Medelvärde av 2 prov.
(x anger att vattengenomslag observerats visuellt.)

Figur 4a visar samma tendenser i sugförlopp som figur 4b. Vissa skillnader beträffande uppsugen vattenmängd kan noteras. Skillnaderna förklaras med separation under vibreringen. Dessa var störst för de trögflytande betongerna N och NL. För övriga betonger tycks vibreringen enligt punkt 2.3 vara väl anpassad.

De kapillära sugförloppen hos normalbetong överensstämde väl med modellen i figur 3. Visuellt observerade vattengenomslag inträffade efter 10-40 timmars sugning. Vid dessa tidpunkter erhöles tydliga knickpunkter i diagrammen. Flytmedelstillsats medförde reducerad uppsugningshastighet. Orsaken härtill kan vara ett förfinat kapillärsystem till följd av flytmedlets dispergerande effekt eller närvaro av flytmedelssubstans i kapillärerna.

För silicabetong var överensstämmelsen med modellen mindre god. Vattengenomslagen var kraftigt fördröjda och observerades först efter 15-20 dygns sugning. Det större vatteninnehållet vid provningens start kan ha påverkat sugförloppet men knappast tidpunkten för vattengenomslag /12/. Flytmedelstillsatsens inverkan på sughastigheten var liten.

Uppmätt fukttinnehåll samt beräknad ofylld kapillärporvolym i provkropparna efter avslutad provning anges i tabell 4. Öfylld kapillärporvolym har beräknats under antagande att gelporvolymen är helt fylld.

TABELL 4. Fukttillstånd i provkropparna efter avslutad kapillär-sugningsprovning. Uppsugen vattenmängd och beräknad ofylld kapillärporvolym anges i procent av betongvolymen. Antagen hydratationsgrad 0,75.

Betong	N	NF	NL	NLF	S	SF	SL	SLF
Uppsugen vattenmängd (vol-%)								
Övre del	11,6	11,0	10,4	9,2	7,1	7,1	5,9	5,9
Undre del	9,8	10,1	8,7	8,5	6,8	6,4	6,0	5,4

Beräknad ofylld kapillärporvolym (%)								
Medelvärde	0,9	1,9	1,2	0,9	2,2	3,0	2,3	2,9

Baserat på tabellvärdena ovan fås

- att kapillärporerna ej fylldes helt i någon av betongerna
- att ofylld kapillärporvolym var 1,5-3 gånger större i silicabetong än i normalbetong
- att ofylld kapillärporvolym var något större i flytbetong än i motsvarande utgångsbetong (undantag NLF).

Kapillärsugningstesten visade att sugförloppet hos silicabetong är olikt det hos normalbetong. Modellen för kapillär uppsugning tycks inte vara tillämplig på silicabetong. Motståndstal och kapillaritetstal kan ej entydigt bestämmas. Baserat på tidpunkten för vattengenomslag samt beräknade fukttillstånd i kapillärerna före och efter kapillärsugning kan dock konstateras

- att inblandning av silica avsevärt förfinar kapillärstrukturen i såväl flytbetong som betong med styvare konsistens
- att flytmedelstillsatsens inverkan på kapillärstrukturen är marginell i jämförelse med silicainblandningens.

4.3 Frostbeständighet

Fukttillstånd i provkropparna vid frysprovningarnas början visas i tabell 5.

TABELL 5. Fukttillstånd efter 1 och 17 månaders vattenlagring. Uttorkningsbart vatten vid +105°C och beräknad ofylld porvolym anges i procent av betongvolymen. Hydratationsgraden har antagits vara 0,80 respektive 0,85.

Betong	N	NF	NL	NLF	S	SF	SL	SLF
Lufthalt (%), färsk betong	1,8	0,5	7,2	4,2	1,5	1,0	4,2	2,3
Uttorkningsbart vatten (vol-%)								
1 månad	16,2	16,7	14,2	14,8	16,8	18,4	15,0	14,8
17 månader	17,2	16,7	15,9	15,8	17,8	18,4	16,7	16,5

Beräknad por- fyllnadsgrad (%)								
1 månad	87	95	66	79	87	95	72	77
17 månader	94	97	75	86	94	97	81	87

Beräknad ofylld porvolym (%)								
1 månad	2,0	0,9	7,2	3,9	2,4	0,9	5,9	4,5
17 månader	0,7	0,6	5,2	2,6	1,1	0,7	3,8	2,5

Tabell 5 visar att

- porfyllnadsgraden hos silicabetong var av samma storleksordning som hos motsvarande normalbetong
- porfyllnadsgraden hos flytbetong genomgående var större än hos motsvarande utgångsbetong
- porfyllnadsgraden hos de ej lufttillsatta flytbetongerna NF och SF redan efter 1 månads vattenlagring var mycket hög, 95%.

Antages att gel- och kapillärporvolymen fylls helt innan vattenabsorption sker i luftporerna kan följande fuktillstånd anses råda i provkropparna före frys försökens början:

Frystest efter 1 månads vattenlagring (4 månaders betongålder)

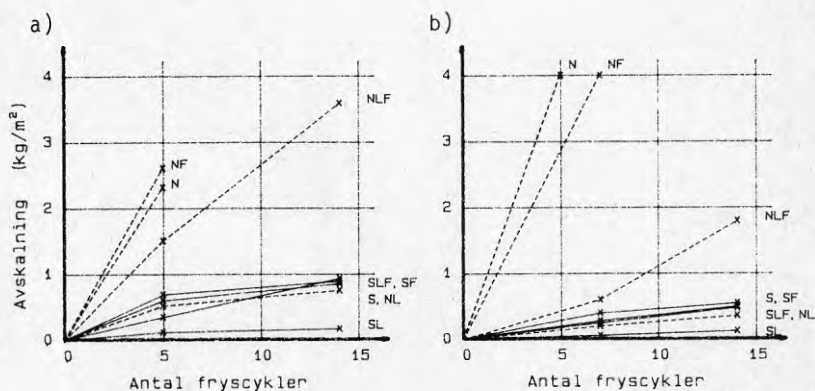
- Gel- och kapillärporvolymen helt fylld i normalbetong men ej i silicabetong (undantag SF)
- Luftporvolymen ofylld i samtliga fall.

Frystest efter 17 månaders vattenlagring (20 månaders betongålder)

- Gel- och kapillärporvolymen helt fylld i samtliga betonger
- Luftporvolymen delvis fylld i samtliga fall utom i ett (SLF).

Frystest enligt svensk metod (SS 13 72 25)

Avskalad mängd material fram till 14 fryscyklar angivet i kg/m^2 provad yta visas i figur 5.



Figur 5. Avskalad material som funktion av antalet fryscyklar. Provning i huvudsak enligt svensk standard (SS 13 72 25).

- a) Provkroppar uttagna från utborrade cylindrars övre och undre del och därefter lagrade 1 månad i vatten. Provkroppshöjd 30 mm. Medelvärde av 2 prov.
- b) Provkroppar uttagna från utborrade cylindrars mitt-del och därefter lagrade 17 månader i vatten. Provkroppshöjd 45 mm. Medelvärde av 2 prov.

Figur 5a uppvisar samma tendenser i avskalning som figur 5b. Avskalningarnas storlek vid de båda provningstillfällena är inte jämförbara på grund av skillnader i provkroppsstorlek och provkropparnas läge i plattan.

Indelas betongerna efter skadegrad fås följande 3 grupper:

1. SL Ringa mängd avskalad material.
Bör kunna betecknas som frostbeständig, om kriteriet för avskalning $< 0.6 \text{ kg/m}^2$ efter 28 fryscyklar tillämpas.
2. NL, SLF, S, SF Måttlig mängd avskalad material.
Ej frostbeständig enligt kriteriet ovan.
3. NLF, N, NF Stor mängd avskalad material.
Mycket låg frostbeständighet.

I tabell 6 visas avskalningens storlek hos provkroppar uttagna från borrhärnornas övre och undre del (figur 5a).

TABELL 6. Avskalat material hos provkroppar uttagna från utborrade cylindrars övre och undre del. Provkroppshöjd 30 mm. Provkropparna lagrade 1 månad i vatten före provningens början.

Betong	Avskalat material (kg/m ²)				
	5 fryscykler		14 fryscykler		
	Övre del	Undre del	Övre del	Undre del	Övre/Undre
N	2,25	2,39	-	-	-
NF	2,56	2,70	-	-	-
NL	0,50	0,50	0,82	0,76	1,08
NLF	1,77	1,29	4,64	2,54	1,83
S	0,67	0,51	0,91	0,81	1,12
SF	0,71	0,59	0,99	0,83	1,19
SL	0,09	0,09	0,14	0,14	1,00
SLF	0,43	0,29	1,08	0,74	1,46

Tabell 6 visar att mängd avskalat material var större hos provkroppar uttagna från cylinderns övre del än från dess undre och att skillnaderna var speciellt stora hos de lufttillsatta flytbetongerna NLF och SLF.

Resultaten från frystesten tyder på att

- inblandning av silica förbättrar frostbeständigheten hos såväl flytbetong som betong med styvare konsistens
- flytbetong med silica har jämförbar frostbeständighet med lufttillsatt betong utan silica
- i flytbetong ger silicainblandning i jämförelse med lufttillsats en mer homogen frostbeständighet över tvärsnittet.

Frystest enligt tysk metod beskriven i /10/

Volymminskningar efter 20 fryscyklar visas i tabell 7.

TABELL 7. Volymförluster i avskalat material efter 20 fryscyklar vid provning enligt /10/. Provkropparna lagrade 1 och 17 månader i vatten före provning.

Betong	Volymminskning (%)	
	Vattenlagrad 1 månad Provkroppshöjd 16,0 cm	Vattenlagrad 17 månader Provkroppshöjd 9,5 cm
N	brott efter 20 cykler	> 25
NF	brott efter 16 cykler	> 25
NL	1,6	4,3
NLF	2,9	6,5
S	< 0,5	1,8
SF	< 0,5	1,7
SL	1,0	1,1
SLF	1,1	1,3

Tabell 7 visar samma tendenser i volymförlust vid 1 som vid 17 månaders vattenlagring. I likhet med testen enligt svensk metod har olika provkroppstorlekar använts varför volymförlusternas storlek vid de båda provningstillfällena ej är jämförbara.

Indelas betongerna efter skadegrad fås följande 3 grupper:

1. S, SF, SL, SLF Små volymförluster
2. NL, NLF Måttliga volymförluster
3. N, NF Mycket stora volymförluster

Till skillnad från resultaten med den svenska metoden fås att samtliga betonger med silica hade högre frostbeständighet än någon av normalbetongerna. Luft- och flytmedelstillsatsens inverkan på silicabetongens frostbeständighet tycktes vara liten. Vissa olikheter i provkropparnas utseende efter frysförsöken kunde dock noteras. På de lufttillsatta silicabetongerna var ett mycket tunnt, kontinuerligt bruksskikt avskalat från ytorna medan de ej lufttillsatta betongerna uppvisade djupare, diskontinuerliga ytskador, se bilaga 1.

5 SLUTSATSER

Försöksresultaten bekräftar resultat från litteraturen beträffande silicainblandningens och flytmedelstillsatsens inverkan på betongens porsystem och frostbeständighet.

- Ersättning av del av cementet med silica ger förfinat kapillärssystem, lägre lufthalt för lika mängd luftporbildare samt förbättrar frostbeständigheten hos såväl lufttillsatt som ej lufttillsatt betong.
- Tillsats av flytmedel i normalbetong (betong utan silica) kan medföra reducerad lufthalt, ökad porfyllnadsgrad och försämrade frostbeständighet.

Undersökningen visar att effekten av silica på betongens kapillärssystem och frostbeständighetsegenskaper är densamma i flytbetong som i betong med styvare konsistens.

- Frostbeständigheten hos flytbetong med silica är jämförbar med den lufttillsatta normalbetongens (7% luft).
- Frostbeständigheten är, till skillnad från normalbetong, god även vid låga lufthalter och höga porfyllnadsgrader.

6 DISKUSSION

I likhet med många andra egenskaper hos betong påverkas frostbeständigheten gynnsamt av sänkt vattencementtal. Det förklaras av att lågt vattencementtal ger finare kapillärer och mindre kapillärvolym varför kapillär sughastighet och mängd frysbart vatten reduceras. Vid ersättning av cement med silica fås liknande förändringar utan reduktion av vattenhalten.

Tillsats av luftporbildande medel i syfte att förbättra frostbeständigheten medför att vattencementtalet måste reduceras för att föreskriven hållfasthet skall uppnås (konstant vattenluftcementtal). Vid bildning av små luftporer i färsk betong binds vatten i luftporväggarna vilket ytterligare reducerar vattencementtalet i cementpastafasen. Förhöjd lufthalt förbättrar frostbeständigheten dels av luftporernas låga medelavstånd dels av reducerat vattencementtal. Vilken av dessa faktorer som är mest dominant tycks ej vara helt klarlagt. I bestämmelser och rekommendationer anges vanligen ett lägsta värde för luftporvolymen och ett högsta värde för vattencementtalet för frostbeständig betong.

För att helt tillgodogöra sig effekten av lufttillsats krävs att luftporerna är jämt fördelade och att sammanslagning av mindre luftporer till större förhindras. Då flytmedel tillsätts betong erhålls ett känsligt system. Separationen ökar och kan ytterligare förstärkas av mindre avvikelser i ballastsammansättningen. Sänkt vattencementtal tycks ej heller ha lika gynnsam inverkan på frostbeständigheten i flytbetong som i övrig betong /13/.

För att klarlägga silicas inverkan på flytbetongens frostbeständighetsegenskaper krävs ytterligare försök. Speciell uppmärksamhet bör riktas mot betongens uttorkningsbetingelser, eftersom den tätare silicabetongen bör vara känsligare för fuktgradienter och därför lättare ge sprickbildning. Beträffande uttorkningens inverkan på frostbeständigheten hos lufttillsatt betong finns få uppgifter i tillgänglig litteratur. En begränsad försöksserie som utfördes av författarna (se bilaga 2) antyder att denna kan vara stor.

LITTERATURFÖRTECKNING

- /1/ Malhotra, V M. Superplasticizers: their effect on fresh and hardened concrete. Concrete International, May 1981.
- /2/ Luftinblandning i superplastifiseret betong. Beton-Teknik 10 /17/ 1981. Aalborg Portland.
- /3/ Johansson, A & Petersens, N. Flytbetong - egenskaper, användning, erfarenheter. CBI rapporter, ra 3, 1982.
- /4/ Fagerlund, G. Betongens beständighet mot frost och salt. Forskningsrapport, mars 1984, Cementa cement.
- /5/ Silica i betong, del 5, Frostbeständighet. FCB-rapport STF 65 A 81031. NTH, Trondheim.
- /6/ Löland, K E, & Gjörv, O E. Silicabetong. Nordisk Betong, nr 6, 1981.
- /7/ Hjort, L. Microsilica in concrete. Nordic Concrete Research, Publication no 1, Nordic Concrete Federation, 1982.
- /8/ Malhotra, V M & Carrette, G G. Silica Fume Concrete - Properties, Applications and Limitations. Concrete International, May 1983.
- /9/ Betonghandbok, Material. Svensk Byggtjänst, 1980.
- /10/ Verfahren zur prüfung des Frost- und Tausalz widerstand von Beton für Brückenkappen und ähnliche Bauteile. Betonwerk + Fertigteiltechnik, Heft 1, 1976.
- /11/ Sellevold, E J. Silika i Betong: virkemåte som pozzolan og filler. Kurskompendium "Bruk av silika i betong". Norske Sivilingeniørers Forening, Norsk Betongforening, 1983.
- /12/ Fagerlund, G. On the capillarity of concrete. Nordic Concrete Research, Publication no 1, Nordic Concrete Federation, 1982.
- /13/ Dhir, R K & Yap, A W F. Superplasticized flowing concrete: durability properties. Magazine of Concrete Research, Vol 6, nr 127, June 1984.

Foton över skadade mantelytor efter 20 fryscyklar vid frystest enligt /10/. Cylindrarna vattenlagrade 1 månad före provning.

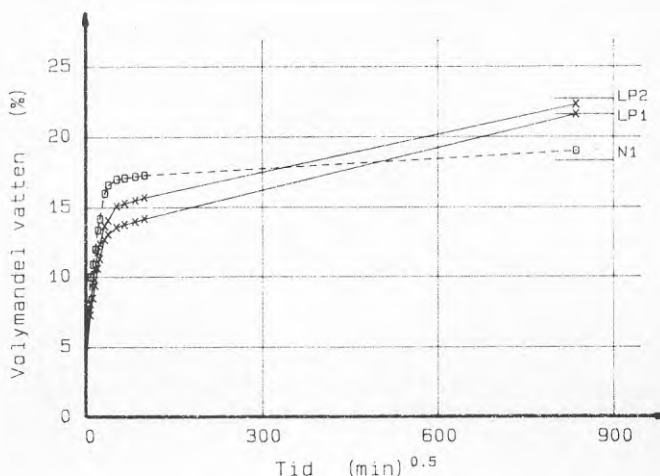






Vattenabsorption och frostbeständighet hos lufttillsatt betong
uttorkad vid +50°C och 50% RH

Figuren nedan visar att luftporsystemet i lufttillsatt betong kan fyllas helt. Efter avslutade vattenabsorptionsförsök frysprovades provkropparna enligt SS 13 72 25. Nedbrytningen var mycket snabb och efter 7 fryscykler var provkropparna helt förstörda.



Vatteninnehåll hos lufttillsatt betong vid ensidig befuktning (1 vecka) och därpå följande vattenlagring (17 månader).

Provkropparna lagrade från och med gjutning fram till provningens början enligt följande:

- vattenlagring 5 dygn
- luftlagring 2,5 månader vid +20°C och 60% RH
- luftlagring 10 dygn vid +50°C och 50% RH.

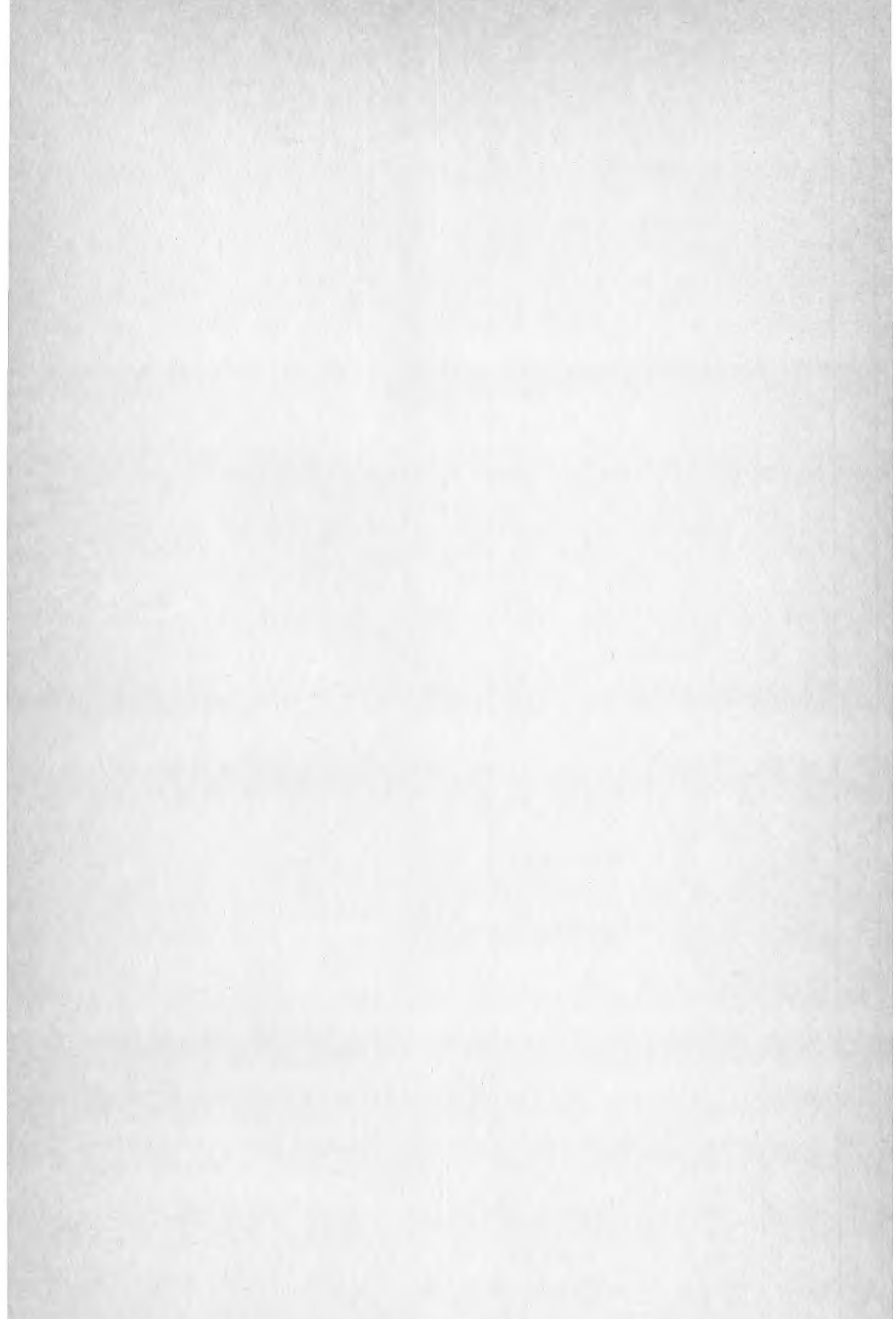
Försöken utfördes på cylinderskivor med diametern 10 cm och höjden 30 mm. Resultaten är medelvärden av 2 prov.

De horisontella linjerna markerar beräknad total porvolym vid antagen hydratationsgrad 0,85.

LP1 Lufttillsatt betong med uppmätt lufthalt 7%

LP2 Lufttillsatt betong med uppmätt lufthalt 6%

N1 Ej lufttillsatt betong.



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830910-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Chalmers
Tekniska Högskola, Avd för byggnadsmaterial, Göteborg.

R66: 1985

ISBN 91-540-4383-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705066

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirka pris: 25 kr exkl moms