



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.



**Böjdraghållfasthetens stabilitet
hos alkaliaktiverad slagg, slagg-
cement och gipsslaggcement**

Tomas Kutti

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *ser*

*K
ent*

R169:1984

BÖJDRAGHÅLLFASTHETENS STABILITET HOS
ALKALIAKTIVERAD SLAGG, SLAGGCEMENT OCH
GIPSSLAGGCEMENT

Tomas Kutti

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
791089-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Avdelningen för byggnadsmateriallära, Chalmers
tekniska högskola, Göteborg.

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

R169:1984

ISBN 91-540-4270-4
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
Liber Tryck Stockholm 1984

INNEHÅLL

	SAMMANFATTNING	1
1	INLEDNING	2
2	LABORATORIEFÖRSÖK	3
2.1	Program och försöksbetingelser	3
2.2	Resultat och analys	5
2.2.1	Del I - normalhårdade slaggbruk	5
2.2.2	Del II - värmehärdade slaggbruk	11
3	SLUTSATSER OCH KOMMENTARER	15
	LITTERATURFÖRTECKNING	16

SAMMANFATTNING

Böjdraghållfastheten hos natriumhydroxidaktiverad slagg, F-cement, standard portlandcementaktiverad slagg (slaggcement) och gipsslaggcement studerades vid övergång från vatten- till luftlagring. Undersökningarna visade att samtliga slaggbindemedel erhöll en kraftig nedgång i böjdraghållfasthet (30-50%) strax efter påbörjad luftlagring. För slaggcementet var nedgången temporär men för övriga bindemedel av mer varaktig natur. För tryckhållfastheterna under samma betingelser erhöles enbart hållfasthetsökningar. Någon förbättring av stabiliteten hos F-cementet till följd av förhöjd temperatur under härdningen (+45°C) kunde inte konstateras. - Resultaten tycks visa att böjdraghållfastheten hos de flesta slaggbaserade bindemedel inte är så stabil vid uttorkning som exempelvis standard portlandcement.

Nyckelord: Vattenlagring, vatten/luftlagring, alkaliaktiverad slagg, F-cement, slaggcement, gipsslaggcement, tryckhållfasthet, böjdraghållfasthet.

I tidigare arbeten rörande alkaliaktiverad slagg som bindemedel i bruk och betong /1/, /2/ har framkommit att den alkaliaktiverade slaggens böjdraghållfasthet inte är stabil vid ändrade fukt-betingelser. En liknande tendens, fast av mer temporär natur, har även iakttagits hos slagg aktiverad med standard portlandcement (slaggcement) men ej hos rent portlandcement /3/. Hos slaggcementet är detta fenomen speciellt märkbart då slaggandelen i bindemedlet är stor. Böjdraghållfasthetens stabilitet hos andra slaggbaserade bindemedel, exempelvis gipsslaggcement eller F-cement är mindre känd. - Som ett led i försöken att stabilisera den alkaliaktiverade slaggens böjdraghållfasthet har i detta arbete jämförande studier av strukturer och hållfasthetsegenskaper hos fem olika slaggbindemedel genomförts. Av speciellt intresse har varit att undersöka F-cementets stabilitet, dvs stabiliteten hos slagg aktiverad med den komersiella alkaliska tillsatsen F-admixture.

I denna delrapport redovisas hållfasthetsegenskaperna. Som aktivatorer till slaggen användes natriumhydroxid, F-admixture, standard portlandcement och gips. I rapporten diskuteras hållfasthetsförändringar till följd av ändrade lagringsbetingelser samt sambanden mellan bindemedlens böjdrag- och tryckhållfastheter. I en senare delrapport redovisas strukturstudierna. Här kommer sambanden mellan bindemedelsstrukturer och hållfasthetsegenskaper att diskuteras.

2 LABORATORIEFÖRSÖK

2.1 Program och försöksbetingelser

Undersökningarna indelades i två delar - härdning vid normal respektive förhöjd temperatur. I båda delarna studerades böjdrag- och tryckhållfastheter vid två olika lagringsbetingelser. - Hållfastheterna bestämdes normenligt på standardbruk.

Slaggen till undersökningarna levererades från Oxelösunds Järnverk. Dess egenskaper och sammansättning framgår av tabell I.

Tabell I Fysikaliska egenskaper och kemisk sammansättning hos använd slag.

Kompakt- densitet kg/m ³	Blaine m ² /kg	Glas- halt %	Kemisk sammansättning, %						
			CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	S
2950	480	94	39,3	37,5	9,0	0,4	8,7	1,1	1,2

Del I - normalhärdade slaggbruk (+20°C)

I denna del provades fem olika slaggbindemedel (slaggbruk). I två av dessa aktiverades slaggen med natriumhydroxid. I övriga tre användes F-admixture, standard portlandcement respektive gips som aktivator. Brukens bindemedel/sand-förhållande och konsistenser hölls konstanta. Vattenbindemedelstalen (vbt) varierade. En sammanställning över bruksammansättningarna återfinns i tabell II.

Tabell II Beteckningar och sammansättningar av provade slaggbruk. Bruken var av plastiska konsistenser. Bindemedel/sand-förhållande 1/3.

Bruk- beteckn.	Aktivator		Övriga tillsatser		Vatten- bindemedels- tal (vbt)
	Typ	Mängd vikt-%	Typ	Mängd vikt-%	
AS ¹	NaOH	3	-	-	0,37
AS-1 ¹	NaOH	3	PC ³	10	0,36
FC	F-admix ²	33	-	-	0,35
SC	PC ³	67	-	-	0,43
GC	CaSO ₄	15	PC ³	2	0,47

¹ Innehöll även vattenreducerare Flyt V (melaminbaserad).

² Torrsbstanshalt 25%. Innehåller även typ av lignosulfonat.

³ Standard portlandcement, Blaine 360 m²/kg.

För provning av hållfastheterna tillverkades prismor 4x4x16 cm. Bruken kompakterades på vibrobord. Fram till avformning - 24 timmar efter gjutning - förvarades provkropparna i klimatlåda (+20°C, RH=100%). Efter avformning lagrades provkropparna i två serier

- Serie 1 - kontinuerlig vattenlagring (+20°C)
 Serie 2 - vatten/luftlagring. Vattenlagring (+20°C)
 t o m dygn 7. Därefter luftlagring (+20°C,
 RH=50%)

Del II - värmehärdade slaggbruk (+45°C)

I denna del provades enbart F-cement, dvs slagg aktiverad med F-admixture. Försöksbetingelserna vad beträffar bruksammansättning och provkroppstillverkning var identiska med de i del I.

Värmehärdningen utfördes i värmehärdningslåda (+45°C, RH=100%). Förlagringstider och isotermiska tider varierades på tre sätt enligt tabell III.

Tabell III Härdningscykler för värmehärdade slaggbruk (FC-bruk).

Förlagringstid, timmar	Isotermisk period vid +45°C, timmar
0	4
0	24
4	20

Avformningen ägde rum 24 timmar efter gjutning. Efter avformning och avsvälning lagrades provkropparna i två serier på samma sätt som i del I

- Serie 3 - kontinuerlig vattenlagring (+20°C)
 Serie 4 - vatten/luftlagring. Vattenlagring (+20°C)
 t o m dygn 7. Därefter luftlagring (+20°C,
 RH=50%)

2.2 Resultat och analys

2.2.1 Del I - normalhårdade slaggbruk

Provningsresultaten över de vattenlagrade och vatten/luftlagrade slaggbruken i serierna 1 resp 2 redovisas i tabell IV samt i figurerna 1 och 2.

Tabell IV Hållfastheter för normalhårdade slaggbruk lagrade under två olika betingelser. Samtliga bruk var av plastiska konsistenser. Bindemedel/sand-förhållande 1/3.

Bruk- beteckn.	Vbt	Vattenlagring (serie 1)		Vatten/luftlagring* (serie 2)		
		Böjdrag-Tryckhållf (MPa)		Böjdrag-Tryckhållf (MPa)		
		7 dygn	28 dygn	7 dygn	28 dygn	91 dygn
AS	0,37	8,4-20,6	9,6-35,3	8,4-20,6	4,6-38,0	4,0-40,6
AS-1	0,36	5,9-25,3	7,8-44,7	5,9-25,3	5,7-51,9	5,9-57,2
FC	0,35	4,5-24,6	5,0-38,1	4,5-24,6	3,2-41,1	4,9-50,3
SC	0,43	5,2-25,5	8,1-43,7	5,2-25,5	5,7-45,9	7,9-47,5
GC	0,47	4,6-10,3	5,8-15,0	4,6-10,3	2,2-14,3	2,5-15,0

* Vattenlagring t o m dygn 7. Därefter luftlagring.

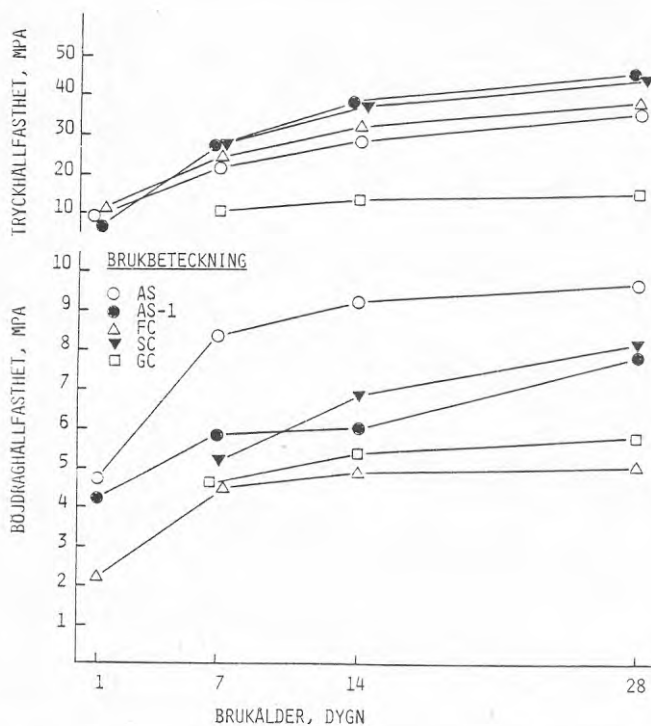
Vid analys av hållfasthetsresultaten i tabell IV bör observeras att vattenbindemedelstalet för slagg-cementbruket (SC) och gipsslaggcementbruket (GC) var högre än för övriga bruk. Detta förhållande kan vara orsaken till GC-brukets mycket låga tryckhållfastheter. Förutom högre vattenbindemedelstal kan de låga hållfastheterna för GC-bruket förklaras av att halten aluminiumoxid i slaggen var låg (9,0%). Enligt litteraturen /4/ bör aluminiumoxidhalten i en slagg lämpad för gipsaktivering uppgå till minst 15%. Dessutom bör även kalkhalten i slaggen vara hög. - Till följd av GC-brukets låga tryckhållfastheter kommer bruket i-bland att utelämnas i analysen.

Beträffande SC-bruket visar tabell IV att dess hållfastheter trots högre vattenbindemedelstal var helt jämförbara med hållfastheterna för de övriga bruken. I den fortsatta analysen kommer därför inverkan av vattenbindemedelstalet inte att diskuteras.

Kontinuerlig vattenlagring - serie 1

I serie 1 provades hållfastheterna fram till 28 dygns ålder. Här visar tabell IV att de högsta tryckhållfastheterna (ca 45 MPa) erhöles för slaggbruken betecknade AS-1 och SC. För AS och FC-bruket var hållfastheterna lägre (35 resp 38 MPa). Vad beträffar brukens böjdraghållfastheter vid denna ålder svarade AS-bruket för den klart högsta och FC-bruket för den lägsta hållfastheten (9,6 resp 5,0 MPa). Betecknande

för hållfastheterna i denna serie var att samtliga böjdrag- och tryckhållfastheter ökade med tiden. Se vidare figur 1.



Figur 1 Hållfasthetsutveckling hos normalhårdade slaggbruk vid kontinuerlig vattenlagring (serie 1).

Utgående från hållfasthetsvärdena i tabell IV har i tabell V hållfasthetstillväxten fram till 7 dygns ålder beräknats. I tabell V anges vidare kvoterna mellan brukens båda hållfastheter vid 7 och 28 dygns ålder.

Tabell V Hållfasthetstillväxt samt kvoter mellan brukens böjdrag- och tryckhållfastheter vid 7 och 28 dygns ålder. Kontinuerlig vattenlagring (serie 1).

Bruk- beteckn.	Hållfasthetstillväxt, σ_7/σ_{28}		Böjdrag/tryck- hållfasthet	
	Böjdrag	Tryck	7 dygn	28 dygn
AS	0,88	0,58	0,41	0,27
AS-1	0,76	0,57	0,23	0,17
FC	0,90	0,65	0,18	0,13
SC	0,64	0,58	0,20	0,19
GC	0,79	0,69	0,45	0,39

Tabell V visar att hållfasthetstillväxten fram till 7 dygns ålder varierade mellan de olika brukena både vad gäller storlek och inbördes förhållande mellan respektive bruks böjdrag- och tryckhållfasthetstillväxt. Med hänsyn till dessa skillnader kan brukena indelas i tre grupper

- AS, AS-1 och FC-bruket: Snabb tillväxt i böjdrag
Moderat tillväxt i tryck
- GC-bruket: Snabb tillväxt i böjdrag
Snabb tillväxt i tryck
- SC-bruket: Moderat tillväxt i böjdrag
Moderat tillväxt i tryck

Av tabell V samt ovan gjorda indelning följer att tillväxten i böjdraghållfasthet under senare delen av vattenlagringen (dygn 7-28) var liten i förhållande till tryckhållfasthetstillväxten för brukena i den första gruppen. Detta gällde speciellt för AS och FC-bruket (10/40%). Betraktas kvoterna mellan brukens böjdrag- och tryckhållfastheter under samma tidsperiod visar tabell V att dessa avtog markant (ca 30%) för AS, AS-1 och FC-bruket medan kvoterna för SC och GC-bruket tycktes vara av mer konstant natur (minskning med 5 resp 13%). - Beträffande kvoternas storlek visar tabell V att

- AS och GC-bruket hade i förhållande till tryckhållfastheterna höga böjdraghållfastheter
- FC-bruket hade i förhållande till tryckhållfastheten låg böjdraghållfasthet

Med hjälp av tabellerna IV och V samt med lämpligt valda bedömningskriterier kan de provade slaggbrukens hållfasthetsegenskaper karakteriseras på sätt enligt tabell VI.

Tabell VI Karaktistik av de normalhårdade slaggbrukens hållfasthetsegenskaper vid kontinuerlig vattenlagring (serie 1).

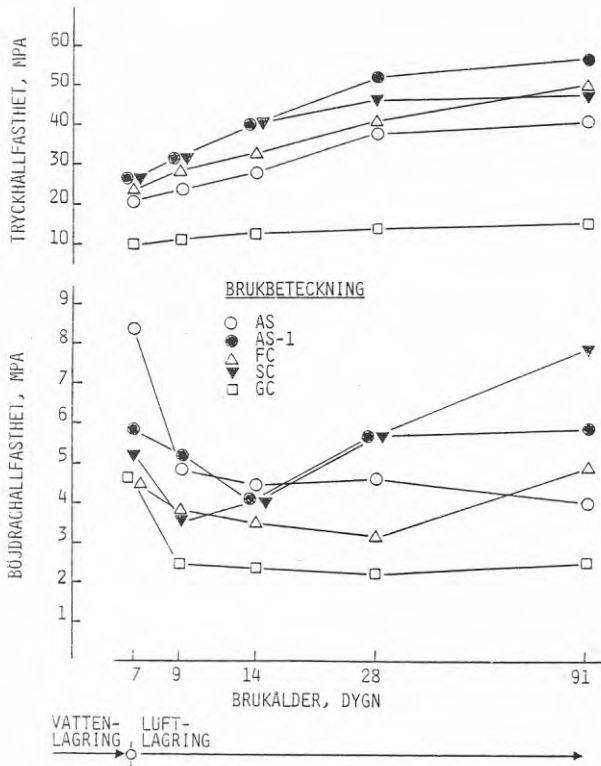
Bruk- beteckn.	Hållfasthets- tillväxt, σ_7/σ_{28}		Hållfasthet, 28 dygn		Böjdrag/tryck- hållfasthet	
	Böjdrag	Tryck	Böjdrag	Tryck	7 dygn	28 dygn
AS	snabb+	moderat	hög+	moderat	hög++	hög
AS-1	snabb	moderat	moderat+	moderat+	hög	moderat
FC	snabb+	moderat+	låg	moderat	moderat	låg
SC	moderat	moderat	hög	moderat+	moderat+	moderat+
GC	snabb	moderat+	låg+	låg--	hög++	hög+

BEDÖMNINGSKRITERIER FÖR SLAGGBRUK (INTERN)

Hållf.tillväxt σ_7/σ_{28}	Böjdraghållfasthet	Tryckhållfasthet	Böjdrag/tryckhållf.
<0,50 långsam	<6,0 MPa låg	<34 MPa låg	<0,15 låg
0,50-0,70 moderat	6,0-8,0 MPa moderat	34-45 MPa moderat	0,15-0,20 moderat
>0,70 snabb	>8,0 MPa hög	>45 MPa hög	>0,20 hög

Vatten/luftlagring - serie 2

I serie 2 provades hållfastheterna fram till 91 dygns ålder. Här visar tabell IV att den klart högsta tryckhållfastheten vid såväl 28 som 91 dygns ålder (52 resp 57 MPa) erhöles för bruket betecknat AS-1. Av övriga bruk - AS, FC och SC - vid dessa åldrar var hållfastheterna för AS-bruket lägst (38 resp 41 MPa). Liknande betraktelser av brukens böjdraghållfastheter visar att de högsta 28- och 91-dygns hållfastheterna erhöles för SC-bruket (5,7 resp 7,9 MPa). Vad beträffar lägsta böjdraghållfastheter svarade FC-bruket för den lägsta vid 28 dygns ålder (3,2 MPa) och AS-bruket för den lägsta vid 91 dygns ålder (4,0 MPa). Betecknande för hållfastheterna i denna serie var att tryckhållfastheterna ökade kontinuerligt med tiden medan böjdraghållfastheterna i samtliga fall minskade strax efter påbörjad luftlagring. För brukens hållfasthetsutvecklingar hänvisas till figur 2 samt tabellerna VII och VIII.



Figur 2 Hållfasthetsutveckling hos normalhårdade slaggbruk efter påbörjad luftlagring vid vatten/luftlagring (serie 2).

Med hjälp av de redovisade hållfastheterna i figur 2 har i tabell VII hållfasthetsförändringarna under luftlagringsskedet (dygn 7-91) beräknats. - I tabell VIII anges därefter kvoterna mellan brukens båda hållfastheter under samma skede.

Tabell VII Förändringar av brukens böjdrag- och tryckhållfastheter f o m luftlagringens början vid vatten/luftlagring (serie 2).

Bruk- beteckn.	Hållfasthetsförändr. - böjdrag				Hållfasthetsförändr. - tryck			
	σ_9/σ_7	σ_{14}/σ_7	σ_{28}/σ_7	σ_{91}/σ_7	σ_9/σ_7	σ_{14}/σ_7	σ_{28}/σ_7	σ_{91}/σ_7
AS	0,58	0,54	0,55	0,48	1,16	1,37	1,84	1,97
AS-1	0,88	0,69	0,97	1,00	1,28	1,60	2,05	2,26
FC	0,84	0,78	0,71	1,09	1,17	1,35	1,67	2,04
SC	0,69	0,77	1,10	1,52	1,29	1,57	1,80	1,86
GC	0,54	0,52	0,48	0,54	1,06	1,22	1,39	1,46

Tabell VII visar att tryckhållfasthetsökningarna under luftlagringsskedet (dygn 7-91) var stora för samtliga bruk utom för GC-bruket. Av de förra svarade bruket betecknat AS-1 för den största och SC-bruket för den minsta tillväxten (126 resp 86%). Vad beträffar böjdraghållfasthetsförändringarna f o m luftlagringens början kan tre olika hållfasthetsförlopp urskiljas till vilka de provade bruken kan hänföras

- AS och GC-bruket: Snabb och kraftig hållfasthetsminskning (ca 50%). Ingen eller ringa tillväxt i senare ålder.
- AS-1 och FC-bruket: Kraftig hållfasthetsminskning (ca 30%). Klar tillväxt i senare ålder.
- SC-bruket: Snabb och kraftig hållfasthetsminskning (ca 30%). Mycket stor tillväxt i senare ålder.

Tabell VIII Kvoter mellan brukens böjdrag- och tryckhållfastheter f o m luftlagringens början vid vatten/luftlagring (serie 2).

Bruk- beteckn.	Böjdrag/tryckhållfasthet				
	7 dygn	9 dygn	14 dygn	28 dygn	91 dygn
AS	0,41	0,21	0,16	0,12	0,10
AS-1	0,23	0,16	0,10	0,11	0,10
FC	0,18	0,13	0,11	0,08	0,10
SC	0,20	0,11	0,10	0,12	0,17
GC	0,45	0,23	0,19	0,15	0,17

Vid analys av kvoterna mellan brukens böjdrag- och tryckhållfastheter samt deras förändringar under luftlagringsskedet (tabell VIII) kan också tre olika förlopp urskiljas till vilka bruken kan hänföras. Här blir dock grupperingen av bruken något annorlunda än vid analysen av böjdraghållfasthetsförändringarna i tabell VII

- AS, AS-1 och FC-bruket: Kontinuerlig minskning av böjdrag i förh. till tryck (minskningen 45-75%). Kvoten tycks stabilisera kring ett värde 0,10.
- GC-bruket: Kontinuerlig minskning av böjdrag i förh. till tryck (minskningen 60-70%). Kvoten tycks stabilisera kring ett värde 0,15-0,20.
- SC-bruket: Temporär minskning av böjdrag i förh. till tryck (minskningen ca 50%). Kvoten tycks därefter öka till ett värde 0,15-0,20.

Analysresultaten över böjdraghållfasthetsutvecklingen i tabellerna VII och VIII skiljer sig väsentligt på en punkt. De i tabell VII noterade hållfasthetsökningarna för AS-1 och FC-bruket under senare delen av luftlagringsskedet resulterade enligt tabell VIII ej i någon reell hållfasthetstillväxt. Det enda bruk för vilket en reell tillväxt kunde noteras var SC-bruket. - Med hjälp av tabellerna IV och VIII samt med samma bedömningskriterier som i tabell VI kan de provade slaggbrukens hållfasthetsegenskaper vid vatten/luftlagring karakteriseras på sätt enligt tabell IX.

Tabell IX Karakteristik av de normalhårdade slaggbrukens hållfasthetsegenskaper vid vatten/luftlagring (serie 2).

Bruk- beteckn.	Hållfasthet, 91 dygn		Böjdrag/tryckhållfasthet	
	Böjdrag	Tryck	7 dygn	91 dygn
AS	låg	moderat	hög++	låg-
AS-1	låg+	hög+	hög	låg-
FC	låg	hög	moderat	låg-
SC	moderat+	hög	moderat+	moderat
GC	låg--	låg--	hög++	moderat

BEDÖMNINGSKRITERIER FÖR SLAGGBRUK (INTERN)

Böjdraghållfasthet	Tryckhållfasthet	Böjdrag/tryckhållf.
<6,0 MPa låg	<34 MPa låg	<0,15 låg
6,0-8,0 MPa moderat	34-45 MPa moderat	0,15-0,20 moderat
>8,0 MPa hög	>45 MPa hög	>0,20 hög

2.2.2 Del II - värmehärdade slaggbruk

Provningsresultaten över de värmehärdade F-cementbruken i serierna 3 och 4 redovisas i tabell X samt i figurerna 3 och 4.

Tabell X Hållfastheter för värmehärdade FC-bruk lagrade under två olika betingelser. Värmehärdning vid +45°C. Slaggen aktiverad med F-admixture. Bruken var av plastiska konsistenser. Bindemedel/sand-förhållande 1/3. Vbt=0,35.

Bruk- beteckn.	Förlagr. tid, timmar	Isoterm. tid, timmar	Vattenlagring (serie 3)			Vatten/luftlagring* (serie 4)	
			Böjdrag-Tryckhållfasthet, MPa			Böjdrag-Tryckhållfasthet, MPa	
			1 dygn	7 dygn	28 dygn	7 dygn	28 dygn
FC 1	0	4	3,9-15,2	6,2-24,3	6,1-35,9	6,2-24,3	4,5-40,2
FC 2	0	24	5,1-27,8	6,2-30,1	6,1-36,1	6,2-30,1	3,9-38,6
FC 3	4	20	4,7-27,8	5,7-29,8	6,1-36,5	5,7-29,8	4,3-42,3

* Vattenlagring t o m dygn 7. Därefter luftlagring.

Kontinuerlig vattenlagring - serie 3

I serie 3 provades hållfastheterna fram till 28 dygns ålder. Av tabell X framgår att hållfasthetsskillnaderna vid 1 dygns ålder var stora, speciellt vad gäller tryckhållfastheten, men att 28-dygnshållfastheterna i såväl tryck- som böjdraghållfasthet var lika för samtliga bruk (ca 36 resp 6,1 MPa). Betecknande för hållfastheterna i denna serie var att tryckhållfastheterna ökade under hela vattenlagringsskedet (dygn 1-28) medan böjdraghållfastheterna efter 7 dygns ålder mer eller mindre tycktes anta ett konstant värde. - Beträffande hållfasthetstillväxt samt kvoter mellan brukens båda hållfastheter hänvisas till tabell XI

Tabell XI Hållfasthetstillväxt samt kvoter mellan brukens böjdrag- och tryckhållfastheter vid 7 och 28 dygns ålder. Kontinuerlig vattenlagring (serie 3).

Bruk- beteckn.	Hållfasthetstillväxt				Böjdrag/tryck- hållfasthet	
	Böjdraghållf.		Tryckhållf.		7 dygn	28 dygn
	σ_1/σ_{28}	σ_7/σ_{28}	σ_1/σ_{28}	σ_7/σ_{28}		
FC 1	0,64	1,02	0,42	0,68	0,26	0,17
FC 2	0,84	1,02	0,77	0,83	0,21	0,17
FC 3	0,77	0,93	0,76	0,82	0,19	0,17

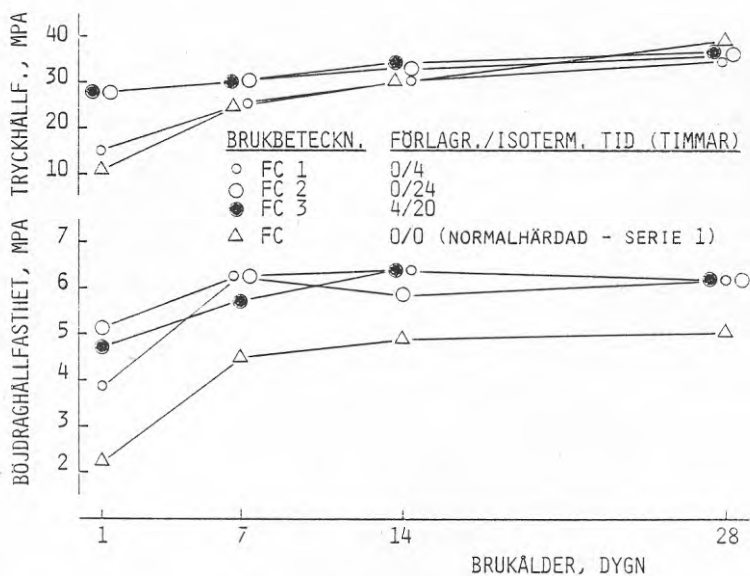
Tabell XI visar att hållfasthetstillväxten fram till 7 dygns ålder varierade mellan de olika bruken både vad gäller storlek och inbördes förhållande mellan respektive bruks böjdrag- och tryckhållfasthetstillväxt. Med

hänsyn till dessa skillnader kan de värmehärdade bruken indelas i två grupper

- FC 1-bruket: Mycket snabb tillväxt i böjdrag
Moderat tillväxt i tryck
- FC 2 och FC 3-bruket: Mycket snabb tillväxt i böjdrag
Snabb tillväxt i tryck

Av tabell XI samt indelningen ovan följer att tillväxten i böjdraghållfasthet under senare delen av vattenlagringen (dygn 7-28) var mycket liten i förhållande till tryckhållfasthetstillväxten, speciellt för FC 1-bruket (0/32%). Betraktas kvoterna mellan böjdrag- och tryckhållfastheterna under samma skede visar tabell XI att kvoten för FC 1-bruket avtog markant (35%) medan kvoterna för FC 2 och FC 3-bruket var av mer konstant natur (minskning med 19 resp 11%). - Kvoternas absoluta värden vid 28 dygns ålder var dock lika 0,17.

I figur 3 jämförs hållfasthetsutvecklingarna mellan de värmehärdade bruken i serie 3 och motsvarande normalhärdade FC-bruk i del I (serie 1).



Figur 3 Hållfasthetsutveckling hos värme- och normalhärdade FC-bruk vid kontinuerlig vattenlagring. Serierna 3 resp 1.

Av figur 3 framgår att 1-dygnshållfastheterna för de värmehärdade bruken i serie 3 var klart högre än för det normalhärdade bruket i serie 1 (för FC 2 och FC 3-bruket 2-3 gånger högre). Vid 28 dygns ålder var tryckhållfastheterna i serie 3 något lägre men böjdraghållfastheterna ca 20% högre. Vissa likheter i hållfasthetsförloppen kan

dock konstateras. I båda serierna ökade tryckhållfastheterna under hela vattenlagringsskedet medan böjdraghållfastheterna efter 7 dygns ålder inte tycktes öka. - Vad beträffar kvoterna mellan brukens böjdrag- och tryckhållfastheter kan noteras att dessa var högre i serie 3 (0,17 resp 0,13 vid 28 dygns ålder) samt att deras förändringar under senare delen av vattenlagringen tycktes vara mindre än i serie 1 (minskning med 10-20 resp 30%).

Vatten/luftlagring - serie 4

I serie 4 provades hållfastheterna fram till 28 dygns ålder. Vid denna ålder var hållfastheterna tämligen lika. Skillnaden mellan största och minsta tryckhållfasthet (ca 42 resp 39 MPa) var 10% och mellan största och minsta böjdraghållfasthet (4,5 resp 3,9 MPa) 15%. Se tabell X. Betecknande för hållfastheterna i denna serie var att tryckhållfastheterna ökade under hela luftlagringsskedet (dygn 7-28) medan böjdraghållfastheterna i samtliga fall minskade strax efter påbörjad luftlagring. Hållfasthetsförändringarnas storlek under detta skede anges i tabell XII. I tabell XIII anges därefter kvoterna mellan brukens båda hållfastheter.

Tabell XII Förändringar av brukens böjdrag- och tryckhållfastheter f o m luftlagringens början vid vatten/luftlagring (serie 4).

Bruk- beteckn.	Hållf.förändr. - böjdrag			Hållf.förändr. - tryck		
	σ_{10}/σ_7	σ_{14}/σ_7	σ_{28}/σ_7	σ_{10}/σ_7	σ_{14}/σ_7	σ_{28}/σ_7
FC 1	0,81	0,68	0,73	1,27	1,33	1,65
FC 2	0,69	0,73	0,63	1,09	1,13	1,28
FC 3	0,89	0,88	0,75	1,18	1,24	1,42

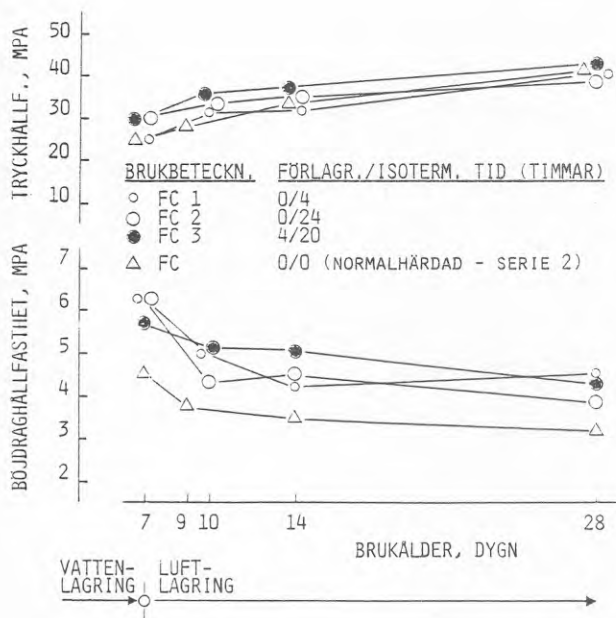
Tabell XII visar att tryckhållfasthetsökningarna under luftlagringen var 28-65%. För den största ökningen svarade FC 1-bruket. För böjdraghållfastheterna under samma tid erhöles en minskning med 25-37%. Någon tendens till uppgång i böjdraghållfasthet under senare delen av luftlagringsskedet kunde inte noteras för något av bruken.

Tabell XIII Kvoter mellan brukens böjdrag- och tryckhållfastheter f o m luftlagringens början vid vatten/luftlagring (serie 4).

Bruk- beteckn.	Böjdrag/tryckhållfasthet			
	7 dygn	10 dygn	14 dygn	28 dygn
FC 1	0,26	0,16	0,13	0,11
FC 2	0,21	0,13	0,13	0,10
FC 3	0,19	0,14	0,14	0,10

Betraktas kvoterna mellan brukens böjdrag- och tryckhållfastheter visar tabell XIII att dessa avtog under hela luftlagringsskedet samt att dessa i slutet av detta skede tycktes stabilisera kring ett värde 0,10. - Kvoternas procentuella minskning under denna tid var 45-60%.

I figur 4 jämförs hållfasthetsutvecklingarna för luftlagringens början mellan de värmehärdade brukna i serie 4 och motsvarande normalhärdade FC-bruk i del I (serie 2).



Figur 4 Hållfasthetsutveckling hos värme- och normalhärdade FC-bruk efter påbörjad luftlagring vid vatten/luftlagring. Serierna 4 resp 2.

Figur 4 visar att hållfasthetsförloppen under luftlagringen uppvisade samma tendenser i serie 4 som i serie 2. Tryckhållfastheterna ökade kontinuerligt i tiden medan böjdraghållfastheterna minskade strax efter påbörjad luftlagring. Vid 28 dygns ålder var tryckhållfastheterna i de båda serierna ungefär lika men böjdraghållfastheterna 20-40% högre i serie 4. - Vad beträffar kvoterna mellan brukens båda hållfastheter kan noteras att dessa var något högre i serie 4 (0,10 resp 0,08 vid 28 dygns ålder), men att deras procentuella minskning under luftlagringen var av samma storleksordning som i serie 2 (ca 50%).

3 SLUTSATSER OCH KOMMENTARER

Undersökningarna bekräftade resultaten från tidigare arbeten /1/, /2/ och /3/ rörande böjdraghållfasthetens stabilitet hos alkaliaktiverad slagg (AS) och standard portlandcementaktiverad slagg (SC) vid övergång från vatten- till luftlagring

- AS: Snabb och kraftig nedgång i böjdraghållfasthet. Nedgången av varaktig natur - ingen eller ringa tillväxt i böjdraghållfasthet vid fortsatt luftlagring.
- SC: Snabb och kraftig nedgång i böjdraghållfasthet. Nedgången av temporär natur - kraftig tillväxt i böjdraghållfasthet vid fortsatt luftlagring.

För tryckhållfastheterna under dessa betingelser kunde endast hållfasthetsökningar noteras.

Undersökningarna visade också att inte heller det standard portlandcementtillsatta AS-cementets (AS-1), F-cementets (FC), eller gipsslaggcementets (GC) böjdraghållfastheter var stabila vid övergång från vatten till luft. Här erhölls liknande tendenser som för AS - kraftig nedgång i böjdraghållfasthet strax efter påbörjad luftlagring. En viss tillväxt i böjdraghållfasthet i senare ålder kunde dock noteras för AS-1 och FC. Deras relativa böjdraghållfastheter, dvs kvoterna mellan böjdrag- och tryckhållfastheterna, ökade däremot inte. Dessa var efter 3 månaders luftlagring oförändrat låga, 0,10, för samtliga alkaliaktiverade bindemedel (AS, AS-1 och FC). Motsvarande kvoter för GC och SC var 0,17. - Någon förbättring av stabiliteten hos FC till följd av förhöjd temperatur under hårdningen (+45°C) kunde heller inte konstateras.

Vad beträffar kvoterna mellan bindemedlens böjdrag- och tryckhållfastheter vid kontinuerlig vattenlagring visade undersökningarna att dessa var mycket höga hos AS och GC (0,27 resp 0,39), moderata hos AS-1 och SC (0,17 resp 0,19) och förhållandevis låga hos FC (0,13 -0,17). - Med undersökningsresultaten samt resultaten från tidigare arbeten tycks därför gälla att

- böjdraghållfastheterna hos de flesta slaggbaserade bindemedlen är instabila vid uttorkning - betydligt mindre stabila än exempelvis portlandcement /3/.
- försämringen av böjdraghållfastheten till följd av uttorkningen är varaktig hos alkaliaktiverad slagg och gipsslaggcement (AS, AS-1 och FC resp GC) under hela uttorkningsskedet men temporär hos standard portlandcementaktiverad slagg (SC).

De angivna kvoterna för GC bör tagas med viss reservation då tryckhållfastheterna för GC var mycket låga.

LITTERATURFÖRTECKNING

- /1/ Kutti, T, Srebnik, M, Malinowski, R, 1979,
Natriumhydroxidaktiverad masugnsslagg.
(Avd för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska
högskola). STU-rapport 78-4450. Göteborg.
- /2/ Kutti, T, Srebnik, M, Malinowski, R, 1981,
Alkaliaktiverad masugnsslagg som bindemedel
i bruk. (Avd för byggnadsmaterial, Chalmers
tekniska högskola). BFR-rapport 791089-4.
Göteborg.
- /3/ Kutti, T, Malinowski, R, 1982,
Influence of the curing conditions on the flexural
strength of alkali activated blast-furnace slag
mortar. (Avd för byggnadsmaterial, Chalmers
tekniska högskola). BFR-rapport 791089-4.
Göteborg.
- /4/ Czernin, W, 1964,
Cementkemi för byggare. Svenska Cementföreningen.
Malmö.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
791089-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Avdelningen för byggnadsmateriallära, Chalmers
tekniska högskola, Göteborg.**

R169: 1984

ISBN 91-540-4270-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6704169

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 25 kr exkl moms