LUND UNIVERSITY

Putskvalitet : inverkan av olika faktorer

Sandin, Kenneth

1985

Link to publication

Citation for published version (APA):
Sandin, K. (1985). *Putskvalitet : inverkan av olika faktorer*. (Rapport TVBM; Vol. 3023). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSMATERIALLÄRA
TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
DIVISION OF BUILDING MATERIALS
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY

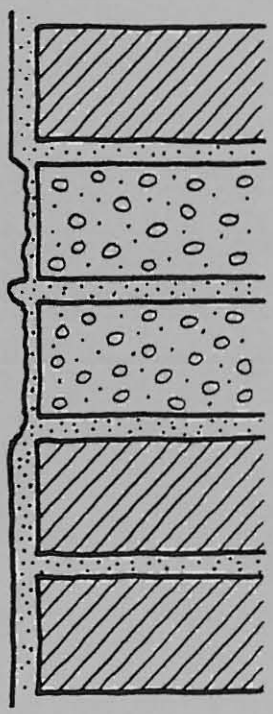
PUTSKVALITET

Inverkan av olika faktorer

THE QUALITY OF RENDERINGS

The influence of different factors

Kenneth Sandin



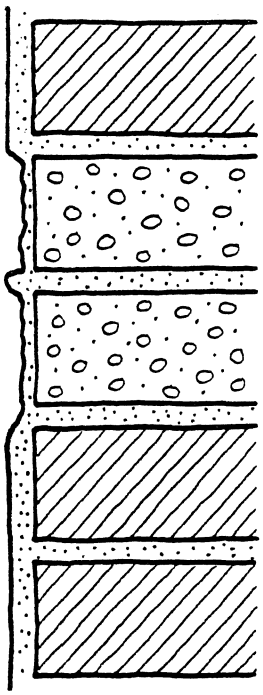
RAPPORT TVBM-3023
LUND, SWEDEN, 1985

CODEN: LUTVDG/(TVBM-3023)/1-76/(1985)

PUTSKVALITET
Inverkan av olika faktorer

THE QUALITY OF RENDERINGS
The influence of different factors

Kenneth Sandin



ISSN 0348-7911

I N N E H Å L L S F Ö R T E C K N I N G

FÖRORD 5

SAMMANFATTNING 6

SUMMARY 8

1 INLEDNING 9

2 UNDERSÖKNINGENS UPPLÄGGNING 11
2.1 Allmänt 11
2.2 Val av inverkande faktorer 11
2.3 Studerade egenskaper 13

3 MATERIAL, PROVKROPPSTILLVERKNING OCH HÄRDNING 15
3.1 Putser 15
3.2 Underlag 15
3.3 Provkroppstillverkning, 1-12 månadsprover . . 16
3.4 Provkroppstillverkning, 3-28 dygnsprover . . . 17
3.5 Härdning och avformning 19
3.6 Provkroppslittrering 19

4 POROSITET OCH DENSITET 21
4.1 Metod 21
4.2 Resultat 21
4.3 Kommentarer och diskussion 23

5 KARBONATISERING 25
5.1 Metod 25
5.2 Resultat 26
5.3 Kommentarer och diskussion 29

6 ELASICITETSMODUL 32
6.1 Metod 32
6.2 Resultat 33
6.3 Kommentarer och diskussion 38

7	TRYCK- OCH BÖJDRAGHÅLLFASTHET	39
7.1	Metod	39
7.2	Resultat	41
7.3	Kommentarer och diskussion	50
8	SALTVITTRINGSTEST	52
8.1	Metod	52
8.2	Resultat	53
8.3	Kommentarer och diskussion	62
9	FRYSPROVNING	65
9.1	Puts på underlag	65
9.1.1	Metod	65
9.1.2	Resultat	65
9.1.3	Kommentarer och diskussion	67
9.2	Enbart puts	69
9.2.1	Metod	69
9.2.2	Resultat	70
9.2.3	Kommentarer och diskussion	70
10	SLUTSATSER	72
10.1	Olika faktorers inverkan på putskvaliteten . .	72
10.2	Allmänna reflexioner	74
	LITTERATUR	76

FÖRORD

Vid en inventering av dagens putskunnande, vilken redovisas i Sandin (1980), framkom ett antal oklarheter och frågeställningar. Den fortsatta putsforskningen vid Byggnadsmateriallära, LTH har inriktats på att försöka bringa klarhet i ett antal sådana oklarheter. I föreliggande rapport behandlas frågeställningen "Vilka egenskaper kan en puts få i praktiken och vilka faktorer är avgörande för dessa egenskaper".

Putsforskningen vid Byggnadsmateriallära, LTH finansieras av BFR genom forskningsanslaget 821395-2. Föreliggande rapport är en delredovisning av detta projekt.

Till projektet finns en referensgrupp knuten. I denna ingår Olof Andersson, Rolf Blank, Arne Hillerborg, Ingmar Holmström, Lars-Erik Nevander, Sven Persson, Vitold Saretok och Lars-Erik Wargsjö.

Till ovanstående och till personalen vid Byggnadsmateriallära framför jag mitt varma tack för all hjälp under projektets genomförande.

Lund i december 1985
Kenneth Sandin

SAMMANFATTNING

När man diskuterar putsers egenskaper utgår man i allmänhet från laboratorieprovningar, vilka genomförts under vissa givna, i allmänhet ideala, betingelser. Det finns dock anledning att misstänka att putsernas egenskaper i praktiken kan vara helt annorlunda.

I denna rapport redovisas hur ett antal olika faktorer påverkar putsens egenskaper. De yttre faktorer som varierats är bindemedelstyp, underlagets vattensugningsförmåga, härdningsklimat och härdningstid. De egenskaper hos putsen som studerats är karbonatiseringsgrad, elasticitetsmodul, hållfasthet samt vittringsbeständighet.

Med utgångspunkt från resultaten diskuteras begreppet putskvalitet. Olika bindemedel medför självklart olika putskvalitet. Även samma bindemedel kan dock ge putser av mycket olika kvalitet. I undersökningen ingick bland annat två likvärdiga kalkputser, från två olika torrbrukstillverkare. Dessa två kalkputser visade en mycket stor skillnad i kvalitet.

En avgörande inverkan på putskvaliteten har underlagets sugförmåga. Ett icke sugande underlag ger en väsentligt sämre putskvalitet än ett sugande underlag. Som exempel kan nämnas att egenskaperna hos en kalkcementputs (KC 50/50/650) på ett icke sugande underlag, får egenskaper som är likvärdiga med egenskaperna hos en kalkputs (K 100/900) på ett sugande underlag.

Inverkan av härdningsklimat och härdningstid är relativt liten. Detta gäller naturligtvis endast inom rimliga gränser. Under gynnsamma betingelser kan en kalkputs sägas ha fått en "tillräcklig" härdning efter en månad. Härefter förbättras inte kvaliteten nämnvärt. Under ogynnsamma betingelser (till exempel mycket fuktig väderlek) kan motsvarande tid bli åtskilliga månader. För en kalkcementputs är motsvarande tider väsentligt kortare. Någon veckas härdning torde vara tillräcklig.

Att bedöma putsers kvalitet endast med utgångspunkt från mätningar av karbonatiseringsgrad eller hållfasthet är inte möjligt. En grundförutsättning för att en kalkputs skall ha en acceptabel kvalitet är att den är "praktiskt" genomkarbonatiserad. Detta är dock ingen garanti för en god putskvalitet.

Det enda sättet att bedöma putskvaliteten är att göra vittringstester. Några exakta gränser för god och dålig kvalitet går inte att ge. Endast jämförande provningar kan göras.

SUMMARY

Discussions about the properties of renderings are mainly based on results from laboratory tests, which are carried out under specific conditions. There are many reasons for suspecting that the properties in practice may be quite different.

In this report the effect of different factors on the properties of the rendering is shown. Factors that have been varied are the type of binder, suction of the substrate, climate during the curing and the time of curing. Properties of the rendering that have been measured are carbonation, Young's modulus, strength and weathering resistance.

The quality of the renderings is discussed on the basis of the results. Of course different binders lead to different qualities. But one specific binder may also lead to very different qualities. In the investigation two similar lime mortars were studied, and a very great difference was shown between them.

The suction of the substrate has a decisive effect on the quality of the rendering. A substrate without any suction leads to a poorer quality than a substrate with great suction. As an example it can be mentioned that the properties of a LC 50/50/650 mortar applied to a substrate without any suction, have about the same properties as a L 100/900 mortar applied to a substrate with great suction.

The effect of the climate and time of curing is small. This is of course only true within certain limits. In good conditions one month of curing may be enough for a lime rendering. In bad conditions several months of curing may be necessary for a lime rendering. On the other hand a lime-cement rendering requires only a week of curing.

It is not possible to estimate the quality of a rendering on the basis of carbonation or strength only. A lime rendering must be carbonated before it is exposed to weathering. However, the carbonation is no guarantee of a good quality.

1 INLEDNING

För de flesta byggnadsdelar finns det exakta dimensioneringsregler med avseende på olika påkänningar. För en given belastning och ett givet material kan man till exempel beräkna erforderlig dimension på en pelare. Samma sak gäller värmeisoleringen i ytterväggar.

För en fasadputs finns inga sådana dimensioneringsregler. Vi saknar både beräkningsmodeller och materialdata. Kunskaperna beträffande fasadputser grundar sig i hög grad på praktisk erfarenhet. Utvecklingen av olika putsbruk och putsuppbyggnad har i allmänhet skett med utgångspunkt från lyckade och misslyckade praktiska objekt. Ett exempel på detta är införandet av tunngrundningen. Denna infördes på 1950-talet efter ett stort antal putsnedfall på lättbetonghus.

Trots bristen på exakta dimensioneringsregler fungerar fasadputser vid nyproduktion i allmänhet mycket bra, om man följer den erfarenhet som finns. I vissa fall sker dock misslyckanden, även om man följer de regler som finns. Varför?

Genom att kombinera den praktiska erfarenheten och teoretiska resonemang har vissa riktlinjer utformats beträffande fasadputs. En vanlig tumregel är att "putsens styrka skall avta utåt". En annan tumregel är att ytskiktet skall vara "ånggenomsläppligt". Några siffermässiga krav finns dock inte.

När man diskuterar materialegenskaper utgår man i allmänhet från resultat erhållna vid laboratorieprovningar under vissa betingelser. För de flesta material är detta korrekt. För ett puts- eller murbruk finns dock en väsentlig invändning mot en sådan metod. Puts- och murbruk påverkas nämligen i praktiken av en mängd yttre faktorer, både innan och under härdningen, vilket kan försämra egenskaperna hos bruket. Det finns sålunda stor risk för att materialegenskaperna i praktiken inte är desamma som enligt laboratorieprovningar. I Sandin (1980) redovisas några skadefall där putsen uppenbarligen inte fick de egenskaper som förväntades.

I föreliggande rapport redovisas några exempel på hur olika faktorer kan påverka putsens egenskaper. Även om alla provningar är gjorda på putsbruk, så är resultaten tillämpliga även på murbruk. De olika faktorer som studerats är

bindemedelstyp
putsunderlag
härdningklimat
härdningstid

Enligt tidigare finns det knappast några siffermässiga krav på en puts. Att kvantifiera "putskvaliteten" är alltså svårt. Det enda krav som finns är att putsen skall fungera i praktiken. Även om man inte kan ange en siffermässig kvalitet på en puts, så kan man studera hur olika faktorer påverkar kvaliteten genom att mäta vissa egenskaper. Dessa egenskaper kan sedan tolkas som någon typ av "ställföreträdare" för kvaliteten. Genom att mäta flera egenskaper, kan man få en relativt god uppfattning om olika faktorers inverkan på putskvaliteten. Man får dock inte välja ut en enstaka egenskap och bedöma putsen efter denna. En hög hållfasthet behöver i sig inte innebära en god putskvalitet. Att en faktor medför en försämring av hållfastheten, behöver heller inte betyda att putsens kvalitet försämras.

Valet av egenskaper som skall undersökas kan alltid diskuteras. I föreliggande undersökning valdes att studera olika faktorers inverkan på porositet, densitet, E-modul, hållfasthet, motståndsförmåga mot nedbrytning av salt och frost samt karbonatiseringsförloppet.

2 UNDERSÖKNINGENS UPPLÄGGNING

2.1 Allmänt

Huvudsyftet med undersökningen var att studera hur olika yttre faktorer inverkade på putskvaliteten. Den grundläggande filosofin i samband med genomförandet har varit att mäta flera olika egenskaper och med utgångspunkt från dessa försöka göra kvalitativa bedömningar av hur olika faktorer inverkar på putskvaliteten. En typisk frågeställning har härvid varit: "Hur stora variationer kan man förvänta sig när man putsar i praktiken, jämfört med en standardtillverkning av putsprover i laboratorium under ideala förhållanden?" Undersökningen skall alltså inte uppfattas som en kartläggning av materialegenskaper, utan snarare som en exemplifiering av hur mycket egenskaperna kan avvika från "normenliga" resultat.

Olika yttre faktorer som studerats samt studerade egenskaper redovisas i följande avsnitt.

Provningens relevans i praktiken kan naturligtvis diskuteras. Med utgångspunkt från enstaka mätningar är det svårt att uttala sig generellt. I aktuell undersökning har dock relativt många egenskaper studerats. Genom att göra en helhetsbedömning av samtliga mätningar bör således tillförlitligheten bli relativt god.

2.2 Val av inverkande faktorer

Valet av vilka faktorer som skulle studeras, bestämdes till stor del av hypoteser och misstankar som framkommit i samband med skadeutredningar. Den första listan på faktorer som troligen kunde påverka putskvaliteten omfattade bindemedelstyp, blandningsproportion, vattenhalt, tillsatsmedel, brukstemperatur, blandningssätt, blandningstid, appliceringsmetod, putsunderlag, härdningsklimat och härdningstid. Av praktiska skäl var det inte möjligt att studera alla faktorer. Efter en hård bantning valdes att studera inverkan av

bindemedelstyp
putsunderlag
härdningsklimat
härdningstid

De olika variablerna beskrivs i detalj i kapitel 3. Här redovisas enbart vissa tankar som låg bakom urvalet.

Med hänsyn till omfattningen av undersökningen begränsades brukssorterna kraftigt. För att få en rättvis jämförelse med de praktiska erfarenheterna, valdes enbart fabrikstillverkade torrbruk. De praktiska problemen är utan tvekan störst med kalkbruk. Vidare påstås i vissa fall att det finns stora skillnader i skadefrekvens mellan olika fabrikat. Med hänsyn härtill valdes två vanliga luftkalkbruk och ett hydrauliskt kalkbruk från tre olika tillverkare. Som "referensbruk" valdes ett torrbruk KC 50/50/650, vilket anses vara relativt problemfritt.

Putsunderlaget kan naturligtvis variera mycket kraftigt i praktiken. Den avgörande skillnaden mella olika underlag torde dock vara vattensugningsförmågan. För att begränsa och renodla inverkan av underlaget valdes slutligen ett underlag med kraftig sugning och ett underlag utan någon sugförmåga. Som kraftigt sugande underlag valdes autoklaverad lättbetong. Det icke sugande underlaget erhölls genom att göra samma underlag helt vattenavvisande genom en ytimpregnering. Det enda som skiljer underlagen åt är således sugförmågan.

Enligt gängse uppfattning har härdningsklimatet en stor betydelse för putsens hårdnande. "Lagom" fuktighet och temperatur anses ge bäst hårdnande. "Lagom" fuktighet anges till 65 - 95 % RF. Optimal temperatur anses vara +20 ^{o}C, medan +5 ^{o}C anses som lägsta tänkbara temperatur. I undersökningen valdes tre olika härdningsklimat inom ovanstående gränser. Några extrema klimat, till exempel sol eller regn, har inte studerats.

Härdningstiderna bestämdes i huvudsak av önskemålet att kunna studera om ett bruk, som lagrats en lång tid under "dåliga"

betingelser, kunde få samma egenskaper som ett bruk lagrat en kortare tid under "bra" betingelser. I huvudundersökningen valdes tider mellan en månad och ett år. I en senare kompletteringsundersökning studerades även kortare härdningstider.

2.3 Studerade egenskaper

Valet av studerade egenskaper bestämdes av flera krav. Två grundläggande krav var att det skulle finnas "standardmetoder" för att mäta egenskaperna samt att egenskaperna skulle vara "lätta att bedöma". Det senare innebär inte att egenskapen direkt motsvarar en viss kvalitet, utan snarare att egenskapen är väldefinierad i något avseende.

Ett annat väsentligt krav var att alla provningar skulle göras på verkliga putser. Detta innebär att bruket alltid applicerats på ett underlag och fått härda på underlaget hela tiden fram till provningen. Detta är en väsentlig skillnad gentemot de flesta i litteraturen redovisade provningar.

I putssammanhang anses ofta hållfastheten vara av mindre betydelse. Det väsentliga för en puts är i stället att den har en god beständighet. Den praktiska erfarenheten från skadeutredningar har dock visat att det finns ett visst samband mellan hållfasthet och beständighet. Har en puts vittrat snabbt, så är i allmänhet även hållfastheten dålig. Vidare beror sannolikt många skador i samband med organiska ytskikt på att underlaget har haft en alltför dålig hållfasthet. Att hållfastheten har betydelse för beständigheten förefaller naturligt i många sammanhang. En god hållfasthet bör kunna motstå mekaniska påfrestningar, till exempel i samband med volymökningen när vatten fryser, väsentligt bättre än en dålig hållfasthet.

Med utgångspunkt från ovanstående inriktades provningarna till stor del på de rent mekaniska egenskaperna och på motståndsförmågan mot vittring. För att om möjligt korrelera dessa egenskaper till andra, i putssammanhang ofta diskuterade egenskaper, studerades även porositet och karbonatise-

ringsförlopp.

Ett studium av karbonatiseringsförloppet i kalkbruken motiverades även av andra orsaker. Vid putsning med kalkbruk framhävs ofta att putsen måste karbonatisera innan den första vintern. Ingenting nämns dock om hur lång tid detta tar eller hur putsen skall behandlas under tiden. Genom att studera karbonatiseringen under olika härdningsbetingelser, var förhoppningen att kunskaperna skulle bli något bättre i detta sammanhang.

De mekaniska egenskaper som studerats är elasticitetsmodul samt tryck- och böjdraghållfasthet. Genom att mäta dessa egenskaper på putser, som tillverkats och lagrats under olika betingelser, fås en god bild av hur putskvaliteten i praktiken kan avvika från "normalvärden" enligt handböcker.

Nedbrytningen av putserna har studerats både genom saltvittringstester och genom frysprovningar. Saltvittringstesten används normalt inte i Sverige för att studera vittringsbenägenheten. I Centraleuropa är metoden däremot mycket vanlig, främst i samband med natursten. Metoden innebär att prover utsätts för ett "sprängande" salt, som efterhand bryter ned materialet. Frostprovningen och saltvittringstesten kan i princip anses vara samma sak.

Alla provningsmetoderna detaljbeskrivs i anslutning till redovisningen av de olika resultaten i kapitel 4 - 9.

3 MATERIAL, PROVKROPPSTILLVERKNING OCH HÄRDNING

3.1 Putser

Alla putser är fabriksblandade torrbruk från de största brukstillverkarna i Sverige. Samtliga bruk innehåller enligt uppgift från tillverkarna luftporbildande tillsatser, för att få en lufthalt 15 - 20 % i det färska bruket. I TAB 3.1:1 redovisas tillverkarnas uppgifter för de olika bruken.

Det exakta förfarandet vid bruksblandningen och erhållna egenskaper hos det färska bruket redovisas i avsnitten 3.3 och 3.4.

TAB. 3.1:1. Brukssammansättning enligt tillverkarna.

Littr.	Brukssammansättning	Ballast	Kornmax (mm)	Rek vattenhalt (l/25 kg bruk)
A	KC 50/50/650	-	3	4
D	K 100/1050	-	3	4
E	KK_h 65/35/800	-	3	6
F	K 100/900	-	3	5

3.2 Underlag

I huvudsak användes autoklaverad lättbetong SIPOREX K400 som underlag. När underlaget skulle vara sugande användes lättbetong utan någon hydrofobering. För att få ett icke sugande underlag, gjordes ytan vattenavvisande genom behandling med ett vattenavvisande preparat. Genom denna behandling blev sugningen praktiskt taget lika med noll. Den icke behandlade lättbetongen hade däremot en kraftig sugning. Kapillaritetstalet hos den obehandlade lättbetongen var 0.07 kg/(m^2 · s$^{1/2}$). En nyapplicerad puts blev "helt styv" inom 10 - 15 min.

En mindre serie provkroppar tillverkades med formplywood som underlag. Detta underlag har ingen sugförmåga.

3.3 Provkroppstillverkning, 1 - 12 månadsprover

Torrbruk och vatten blandades i 8 minuter i en frifallsblandare. Vattentillsatsen valdes så att bruket fick en "lämplig" konsistens. Direkt efter blandningen mättes lufthalten med en lufthaltsmätare.

Vattentillsats och lufthalt i det färska bruket redovisas i TAB. 3.3:1.

TAB. 3.3:1. Vattentillsats och lufthalt i det färska bruket.

Bruk	Vattentillsats (l/25 kg torrbruk)	Lufthalt (%)
A	4.5	15
D	4.0	17
E	3.7	21
F	4.1	12

Putserna applicerades genom handpåslagning på 250 x 600 mm lättbetongblock enligt avsnitt 3.2. För att underlätta borttagningen av provbitar i samband med provningarna, placerades hushållspapper mellan puts och underlag. Vidare monterades ramar, vilka indelade ytan i 45 x 140 mm stora bitar. Putstjockleken var alltid 12 mm.

När bruket erhållit viss styvhet avjämnades putsen med en rätkäpp. Efter ytterligare en tid bearbetades ytan med en rivbräda. Tiden mellan putsens applicering och den slutliga bearbetningen varierade kraftigt både med putssort och underlag. På sugande underlag var tiden 15 - 45 minuter. För icke sugande underlag var motsvarande tid 5 - 7 timmar.

De färdigputsade lättbetongblocken illustreras i FIG. 3.3.1.

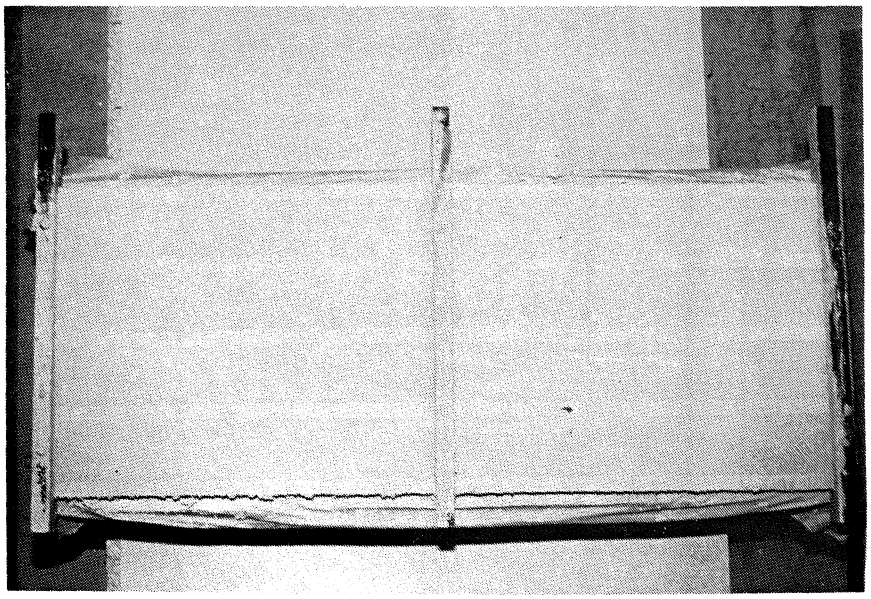


FIG. 3.3:1. Färdigputsade lättbetongblock.

Putsningen gjordes i normalt "rumsklimat". Omedelbart efter slutbearbetningen placerades blocken i klimatrum med 95 % RF och 20 °C. Efter 3 dygn flyttades proverna till respektive härdningsklimat enligt avsnitt 3.5.

Utöver ovanstående prover tillverkades även prover för normenlig provning enligt bindemedelsnormerna. Dessa prover placerades direkt efter tillverkningen i 65 % RF och 20 °C.

3.4 Provkroppstillverkning, 3 - 28 dygnsprover

I denna serie användes enbart bruken A och D. Som underlag användes dels sugande lättbetongblock och dels icke sugande formplywood. Vid putsningen användes ramar på samma sätt som enligt avsnitt 3.3. Med formplywood som underlag varierades även brukets vattenhalt.

Bruken blandades först under 8 minuter i frifallsblandare. Vattentillsatsen valdes så liten att ett relativt styvt bruk erhölls. Med detta bruk putsades en formplywoodform. Härefter tillsattes ytterligare vatten och blandningen fortsatte i 4 minuter. Med detta bruk putsades ytterligare en formplywood-

form och ett lättbetongblock.

Med det senare bruket tillverkades även prover för frostprovning. Till dessa prover utsågades 100 x 100 mm stora lättbetongbitar, vilka försågs med en 12 mm hög putsram enligt FIG. 3.4:1. Hälften av dessa var vid putsningen vattenmättade. Resten var torra och hade en kraftig sugning.

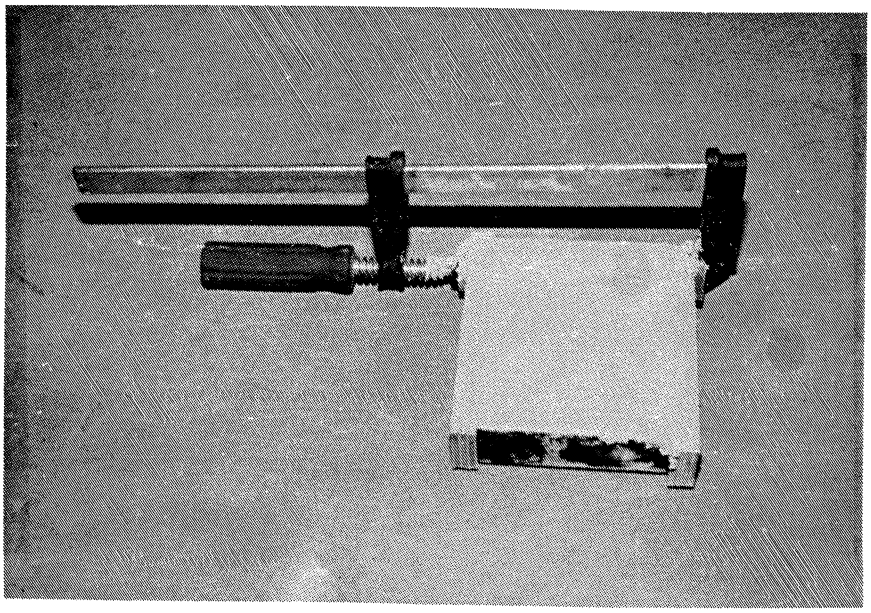


FIG. 3.4:1. Prover för frostprovning.

Omedelbart efter putsningen placerades proverna i respektive härdningsklimat, där de förvarades fram till provningen.

Konsistens och lufthalt hos de olika bruken redovisas i TAB. 3.4:1.

TAB. 3.4:1. Brukets konsistens (Mo) och lufthalt (%).

Bruk	8 min blandning (låg vattenhalt)		8+4 min blandning (hög vattenhalt)	
	Mo	lufthalt	Mo	lufthalt
A	54	19	29	20
D	94	13	28	14

3.5 Härdning och avformning

Under härdningen har proverna varit placerade "luftigt" i stora klimatrum med olika temperatur och luftfuktighet. De klimat som använts är

65 % RF och +20 °C
80 % RF och +5 °C
95 % RF och +20 °C

Under härdningstiden har putserna hela tiden suttit kvar på respektive underlag, samtidigt som kanterna har skyddats med putsramarna.

Innan respektive provning har proverna i tillämpliga fall avlägsnats från putsunderlaget och torkats vid +60 °C under två dygn. Härefter har provningen påbörjats när proverna antagit rumstemperatur.

3.6 Provkroppslittrering

Provkropparna i huvudserien (1 - 12 månader) har beteckningen

M-N-X-Y

där
M = Putstyp
N = Underlag
X = Härdningsklimat
Y = Härdningstid

Putstyp M
A = KC 50/50/650
D = K 100/1050
E = KK_h 65/35/800
F = K 100/900

Underlag N
O = sugande lättbetong
H = ej sugande lättbetong

Härdningsklimat X	65 = 65 % RF och +20 °C
	80 = 80 % RF och +5 °C
	95 = 95 % RF och +20 °C
Härdningstid Y	tiden i månader

Provkropparna i kompletteringsserien (3 - 28 dygn) har beteckningen

M-NV-X-Y

där	M = putstyp
	N = underlag
	V = vattenhalt i bruket (i vissa fall)
	X = härdningsklimat
	Y = härdningstid
Putstyp M	A = KC 50/50/650
	D = K 100/1050
Underlag N	S = sugande lättbetong
	P = ej sugande formplywood
	T = torr lättbetong (enbart frostprov)
	B = blöt lättbetong (enbart frostprov)
Vattenhalt V	L = låg vattenhalt
	N = normal vattenhalt
Härdningsklimat X	65 = 65 % RF och +20 °C
	80 = 80 % RF och +5 °C
Härdningstid Y	tiden i dygn

4 POROSITET OCH DENSITET

4.1 Metod

Putsproverna avlägsnades från respektive underlag och torkades under 2 dygn i +60 °C. Härefter vattenmättades proverna under vakuum. Efter vägning i luft samt i vatten torkades proverna vid +105 °C. Skillnaden mellan vikten i luft och vatten ger volymen. Skillnaden mellan vikten i vattenmättat och i torrt tillstånd ger den öppna porvolymen.

Mätningen gjordes på alla putsprover vid 1 och 3 månads ålder samt på "normproven" efter 1 månad.

4.2 Resultat

Resultaten redovisas i TAB. 4.2:1. Värdena för putsprover vid härdningstiden 1 månad avser en enda provkropp. Vid tiden 3 månader och för normproverna avser angivna värden medelvärdet av 3 provkroppar.

TAB. 4.2:1. Öppen porositet och densitet.

Prov	1 månads härdning		3 månaders härdning	
	$P_Ö$ (%)	densitet (kg/m^3)	$P_Ö$ (%)	densitet (kg/m^3)
A-O-65	32.4	1 797	33.0	1 806
A-O-80	32.6	1 793	32.6	1 808
A-O-95	33.0	1 780	33.1	1 784
A-H-65	36.7	1 688	35.8	1 720
A-H-80	37.4	1 668	35.5	1 729
A-H-95	36.9	1 672	36.2	1 701
A-norm	35.2	1 723		

TAB. 4.2:1. Forts.

Prov	1 månads härdning		3 månaders härdning	
	$P_{ö}$ (%)	densitet (kg/m^3)	$P_{ö}$ (%)	densitet (kg/m^3)
D-O-65	33.7	1 763	33.8	1 765
D-O-80	34.2	1 743	33.8	1 761
D-O-95	34.1	1 752	33.5	1 771
D-H-65	36.4	1 705	36.4	1 699
D-H-80	37.1	1 672	36.1	1 702
D-H-95	35.4	1 711	35.1	1 727
E-O-65	34.6	1 811	34.6	1 815
E-O-80	34.3	1 822	34.4	1 821
E-O-95	34.4	1 815	34.1	1 825
E-H-65	37.1	1 743	37.6	1 733
E-H-80	38.0	1 722	37.2	1 743
E-H-95	37.8	1 723	36.5	1 760
E-norm	37.8	1 728		
F-O-65	30.5	1 889	29.6	1 926
F-O-80	29.0	1 922	28.9	1 936
F-O-95	31.1	1 866	29.7	1 916
F-H-65	32.3	1 842	31.7	1 868
F-H-80	33.4	1 810	32.1	1 859
F-H-95	32.6	1 827	31.9	1 854
F-norm	31.8	1 860		

4.3 Kommentarer och diskussion

Någon signifikant skillnad mellan olika härdningstid eller olika härdningsklimat finns inte. Underlaget har däremot en klar inverkan på porositeten. I TAB. 4.3:1 redovisas en sammanställning av underlagets betydelse för porositeten. Angivna värden är medelvärden av samtliga mätningar vid olika klimat efter 3 månaders härdning. För normproverna anges värdena efter en månads härdning.

TAB. 4.3:1. Porositet (%) för olika putser på olika underlag.

Puts	Sugande underlag	Ej sugande underlag	Normprov
A	32.9	35.8	35.2
D	33.7	35.9	-
E	34.4	37.1	37.8
F	29.4	31.9	31.8

Som framgår av TAB. 4.3:1 blir porositeten 2 - 3 procentenheter högre vid puts på icke sugande underlag, jämfört med ett sugande underlag. "Normproverna" har ungefär samma porositet som proverna på icke sugande underlag. Den procentuella ökningen vid puts på icke sugande underlag jämfört med sugande är 6 - 9 %. Skillnaden är således marginell. Räknar man bort "luftinblandningen på grund av luftporbildande medel" blir motsvarande ökning 15 - 20 %.

Orsaken till skillnaden är uppenbar. Med ett sugande underlag sugs överskottsvattnet bort innan putsen hårdnar. Härigenom blir putsen mer kompakt. Med ett icke sugande underlag finns däremot överskottsvattnet kvar under hårdnandet, vilket medför att det bildas ett extra porsystem.

Den relativt lilla skillnaden i porositet borde inte medföra några avgörande skillnader i putsens egenskaper. Enligt kapitel 6 - 9 finns det dock en mycket stor skillnad i egenskaper hos putser som applicerats på olika underlag. Den lilla skillnaden i porositetens absolutbelopp är inte tillräcklig

för att förklara den stora skillnaden i egenskaper. Den enda förklaringen är att även porstrukturen skiljer markant. Detta har dock inte studerats i denna undersökning. En näraliggande förklaring är att överskottsvattnet medför att bindemedelspastan blir mer porös eller att "kontakten" mellan putsens olika beståndsdelar blir sämre.

5 KARBONATISERING

5.1 Metod

Karbonatiseringsförloppet i putsproverna har studerats med en kvalitativ metod enligt Hindersson (1955). Metoden grundar sig på att fenolftalein är färglös i neutral lösning och starkt rödfärgad i alkalisk lösning. Färgomslaget sker vid ett PH-värde mellan 8.3 och 10.5.

Det färska bruket, som innehåller kalciumhydroxid, har ett högt PH-värde, cirka 12 - 13. När bruket karbonatiserar ombildas kalciumhydroxid till kalciumkarbonat, vilket ger ett lägre PH-värde i bruket. Genom att begjuta färska brottytor med fenolftalein får man en god bild av hur karbonatiseringen fortskrider. Ombildningen av kalciumhydroxid till kalciumkarbonat sker inte fullständigt, vilket medför att metoden inte ger något absolutbelopp på karbonatiseringen.

Provningen görs i två steg. Först begjuts en torr brottyta med en lösning av 2 gram fenolftalein löst i 100 ml 95 %-ig alkohol. Härvid erhålles ett färgomslag på den del av provet som är helt okarbonatiserad. Begjuts sedan ytan med destillerat vatten, sker ett färgomslag på ytterligare en del av provet. Denna del kan karaktäriseras som delvis karbonatiserad. Där inget färgomslag sker vid vattenbegjutningen, kan putsen karaktäriseras som helt karbonatiserad. Orsaken till att ytterligare färgomslag sker vid vattenbegjutningen är att kalciumhydroxiden är mycket svårlöslig i alkohol. Om ytan på kalkkornen är karbonatiserad, sker således inget färgomslag i ren alkohol. Vid tillsatsen av vatten kan däremot den kalciumhydroxid som finns under den karbonatiserade ytan lösas och transporteras fram till ytan.

Det skall observeras att färgomslaget skall ske snabbt och vara kraftigt för att kunna användas som ett mått på karbonatiseringen. Material som inte givit färgomslag med fenolftalein och vatten kan mycket väl ge ett svagt färgomslag vid krossning. Detta gäller även "ren" kalciumkarbonat.

Mätningar av Hindersson har klart visat att det finns en kraftig ändring i karbonathalten vid gränsen mellan rödfärgning och inget färgomslag. Där karbonathalten var 8 - 10 % (av cirka 10 - 12 möjliga) erhölls inget färgomslag med fenolftaleinprovet. Där karbonathalten var 1 - 3 % erhölls däremot ett kraftigt omslag direkt.

För en praktisk bedömning av putsers karbonatisering anses fenolftaleinprovet vara mycket bra och enkelt. Vid begjutning med fenolftalein löst i alkohol erhålles direkt gränsen för det "praktiskt" karbonatiserade området. Vid detta prov måste provet vara torrt. Är provet fuktigt kan den kalciumhydroxid som finns i det inre av kalkkornen lösas och ge en rödfärgning. För att få det "fullständigt" karbonatiserade området skall provet även begjutas med destillerat vatten. Det "praktiskt" karbonatiserade området torde vara av störst intresse, eftersom då PH har sjunkit till 8 - 10 och karbonathalten är 80 - 90 % av den maximalt möjliga.

5.2 Resultat

Mätningar har gjorts på båda provserierna enligt kapitel 3. Prover som torkat i +60 °C under 2 dygn bröts itu, varefter fenolftalein sprutades på den färska brottytan. Djupet till färgomslaget mättes. Härefter begjöts ytan med destillerat vatten. Efter cirka 5 minuter mättes djupet till det nya färgomslaget.

I FIG. 5.2:1-2 redovisas djupet till färgomslagen. De vänstra figurerna avser färgomslaget med enbart fenolftalein i alkohol. De högra figurerna avser färgomslaget vid den efterföljande vattenbegjutningen. Proverna vid tiden 28 dygn och längre är den ursprungliga provserien. Prover vid tider 28 dygn och kortare är kompletteringsserien. Vid tiden 28 dygn förekommer i vissa fall båda serierna.

Djupet till färgomslag vid begjutning med enbart fenolftalein är i allmänhet mycket väldefinierad. Vid vattentillsatsen

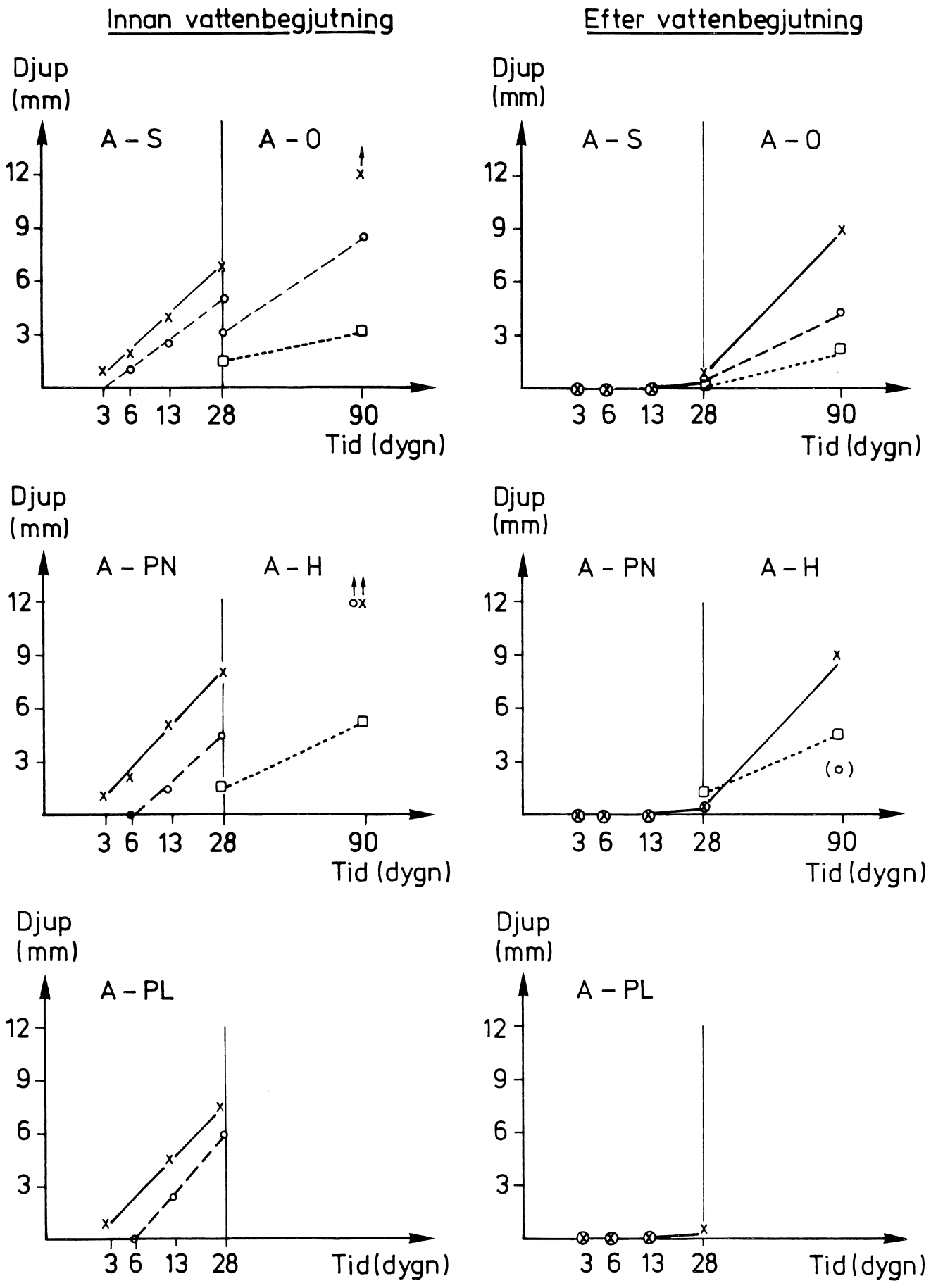


FIG. 5.2:1. Djup till färgomslag vid fenolftaleinprov
x——x +20°C, 65% RF
o– – –o +5°C, 80% RF
□·····□ +20°C, 95% RF
( ) svårdefinierad
o x □ inget omslag

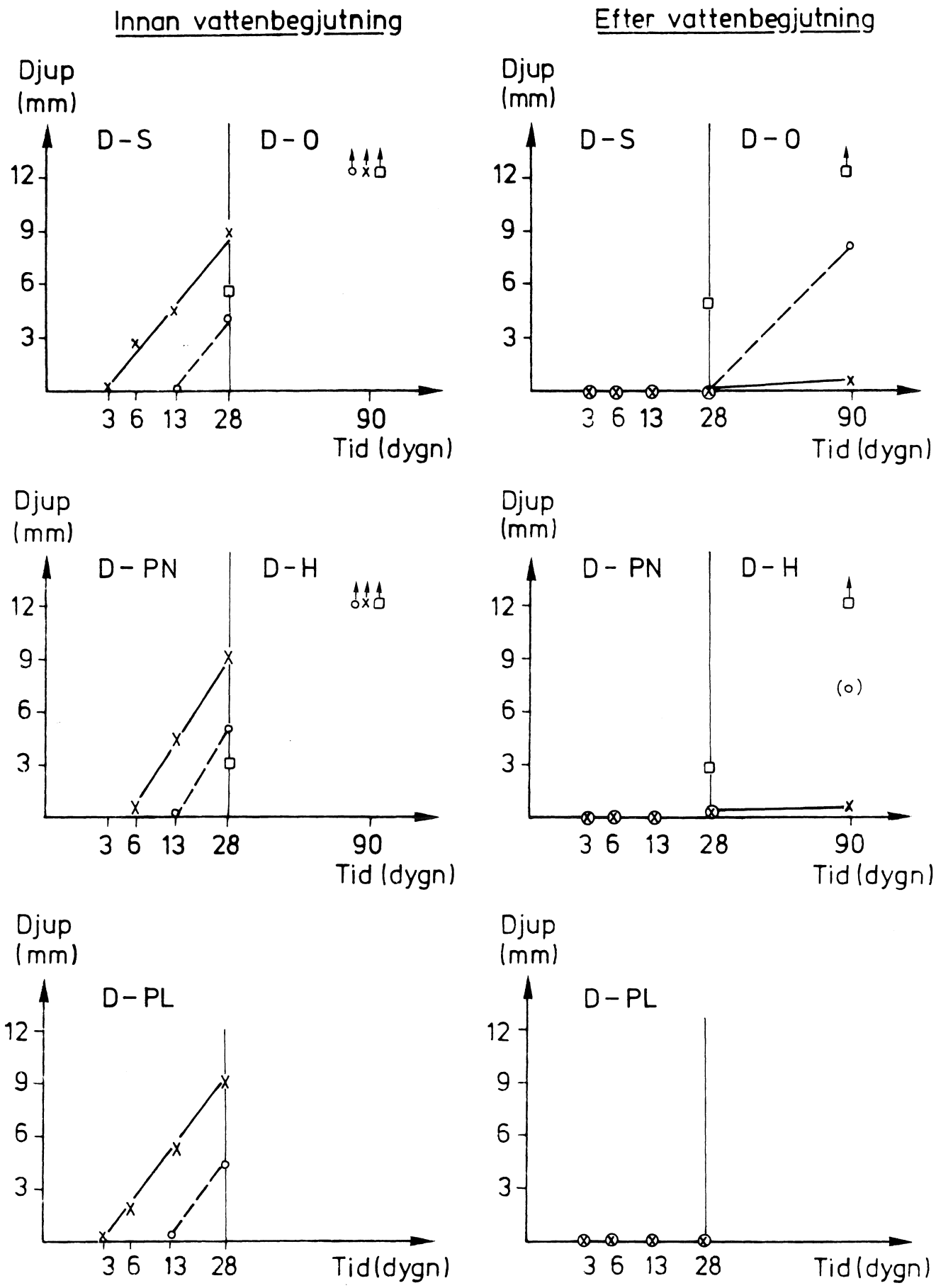


FIG. 5.2:2. Djup till färgomslag vid fenolftaleinprov
x——x +20°C, 65% RF
o- - -o +5°C, 80% RF
□·····□ +20°C, 95% RF
( ) svårdefinierad
o x □ inget omslag

blir dock gränsen ibland något oklar. I vissa fall erhålls även här en klar gräns, medan det i andra fall blir en succesiv övergång mellan ofärgat och färgat område. Ett inte helt ovanligt fenomen är en mörkröd "rand" i ett ljusrött eller ofärgat område. Detta observerade även Hindersson. Någon entydig förklaring till fenomenet går inte att ge.

5.3 Kommentarer och diskussion

Vid begjutningen med fenolftalein löst i alkohol, erhålles i allmänhet en väldefinierad gräns för färgomslaget. Inträngningsdjupet kan uttryckas enligt

$$d = k' \cdot \sqrt{t} \qquad (5.3.1)$$

där d = djup från ytan till färgomslaget (mm)
k' = konstant (mm/dygn$^{1/2}$)
t = tiden från det att putsen torkat (dygn)

Konstanten k' beror bland annat på brukssort och härdningsklimat. I de tre klimaten som använts vid provningen blev konstanten störst i 65 % RF och +20 °C. Minst värde på konstanten erhölls i 95 % RF och +20 °C. Konstanten ligger i intervallet 0.3 - 2.0. Det högre värdet gäller för kalkbruk i 65 % RF och +20 °C. Det lägre värdet gäller för kalkcementbruket i 95 % RF och +20 °C.

En puts utomhus, som skyddas från direkt slagregn, torde utsättas för ett härdningsklimat som varierar inom de klimat som använts vid provningen. För en kalkputs innebär detta att tiden för den praktiska karbonatiseringen kan skrivas

$$t = k \cdot d^2 \qquad (5.3.2)$$

där $k = 0.3 - 0.5$ dygn/mm^2

Tiden i ekvation (5.3.2) skall räknas från det att putsen torkat till jämvikt med omgivningen. Ett sugande underlag och ett "torrt" klimat innebär att tiden i praktiken kan räknas

från putsningstillfället. Ett icke sugande underlag och ett fuktigt klimat kan medföra att initialuttorkningen tar flera veckor. För en 10 mm kalkputs innebär detta en erforderlig karbonatiseringstid på 1 - 2 månader under relativt gynnsamma betingelser. Under fuktiga förhållanden och med icke sugande underlag (till exempel beroende på ett högt fuktinnehåll i väggen) krävs väsentligt längre tider.

Gränsen för "fullständig" karbonatisering, det vill säga då inget färgomslag sker med fenolftalein och vatten, är i vissa fall mycket oklar. Till en början, de första minuterna, erhålles i allmänhet en klar gräns. Efter en tid blir dock gränsen oklar. I stället erhålles en succesiv övergång. Det enda klimat som ger en klar gräns är 95 % RF. Orsaken till detta är sannolikt att fuktinnehållet inte är tillräckligt högt, för att ge en karbonatisering på djupet i de enskilda kalkkornen, i de övriga klimaten. Karbonatiseringen sker då endast på ytan av kalkkornen. Vid vattenbegjutningen löses därför kalciumhydroxiden inuti kalkkornen och transporteras till ytan.

Något generellt uttryck för sambandet mellan tid och inträngningsdjup går inte att ge för den "fullständiga" karbonatiseringen. Efter 28 dygns härdning erhölls i de flesta fall ett färgomslag på någon eller några millimeters djup. Störst djup och mest markant gräns fanns vid härdning i 95 % RF. Vid provning efter ett år, erhölls ett svagt färgomslag genom hela D-provet vid härdning i 65 % RF. Prover som lagrats i 95 % RF gav däremot inget färgomslag alls efter ett år.

Resultaten kan sammanfattas på följande sätt:

- Initialkarbonatiseringen sker snabbast i 65 % RF och 20 °C.

- "Fullständig" karbonatisering sker snabbast i 95 % RF och 20 °C.

- "Fullständig" karbonatisering sker inte alls i 65 % RF och 20 °C.

- Under praktiska förhållanden sker initialkarbonatiseringen på 1 - 3 månader.

- "Fullständig" karbonatisering av en normal kalkputs kan ta upp till ett år i praktiken.

Sambandet mellan karbonatisering och andra egenskaper hos putser diskuteras på annan plats. Ur praktisk synvinkel torde ett minimikrav vara att ett luftkalkbruks initialkarbonatisering måste ha skett innan putsen får utsättas för frysning vid närvaro av vatten. Någon fullständig genomkarbonatisering torde inte förbättra putsens beständighet i någon större utsträckning.

6 ELASTICITETSMODUL

6.1 Metod

Elasticitetsmodulen, E-modulen, kan bestämmas både med statiska och med dynamiska metoder. Den dynamiska E-modulen blir 10 - 20 % högre än den statiska. E-modulen har i denna undersökning bestämts med en dynamisk metod enligt Vinkeloe (1962). Enligt denna metod sätts materialprovet i transversell svängning. Frekvensen ökas efterhand tills egenfrekvensen uppnås. E-modulen kan sedan beräknas enligt

$$E = \frac{f^2 \cdot M \cdot l^3 \cdot T \cdot 12}{C^2 \cdot b \cdot h^3} \qquad (MPa)$$

där	f	= resonansfrekvens	(s^{-1})
	M	= provets massa	(kg)
	l	= provets längd	(m)
	T	= korrektionsfaktor p g a dimensioner	(-)
	C	= konstant beroende på svängningsnod	(-)
	b	= provets bredd	(m)
	h	= provets höjd	(m)

Provuppställningen framgår av FIG. 6.1:1. För aktuella prover blir T=1.05. Konstanten C blir för grundtonen lika med 3.56.

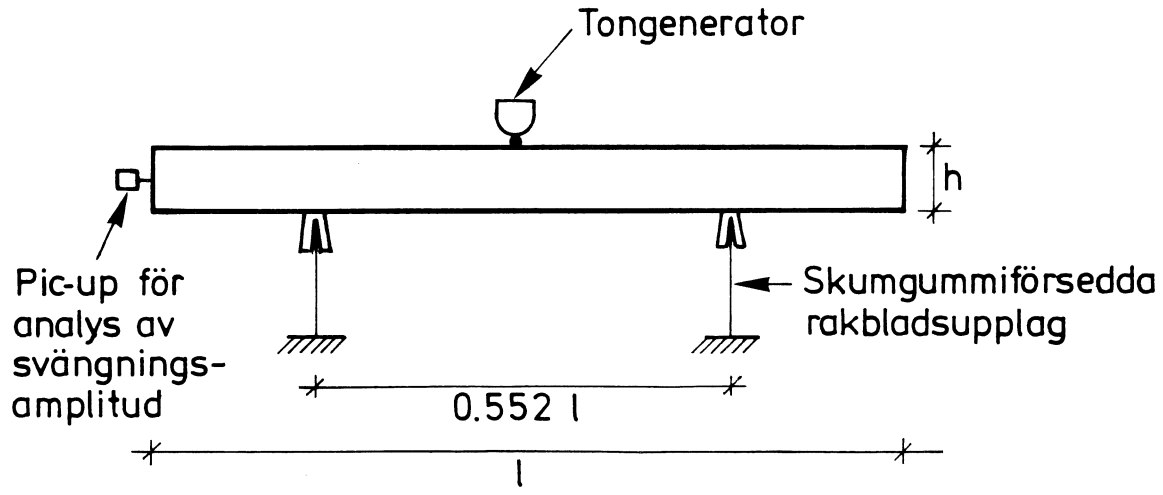


FIG. 6.1:1. Provuppställning vid mätning av dynamisk E-modul.

Direkt efter det att putsproverna avlägsnats från underlaget torkades de under 2 dygn vid +60 °C. Efter avsvalning utfördes mätningen enligt ovan.

6.2 Resultat

Mätningarna har i allmänhet gjorts på 4 provkroppar av varje sort. I vissa fall har ett mindre antal prover använts. Detta gäller främst prover med dålig hållfasthet, vilka ibland gått sönder under hanteringen. I allmänhet har spridningen mellan olika provkroppar varit liten, mindre än ±10 %. I vissa fall har dock enstaka provkroppar avvikit kraftigt från de övriga. Samtidigt har då böjdraghållfastheten varit mycket låg. Förklaringen till dessa enstaka avvikelser är sannolikt inre sprickbildningar. Sådana provkroppar har inte tagits med vid medelvärdesberäkningen.

Resultaten redovisas i FIG. 6.2:1-4. Om inte annat anges i figurerna avser varje punkt medelvärdet av 3 - 4 provkroppar.

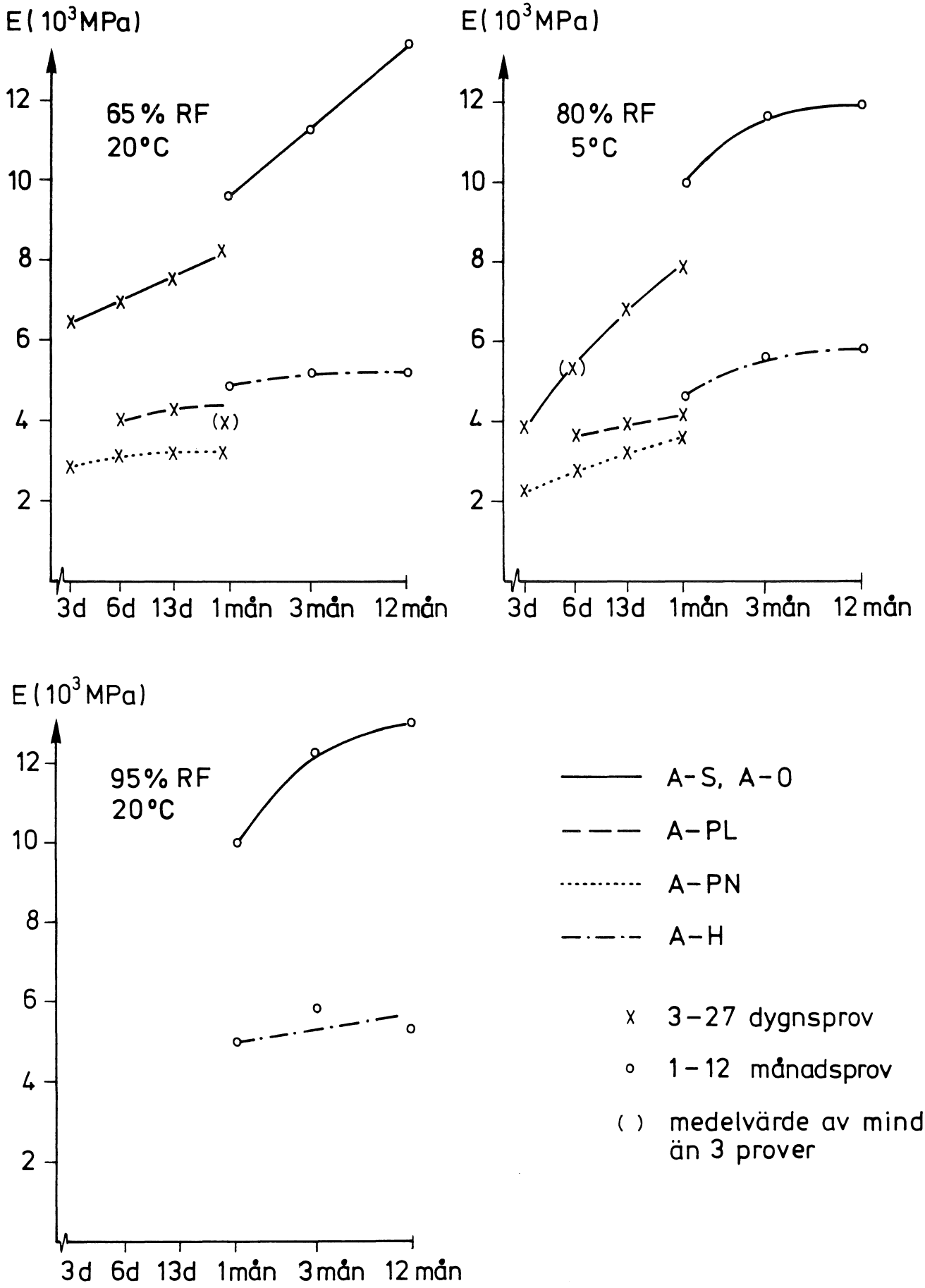


FIG. 6.2:1. Elasticitetsmodul vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. A-prover (KC 50/50/650).

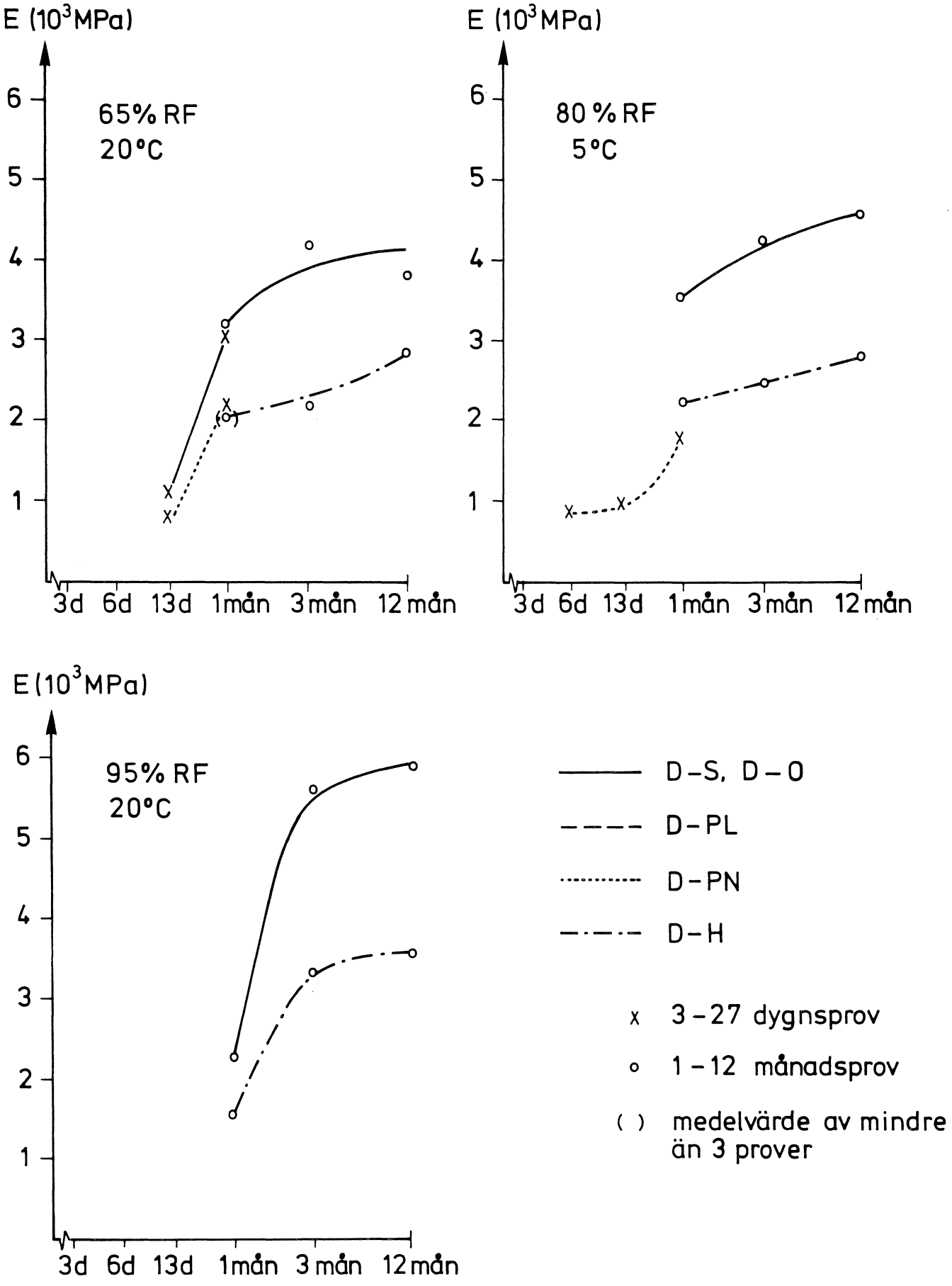


FIG. 6.2:2. Elasticitetsmodul vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. D-prover (K 100/1050).

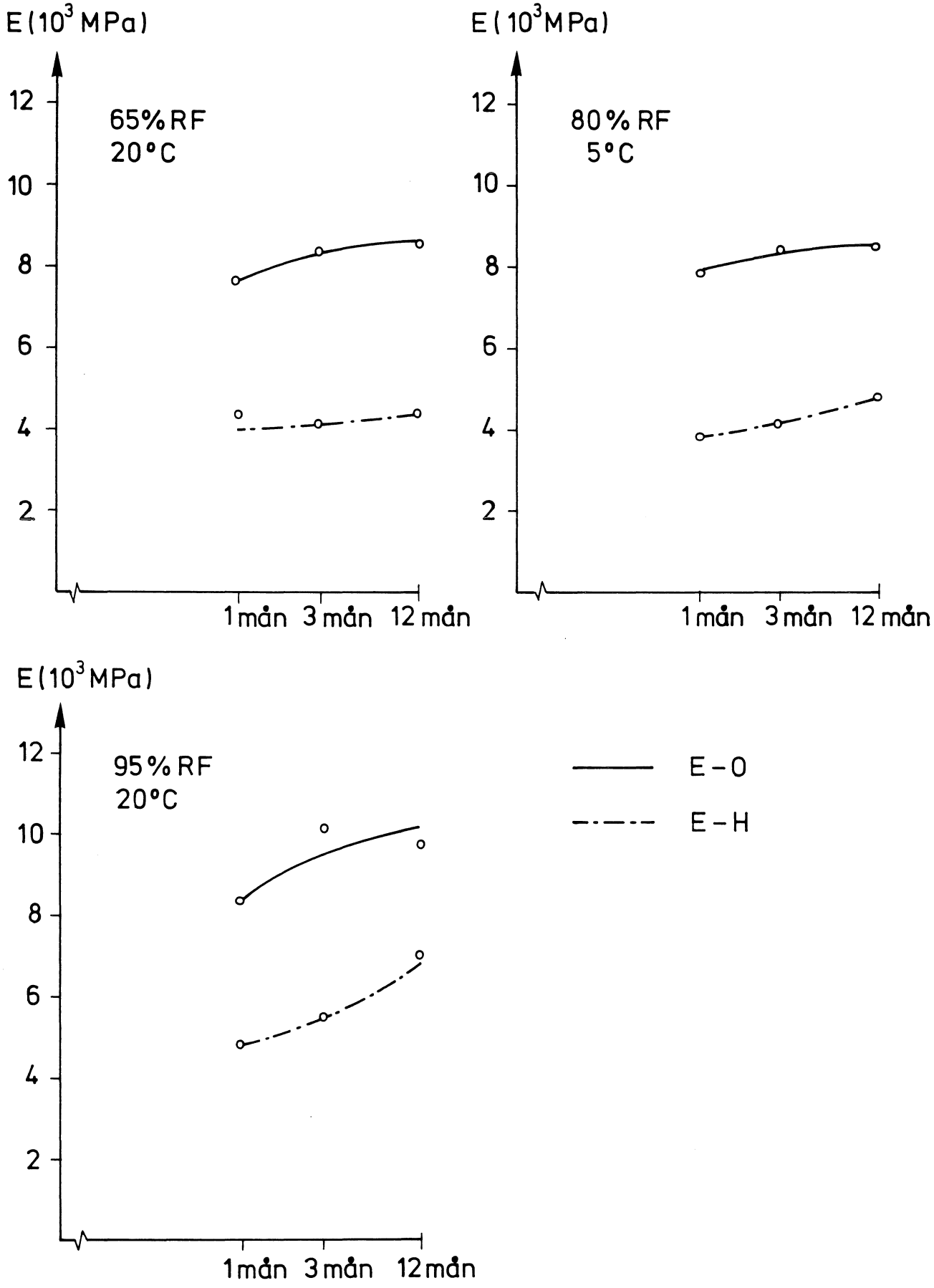


FIG. 6.2:3. Elasticitetsmodul vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. E-prover (KK_h 65/35/800).

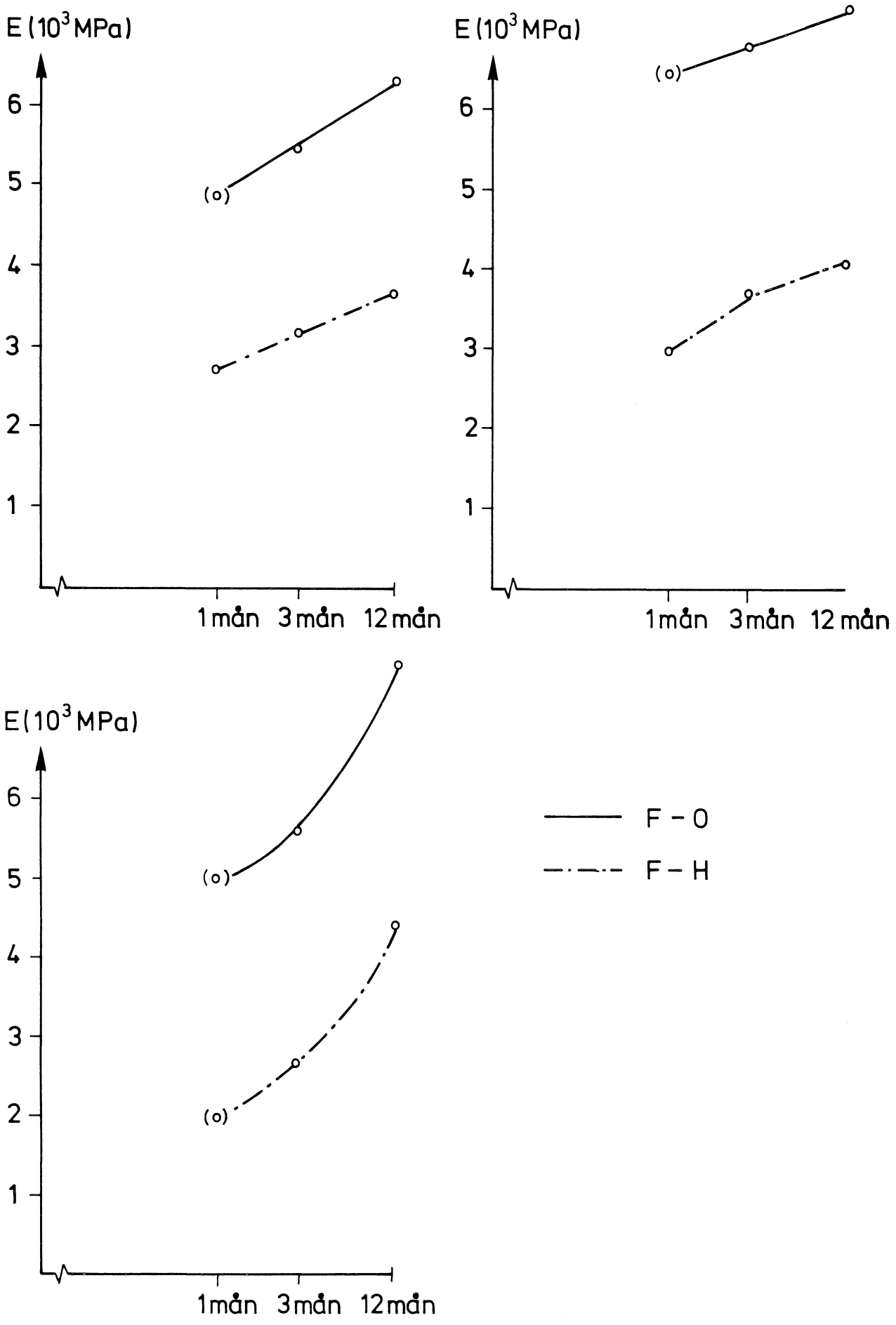


FIG. 6.2:4. Elasticitetsmodul vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. F-prover (K 100/900).

6.3 Kommentarer och diskussion

Underlagets inverkan på E-modulen framgår mycket tydligt. Ett sugande underlag ger i stort sett en fördubblad E-modul, jämfört med ett icke sugande underlag.

Härdningsklimatet har ingen avgörande inverkan på E-modulens slutvärde efter ett års härdning. För kalkbruken finns en tendens att 95 % RF ger en högre E-modul än både 65 och 80 % RF. I fallet med 80 % RF skall dock observeras att även temperaturen varit lägre.

Resultaten av E-modulmätningarna överensstämmer väl med hållfasthetsmätningarna enligt kapitel 7. Resultaten kommenteras ytterligare i avsnitt 7.3.

Ibland hävdas att en fördel med kalkbruk är att det blir mer "elastiskt" i vått tillstånd. För att studera detta mättes E-modulen efter ett års härdning både i torrt och i vått (två dygns vattenlagring) tillstånd. Någon märkbar skillnad kunde dock inte iakttas. Eventuellt var tiden för vattenlagring för kort.

I en kompletterande undersökning studerades även om upprepade uppfuktningar/uttorkningar förändrade E-modulen. Prover härdades först under ett år i 65 % RF och 20 °C. Härefter genomgick proverna cykliska uppfuktningar och uttorkningar. Proverna uppfuktades till en fuktkvot 7 - 8 viktsprocent, varefter de lagrades i 65 % RF och 20 °C i en månad innan nästa uppfuktning. Efter 6 cykler mättes ånyo E-modulen. Kalkcementbruket och det hydrauliska kalkbruket visade härvid ingen skillnad i E-modul. Luftkalkbrukens E-modul hade däremot ökat med 30 - 40 %. Detta tyder på att det är gynnsamt att utsätta kalkbruk för upprepade uppfuktningar och uttorkningar. Denna gynnsamma effekt torde bero på någon form av omlagring eller omkristallisation. Denna gynnsamma effekt kan man sannolikt alltid påräkna i praktiken.

7 TRYCK- OCH BÖJDRAGHÅLLFASTHET

7.1 Metod

Tryck- och böjdraghållfastheten bestämdes på samma provkroppar som elasticitetsmodulen enligt kapitel 6.

Först bestämdes böjdraghållfastheten (f_f) med böjprov enligt FIG. 7.1:1-2. Proverna placerades alltid med "rätsidan" uppåt. Mellan upplagen respektive belastningsanordningen och provkroppen placerades en tryckutjämnande träfiberskiva. Belastningshastigheten var 0.5 mm/min.

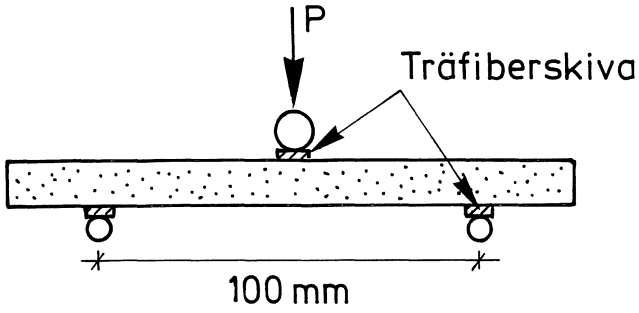


FIG. 7.1:1. Anordning vid böjdragprov.

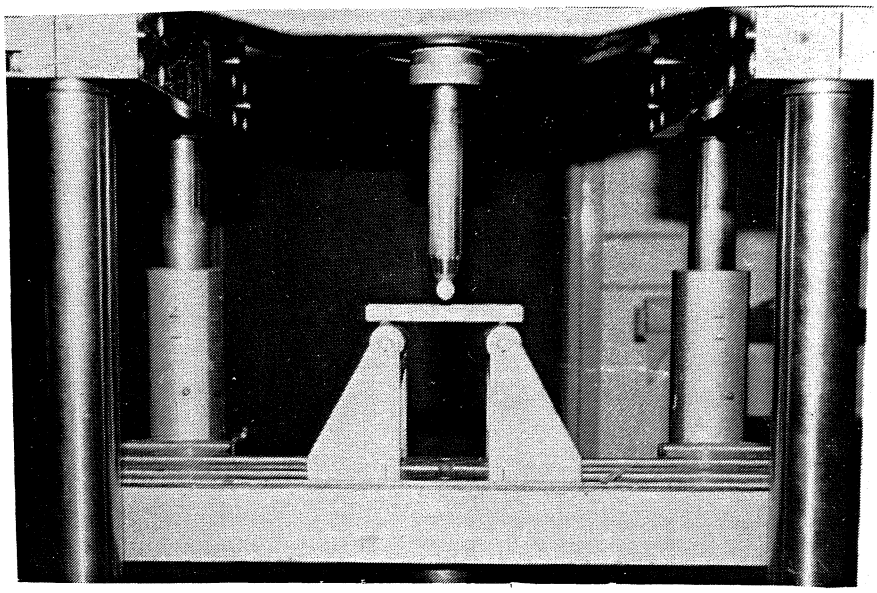


FIG. 7.1:2. Foto på böjdragprov.

Böjdraghållfastheten ges av

$$f_f = \frac{150 \cdot P}{b \cdot h^2} \qquad \text{(MPa)}$$

där P = belastning vid brott (N)
b = provets bredd (mm)
h = provets höjd (mm)

Efter bestämningen av f_f användes de återstående bitarna till att bestämma tryckhållfastheten (f_c). Härvid ställdes provet på högkant enligt FIG. 7.1:3-4. Tryckplattorna var 40 mm långa och mellan dessa och proverna placerades en tryckutjämnande träfiberskiva. Belastningshastigheten var 1 mm/min.

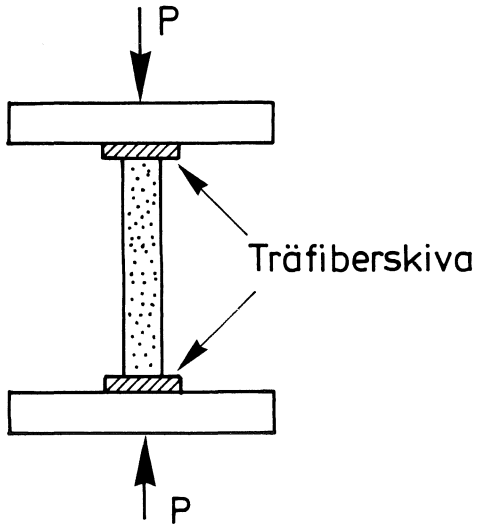


FIG. 7.1:3. Anordning vid tryckprov.

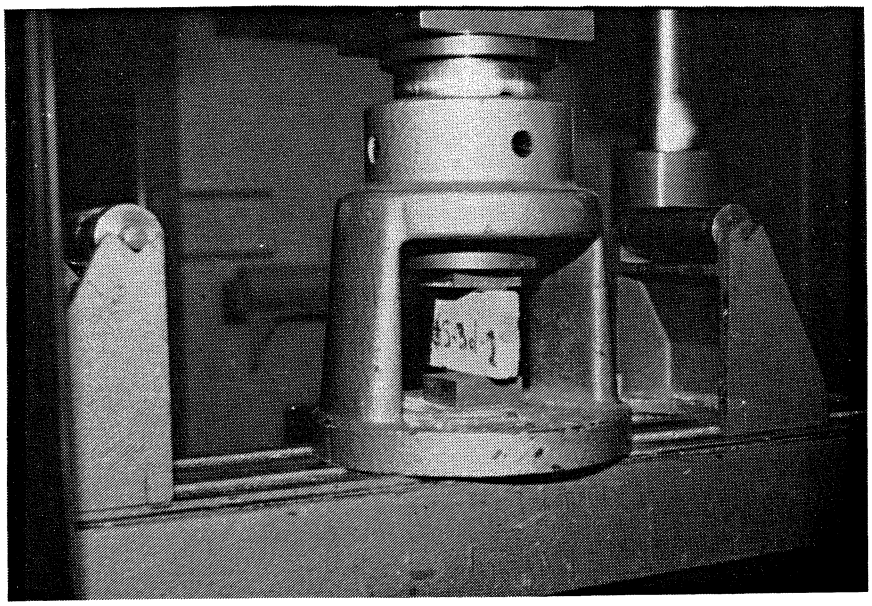


FIG. 7.1:4. Foto på tryckprov.

Tryckhållfastheten ges av

$$f_c = \frac{P}{40 \cdot h} \qquad \text{(MPa)}$$

På grund av att putsproverna har olika egenskaper på olika djup (främst kalkbruken) är metoderna något tveksamma. Störst inverkan av inhomogeniteter fås vid böjprovet. Dålig karbonatisering och sprickbildning i underkanten har en mycket stor inverkan på resultatet. Vid tryckprovning har detta mindre betydelse. Det värde som fås vid tryckprovning kan ses som ett medelvärde för hela provet. Vid böjprovet skall resultatet däremot ses som det värde som gäller i putsen närmast underlaget.

7.2 Resultat

Mätningarna har i allmänhet gjorts på 4 provkroppar av varje sort. I vissa fall har ett mindre antal provkroppar använts. Detta gäller främst prover med låg hållfasthet, vilka ibland gått sönder under hanteringen. I de fall enstaka prover avvikit kraftigt från medelvärdet, har dessa värden utelämnats vid medelvärdesberäkningen. Detta gäller enbart vid mycket låga böjdraghållfastheter. Orsaken till att enstaka prover fått en mycket låg böjdraghållfasthet torde vara inre sprickbildningar.

Resultaten redovisas i FIG. 7.2:1 - 7.2:8. Om inte annat anges, avser varje punkt i figurerna medelvärdet av 3 - 4 provkroppar. Linjerna mellan punkterna är dragna "förnuftsmässigt" och kan vara tveksamma i vissa fall. Detta saknar dock betydelse i sammanhanget. Siffrorna skall inte betraktas som generella. Det är eventuella skillnader som är intressanta.

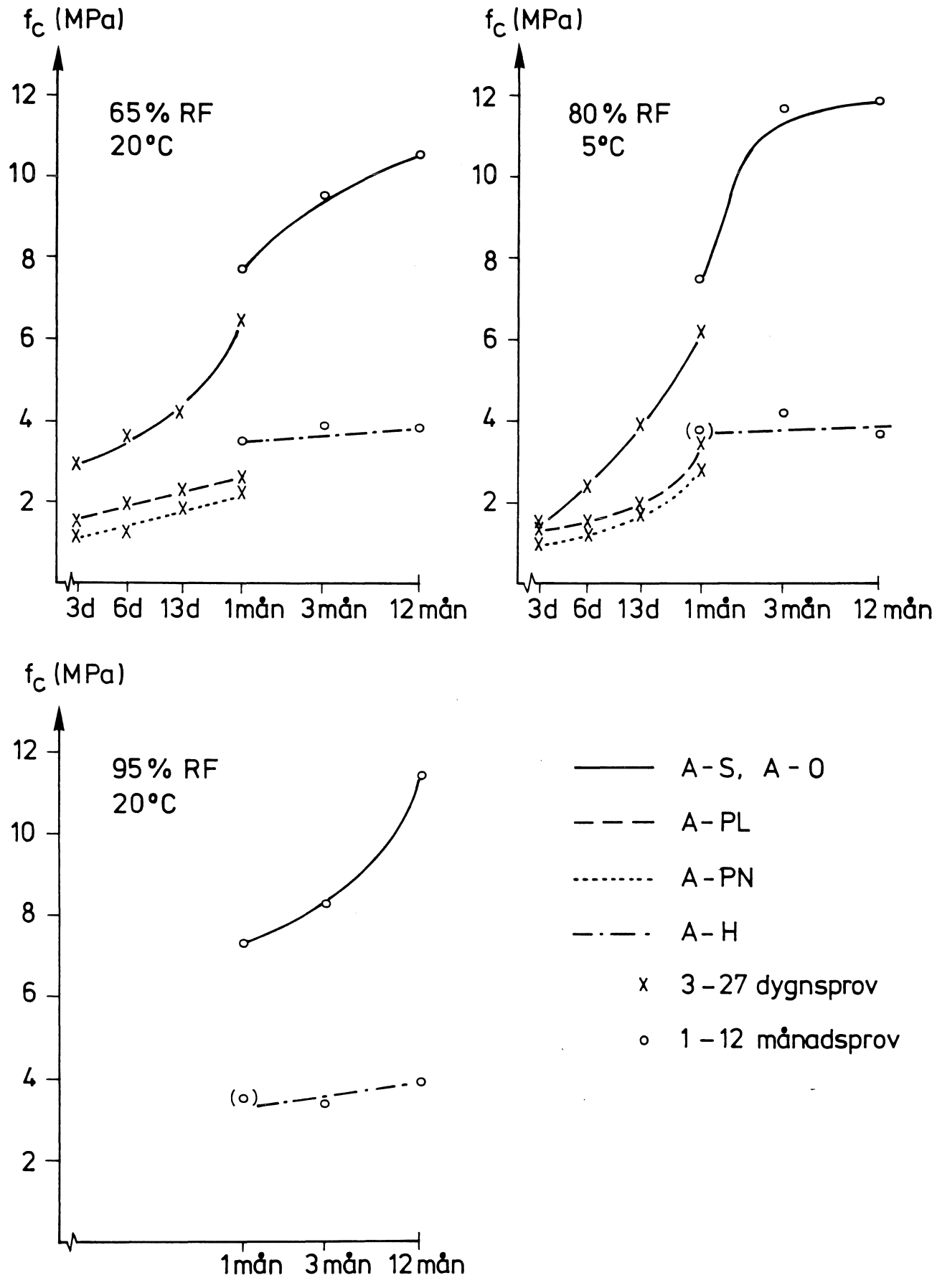


FIG. 7.2:1. Tryckhållfasthet vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. A-prover (KC 50/50/650).

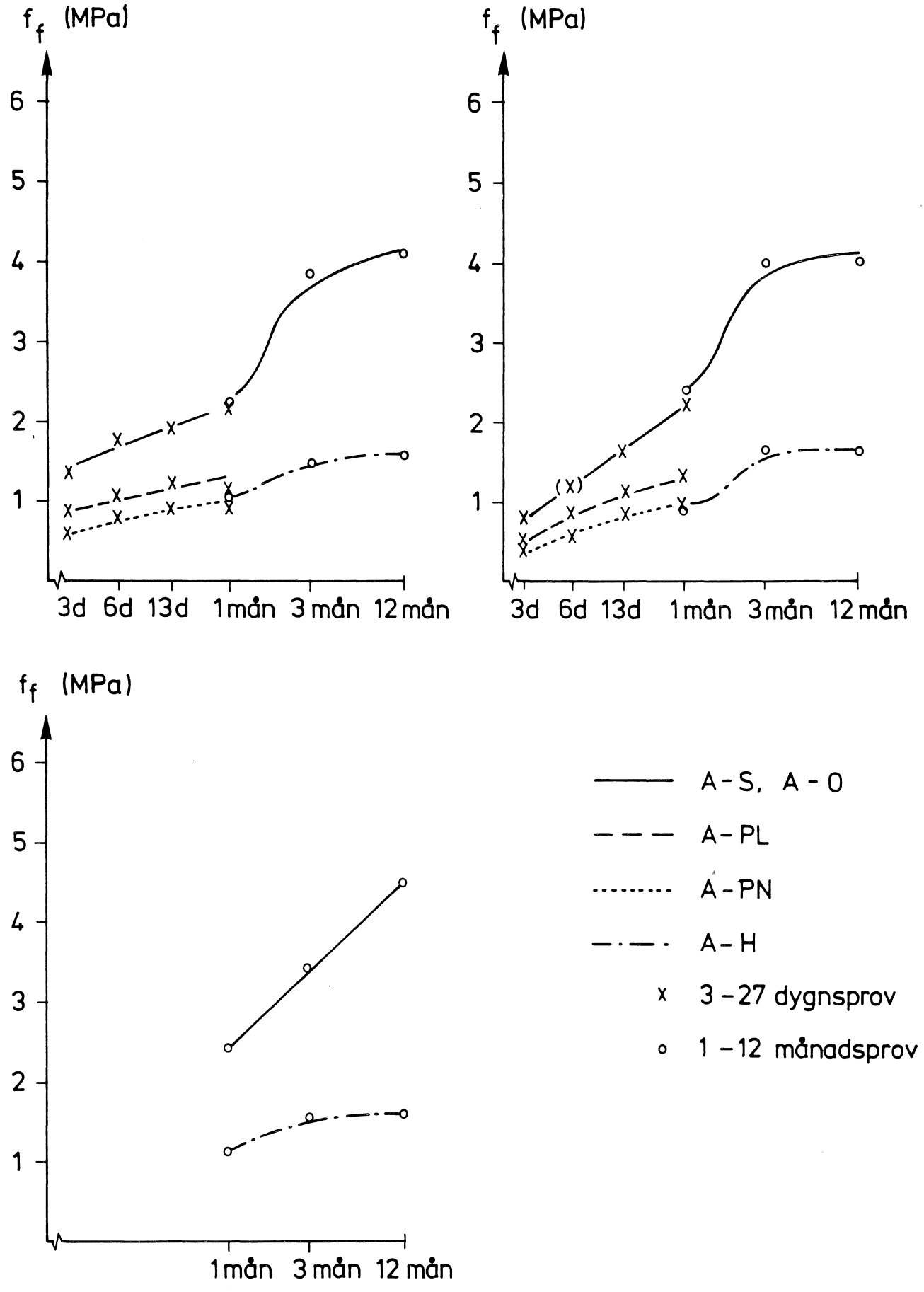


FIG. 7.2:2. Böjdraghållfasthet vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. A-prover (KC 50/50/650).

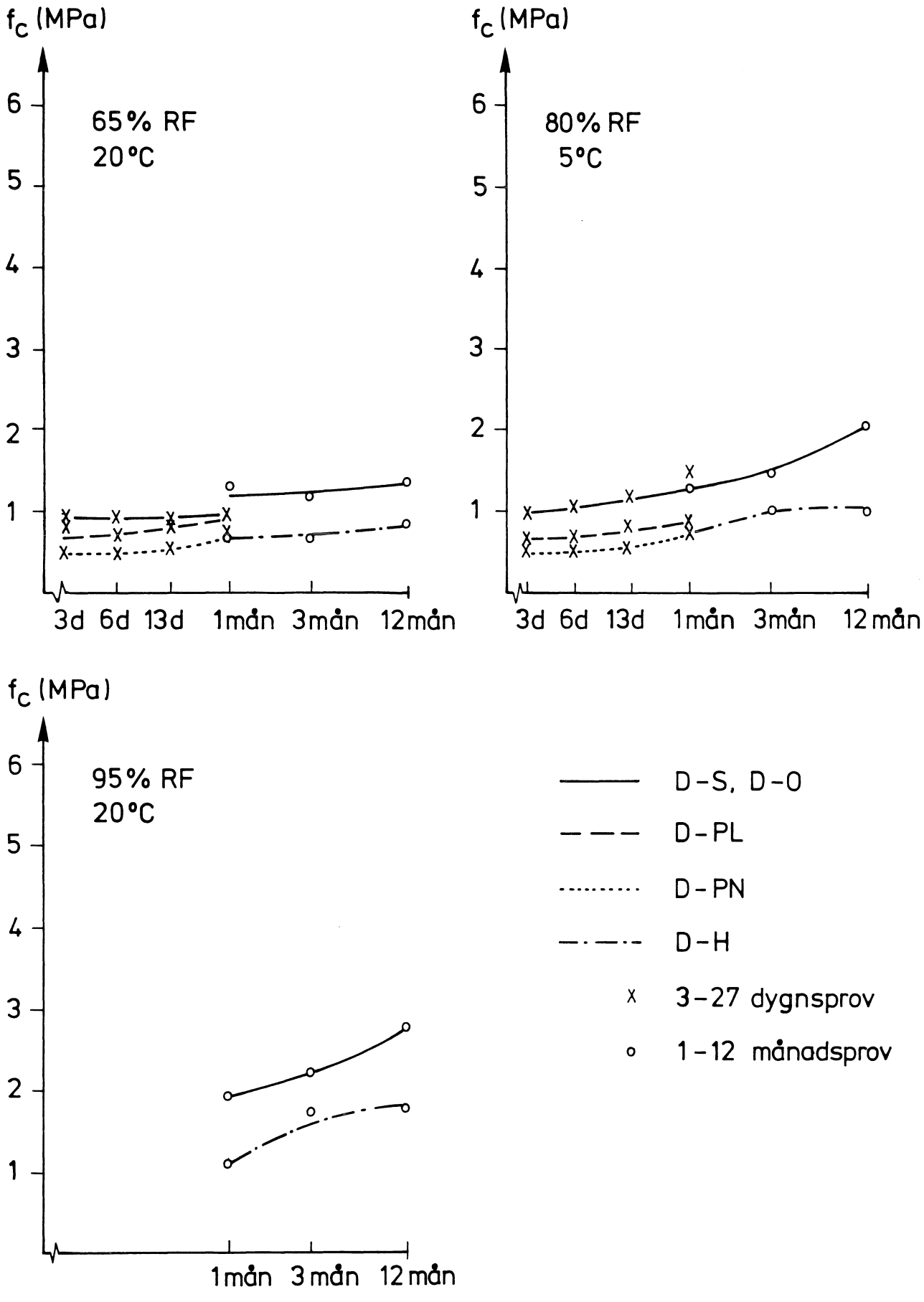


FIG. 7.2:3. Tryckhållfasthet vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. D-prover (K 100/1050).

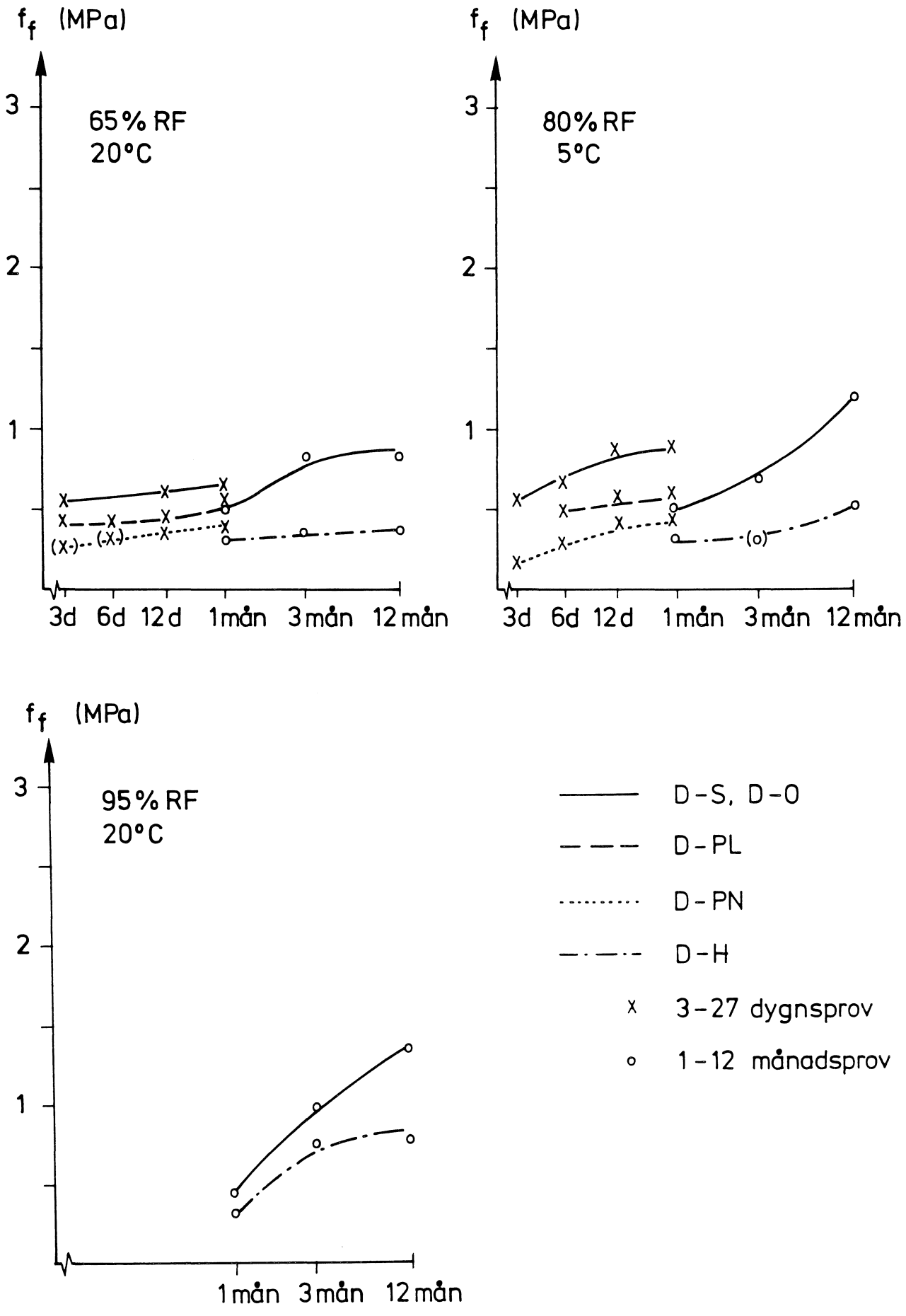


FIG. 7.2:4. Böjdraghållfasthet vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. D-prover (K 100/1050).

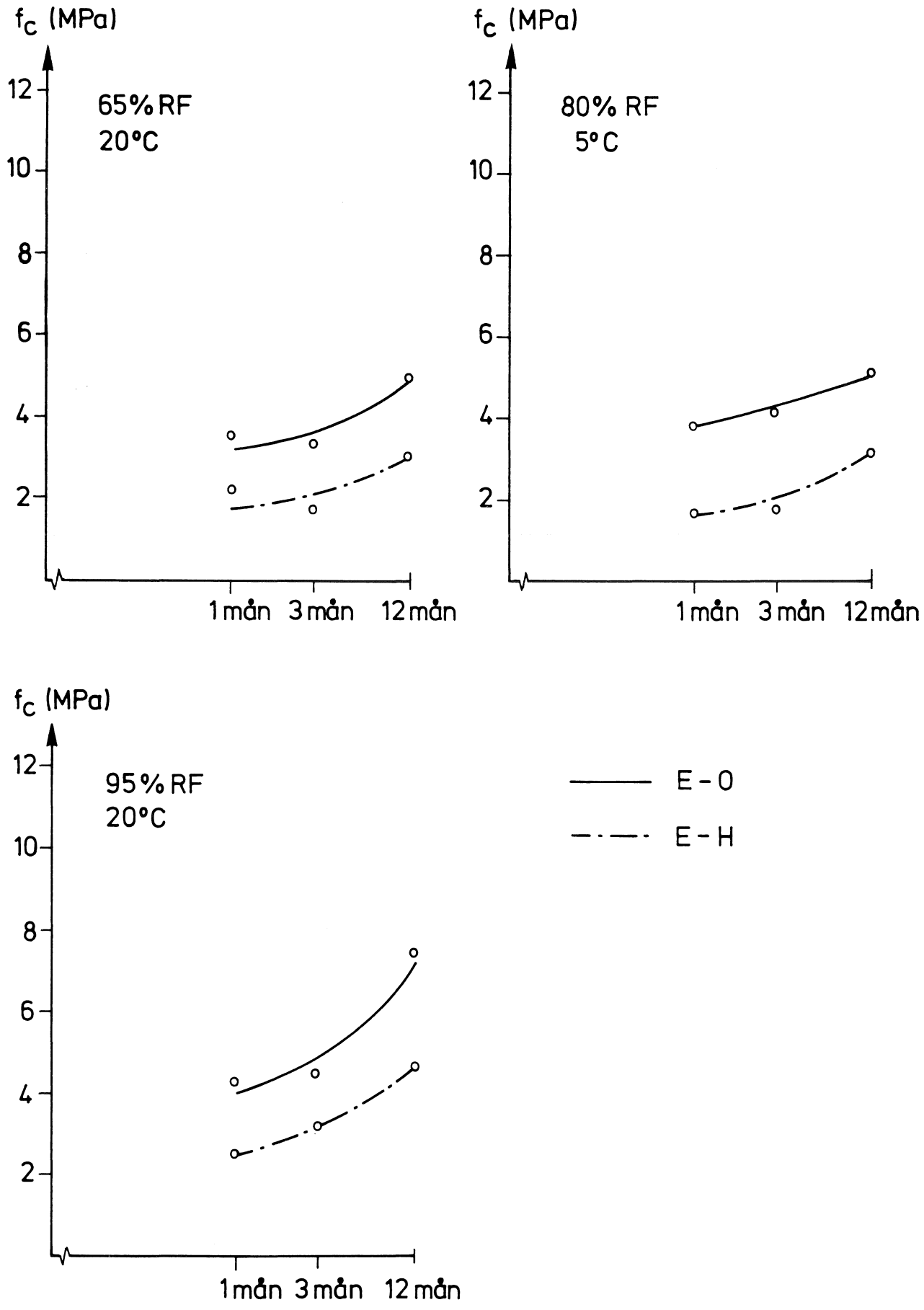


FIG. 7.2:5. Tryckhållfasthet vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. E-prover (KK_h 65/35/800).

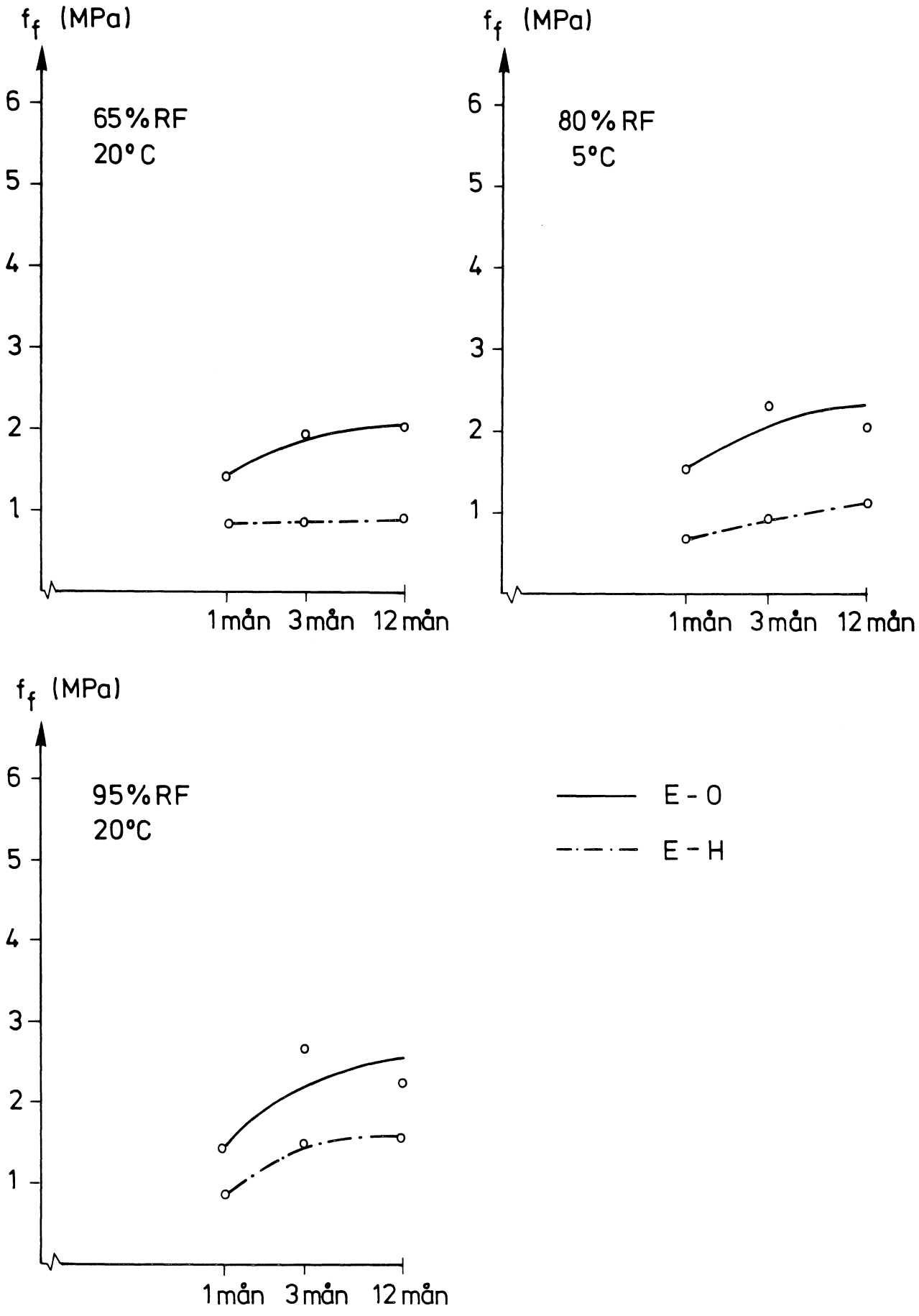


FIG. 7.2:6. Böjdraghållfasthet vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. E-prover (KK_h 65/35/800).

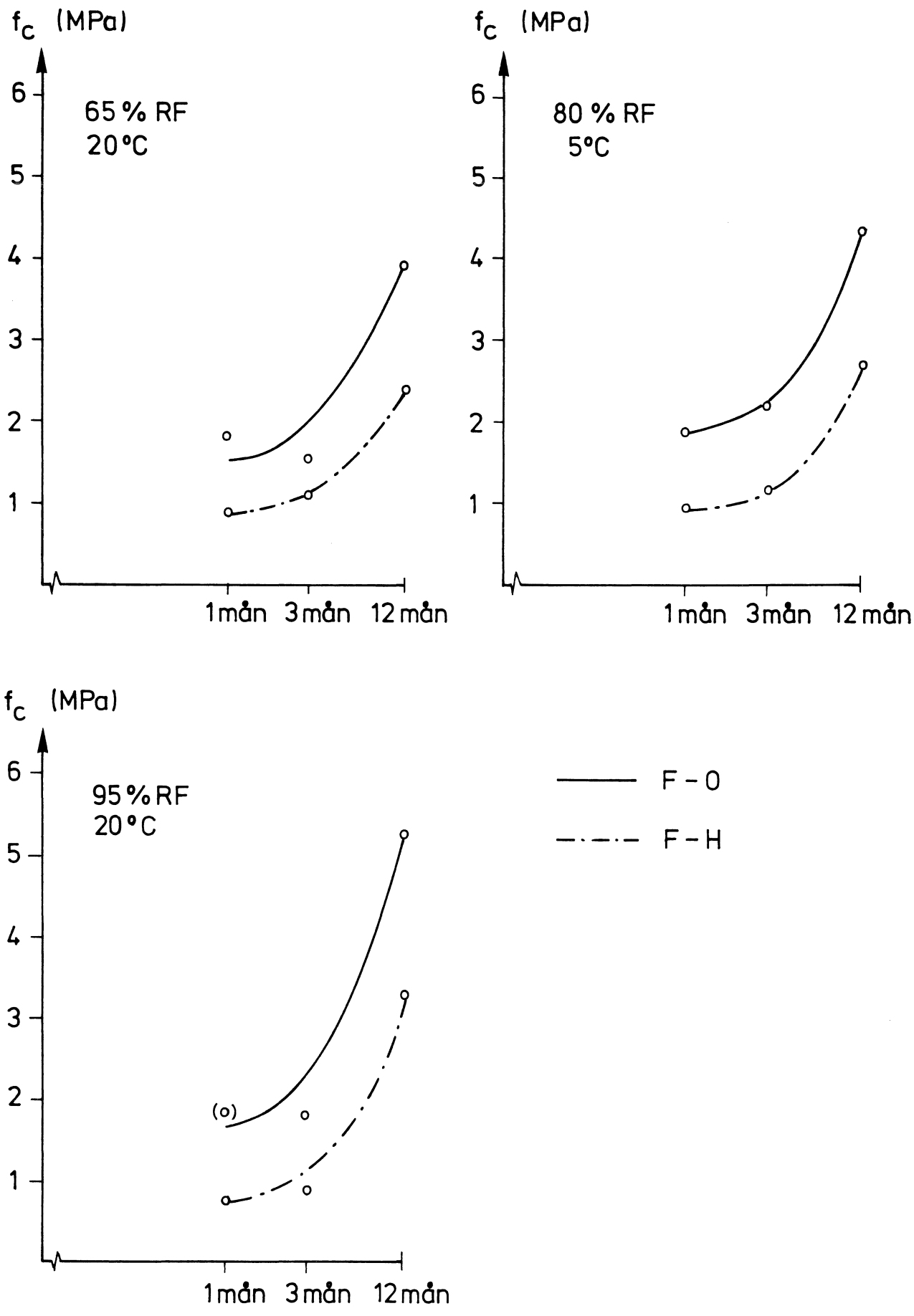


FIG. 7.2:7. Tryckhållfasthet vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. F-prover (K 100/900).

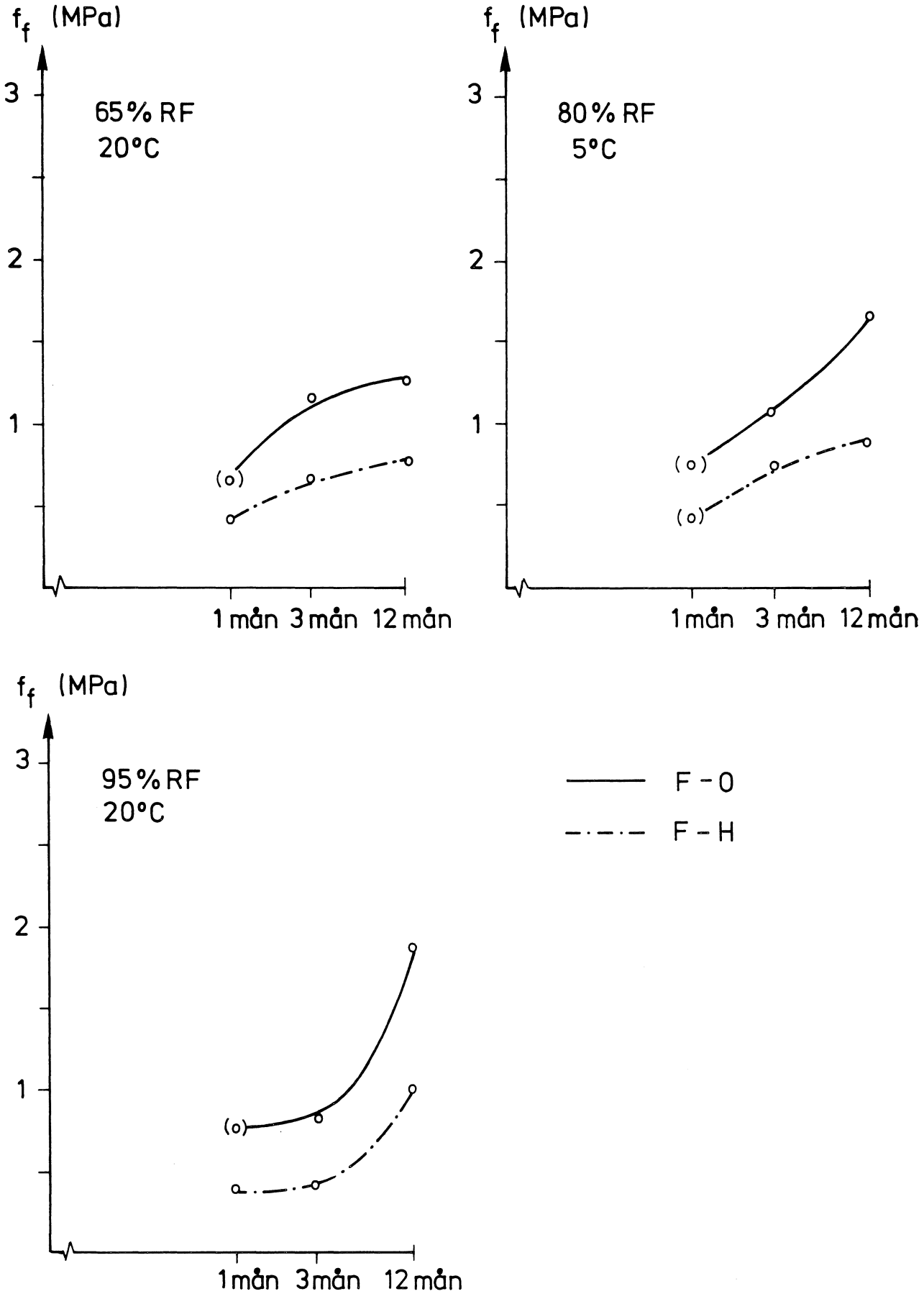


FIG. 7.2:8. Böjdraghållfasthet vid olika härdningsklimat, ålder och underlag. F-prover (K 100/900).

7.3 Kommentarer och diskussion

Resultaten visar klart att underlaget har en avgörande betydelse för putsens kvalitet. Ett sugande underlag ger en hållfasthet som är ungefär dubbelt så stor som ett icke sugande underlag. Det är uppenbart att om putsen får stelna med ett vattenöverskott, så blir hållfastheten låg (jfr betydelsen av ett lågt vct för betong). Vattenöverskottet ger dock bara en obetydlig ökning av porositeten enligt kapitel 4. Viktigare än porositetens absolutbelopp torde porstrukturen vara. Några sådana undersökningar har inte gjorts inom projektet. Att minska vattenöverskottet genom att använda ett styvare bruk verkar inte ha någon större betydelse. För att få någon effekt av ett mindre vatteninnehåll i bruket, skulle man sannolikt få ha så lite vatten att bruket inte vore användbart.

Kalkbrukens hållfasthet vid de korta tiderna torde enbart motsvaras av en ren "uttorkningshållfasthet". När uttorkningen i ugnen påbörjades, var vid de korta härdningstiderna i vissa fall proverna fortfarande mjuka.

För kalkbruken ökar hållfastheten mest vid lagring i 95 % RF. Detta stämmer väl med karbonatiseringsförloppet enligt kapitel 5.

Hållfasthetstillväxten hos de båda kalkputserna uppvisar förvånadsvärt stora skillnader. F-bruket uppnår 2 - 4 gånger så hög hållfasthet som D-bruket. Tillverkaren av F-bruket anger som förklaring till detta att F-bruket innehåller ballast av dolomit.

I Dührkop et al (1966) ges exempel på 28-dygnshållfastheten för olika standardbruk. För KC 50/50/650 anges f_f och f_c till 2 respektive 4 MPa. Dessa värden ligger mellan värdena för icke sugande respektive sugande underlag enligt FIG. 7.2:1-2. Ett sugande underlag kan ge det dubbla värdet medan ett icke sugande underlag kan ge halva värdet.

För kalkbruk anger Dührkop et al (1966) f_f och f_c till 0.7 respektive 1 MPa. Enligt de redovisade mätningarna var skillnaden mellan de båda kalkbruken relativt stor. Det förekommer värden både över och under ovanstående värden. Här skall dock observeras att det ena kalkbruket fick en mycket kraftig hållfasthetstillväxt vid fortsatt härdning under ett år. Det andra bruket fick däremot endast en obetydlig hållfasthetstillväxt vid fortsatt härdning.

Kvoten mellan f_c och f_f ligger i intervallet 2 - 3. Sambandet mellan E-modul och tryckhållfasthet kan (inom intervallet f_c = 0 - 4 MPa) grovt uttryckas genom

$$E = 2\,000 \cdot f_c$$

Denna relation stämmer väl med uppgifter i Dührkop et al (1966).

Hållfastheten hos "normproverna" ligger i allmänhet mellan värdena för sugande respektive icke sugande underlag. I vissa fall är den närmast värdena för sugande underlag och i andra fall närmast det icke sugande underlaget. En direkt jämförelse är inte relevant, eftersom "normproverna" och putsproverna inte har samma tillverkningssätt.

8 SALTVITTRINGSTEST

8.1 Metod

Saltvittringstest för att studera nedbrytning av material är ovanligt i Sverige. I Syd- och Mellaneuropa är sådana tester mycket vanliga på stenmaterial. Tillförlitligheten hos metoden, som enbart är av jämförande karaktär, anses vara mycket god.

Principen för metoden är att succesivt fylla porsystemet med ett salt, som får kristallisera cykliskt genom uppfuktning och uttorkning. Ett lämpligt salt är natriumsulfat.

Metoden användes första gången 1828, som en ren frostprovningsmetod. Efterhand har metoden mer och mer använts som en allmän metod att testa väderbeständigheten hos stenmaterial. Tillförlitligheten och olika faktorer som påverkar resultatet diskuteras i Price (1978).

Vid genomförandet av testen får provet absorbera en lösning av natriumsulfat, varefter provet torkas. Härefter får provet ånyo suga åt sig natriumsulfatlösningen etc. Dessa växlingar medför en omkristallisation av saltet, med åtföljande sprängverkan. Mellan varje cykel vägs provkropparna, varvid det bortvittrade materialet kan bestämmas. Under de första cyklerna sker i allmänhet en viktsökning, eftersom saltet fyller upp porsystemet. Alternativt (och bättre) kan man i stället direkt väga det bortvittrade materialet.

Metoden är mycket känslig för små variationer i provningsbetingelserna. Detta gäller i synnerhet temperatur och koncentration hos saltlösningen, den tid provet får suga saltlösning samt torkförhållandena mellan sugningarna. Dessa faktorer måste hållas exakt konstanta.

Vid provningen har följande procedur använts:

1. Torkning under 3 - 4 dygn i 60 °C.
2. Vägning och fotografering.
3. Avsvalning under 3 timmar i 20 °C.
4. Nedsänkning under 2 timmar i en 6 %-ig lösning av vattenfri natriumsulfat (densitet 1.055 kg/l) med temperaturen 20 °C.
5. Upptagning ur saltlösning och avrinning under 15 minuter i 20 °C.
6. Åter till 1.

Provningen har gjorts på putsprover, som direkt innan provningen avlägsnats från sitt underlag.

8.2 Resultat

Resultaten redovisas i FIG. 8.2:1-4. Alla angivna kurvor avser medelvärdet av tre provkroppar. De enskilda provkropparnas avvikelse från medelvärdet var mycket liten, i allmänhet mindre än ±5 % av angivna värden.

I figurerna redovisas enbart kurvorna för klimaten 65 % RF och 95 % RF vid härdningstiden 1 månad och ett år. Resultatet för klimatet 80 % RF ligger mellan kurvorna för 65 respektive 95 % RF, med en viss förskjutning mot 65 %-kurvan. Resultatet vid 3-månadsprovningen ligger mellan resultaten vid en 1 månad och 1 år.

I FIG. 8.2:5-8 redovisas fotografier på vissa provkroppar efter olika antal cykler.

I TAB. 8.2:1 ges en sammanställning över antal cykler tills viktsändringen övergår från viktsökning till viktsminskning, det vill säga när nollnivån passeras. Vid denna tidpunkt har en viss nedbrytning skett, eftersom saltanrikningen i början medförde en viktsökning.

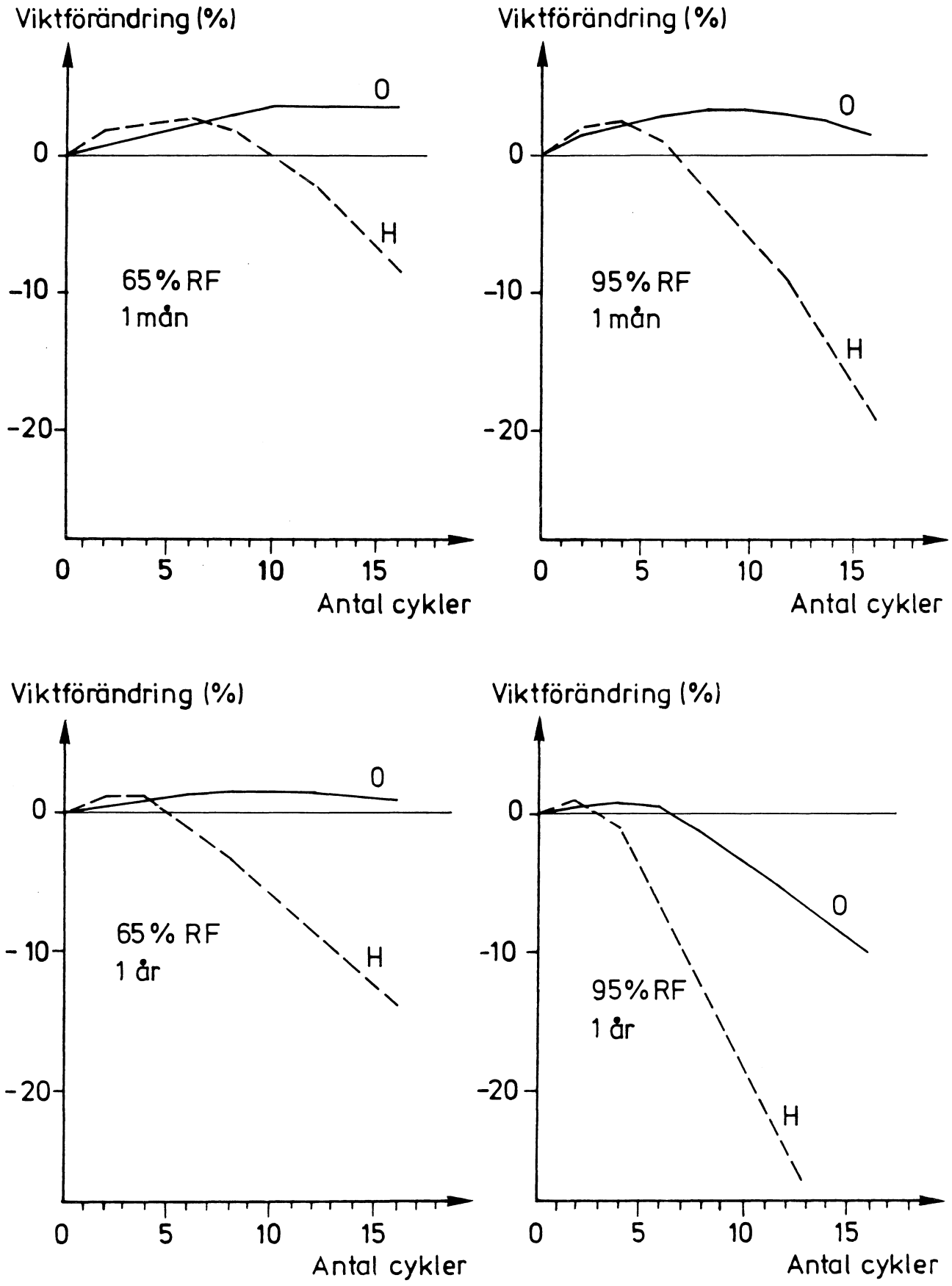


FIG. 8.2:1. Viktsförändring under saltvittringstest.
A-prover (KC 50/50/650).
O = sugande underlag, H = ej sugande underlag

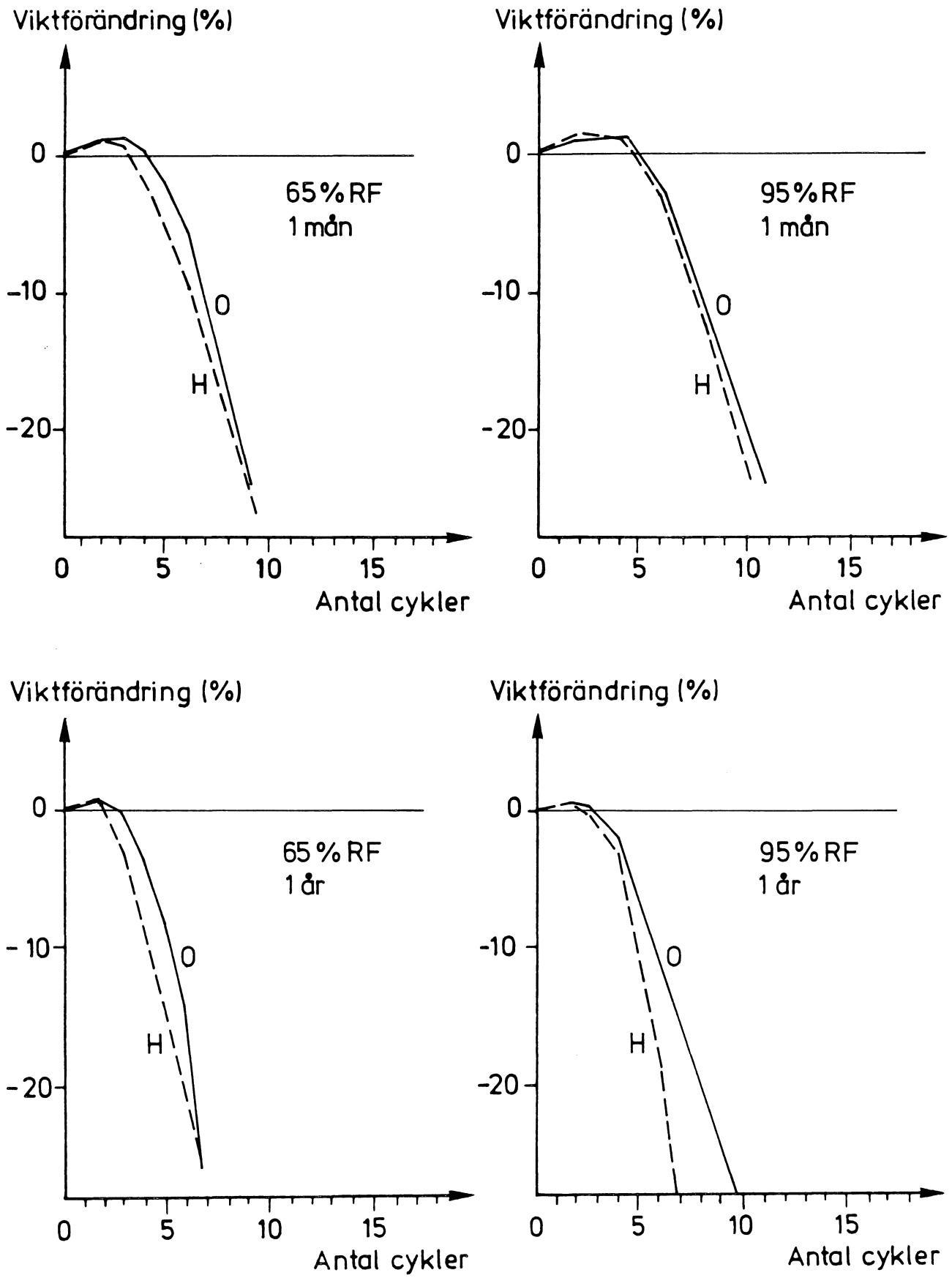


FIG. 8.2:2. Viktsförändring under saltvittringstest.
D-prover (K 100/1050).
O = sugande underlag, H = ej sugande underlag

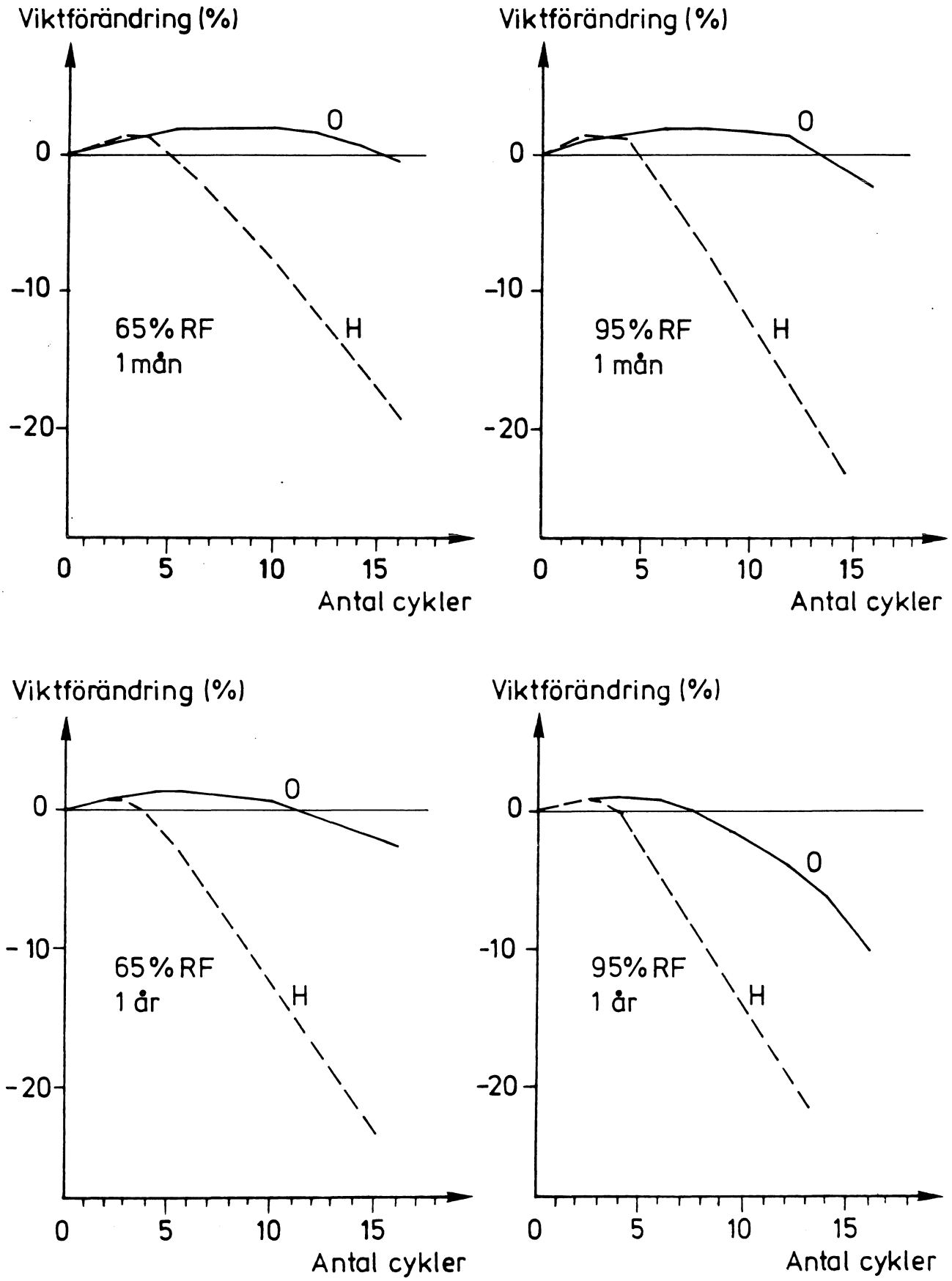


FIG. 8.2:3. Viktsförändring under saltvittringstest.
E-prover (KK_h 65/35/800).
O = sugande underlag, H = ej sugande underlag

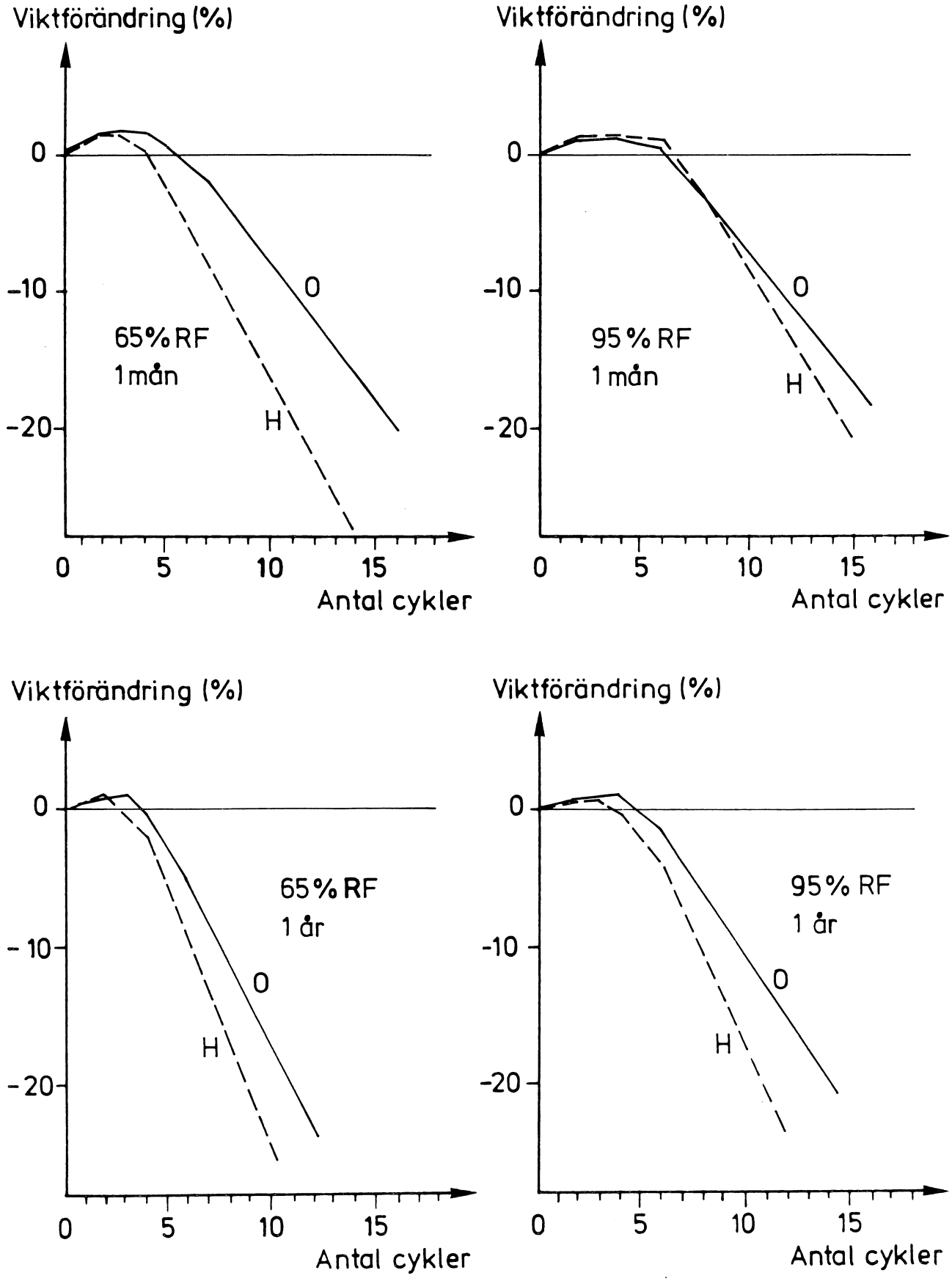


FIG. 8.2:4. Viktsförändring under saltvittringstest.
F-prover (K 100/900).
O = sugande underlag, H = ej sugande underlag

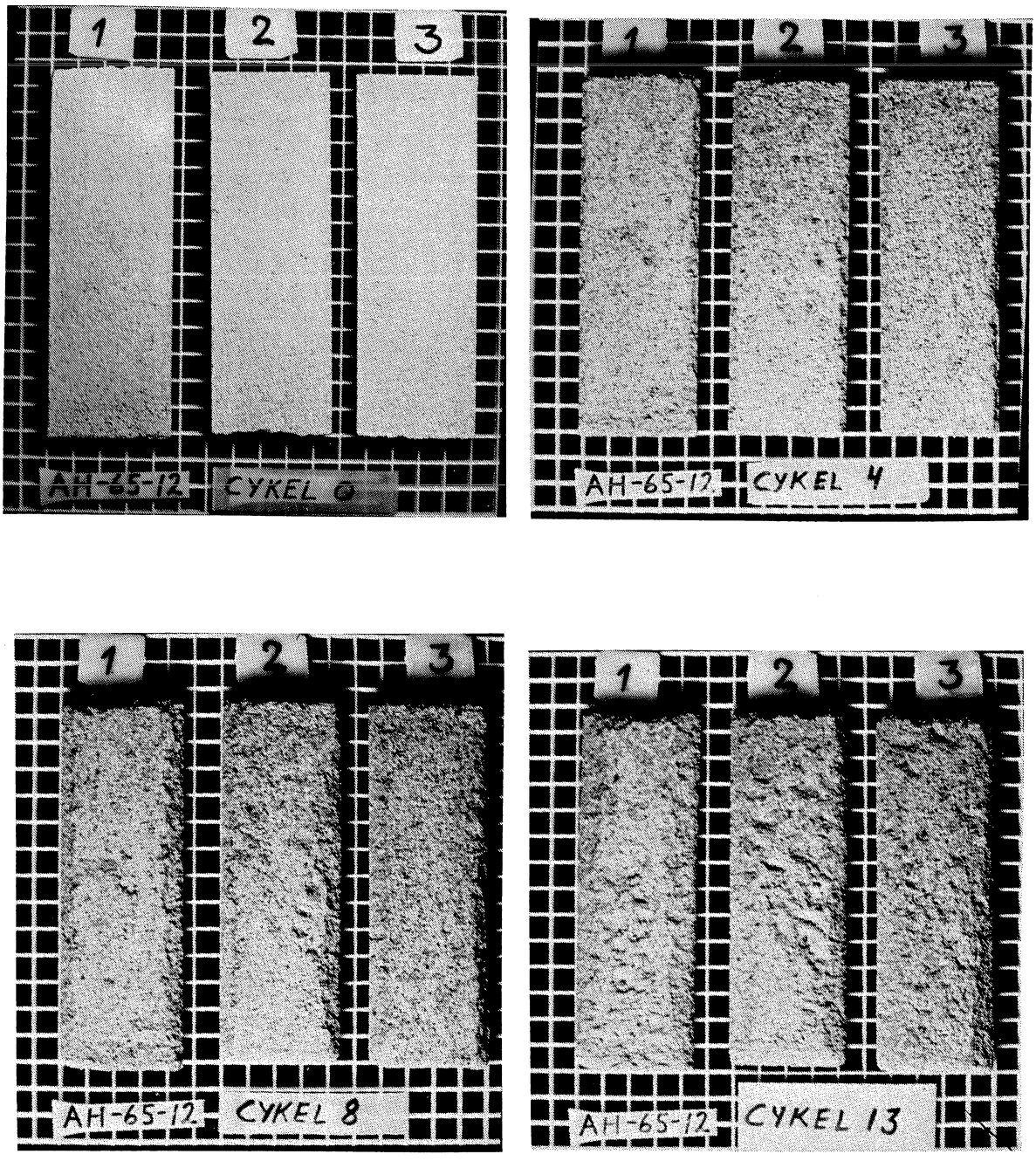


FIG. 8.2:5. Vittring under saltvittringstest. A-prover (KC 50/50/650) på icke sugande underlag.

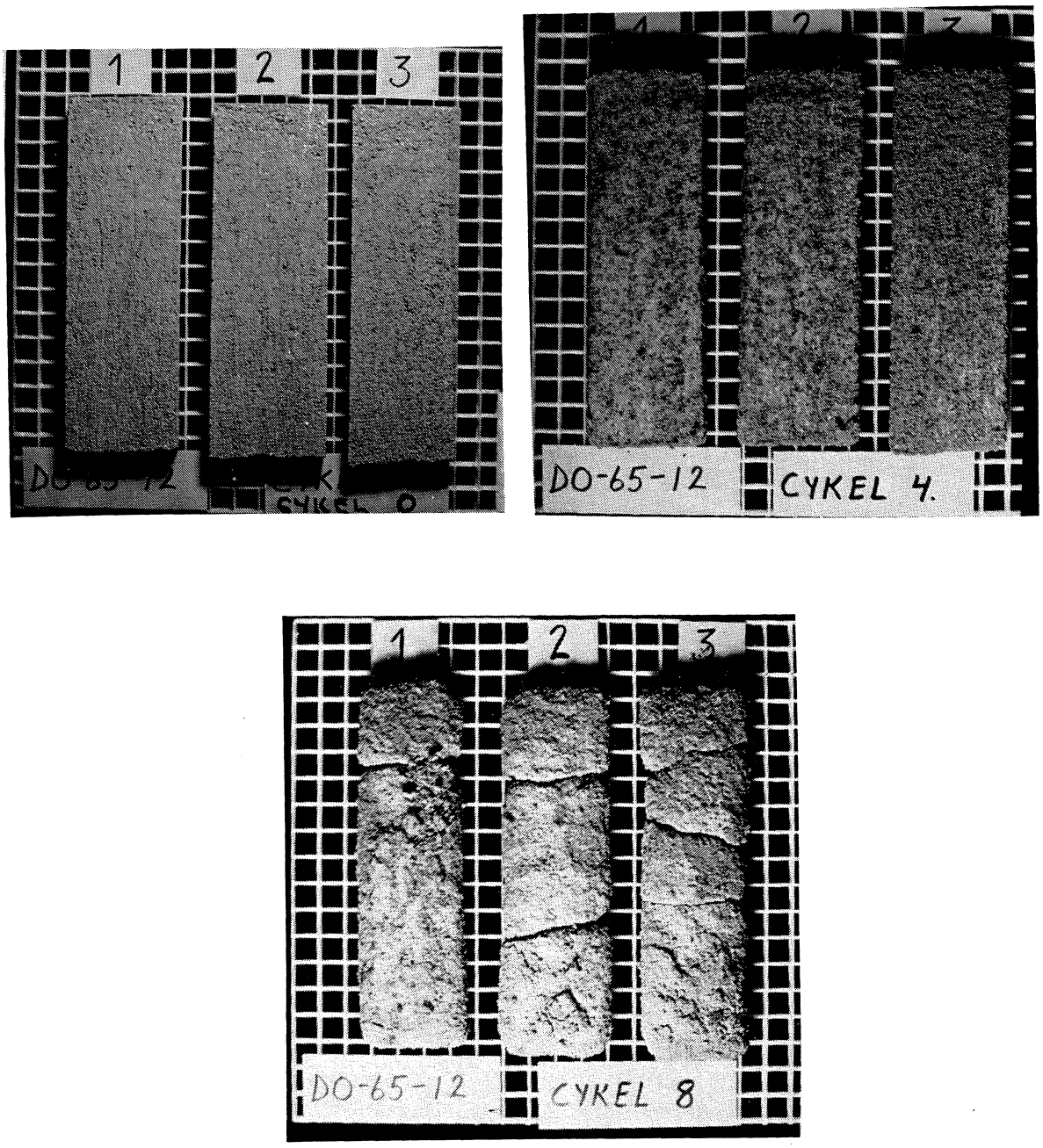


FIG. 8.2:6. Vittring under saltvittringstest. D-prover (K 100/1050) på sugande underlag.

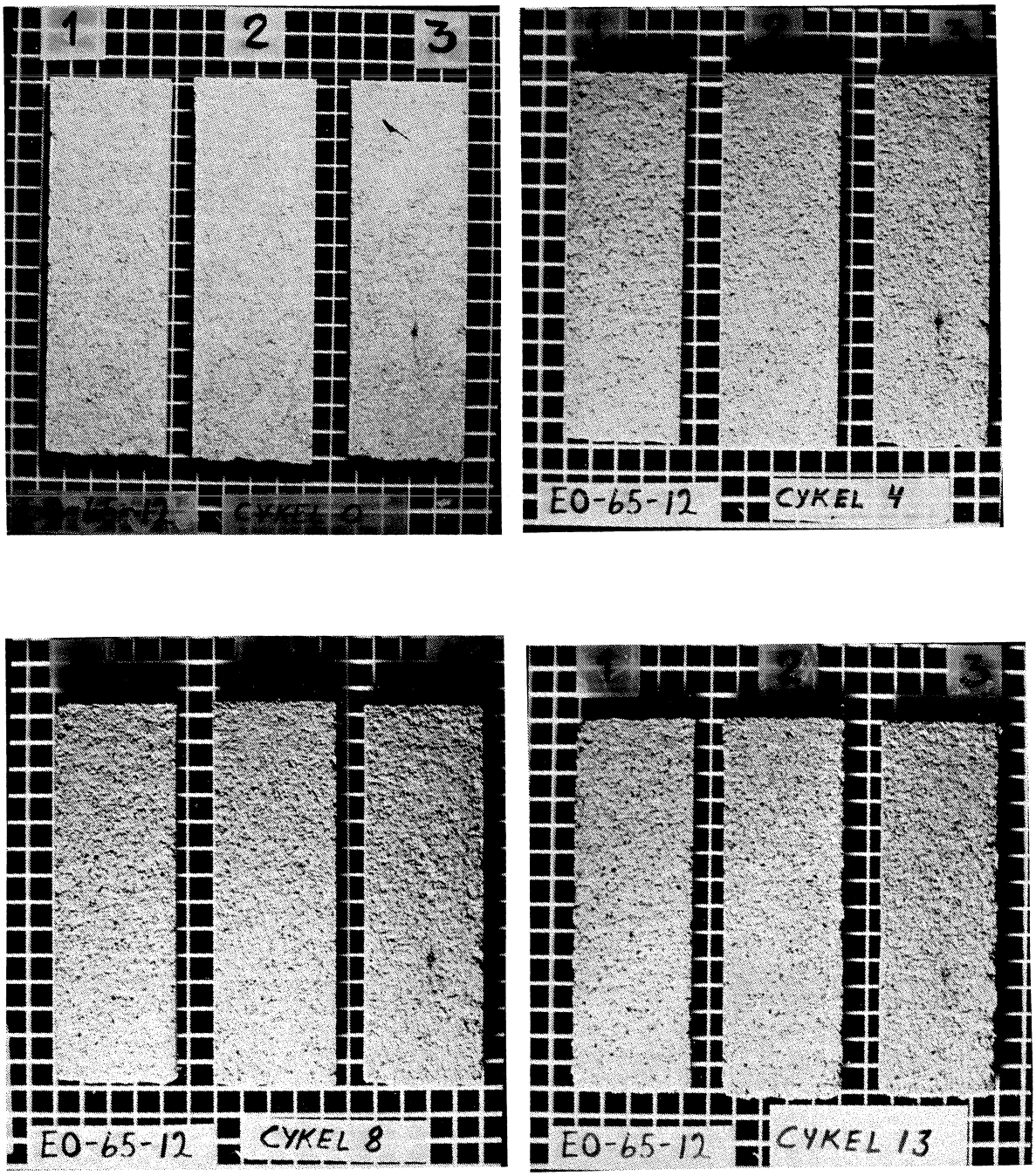


FIG. 8.2:7. Vittring under saltvittringstest. E-prover (KK 65/35/800) på sugande underlag.

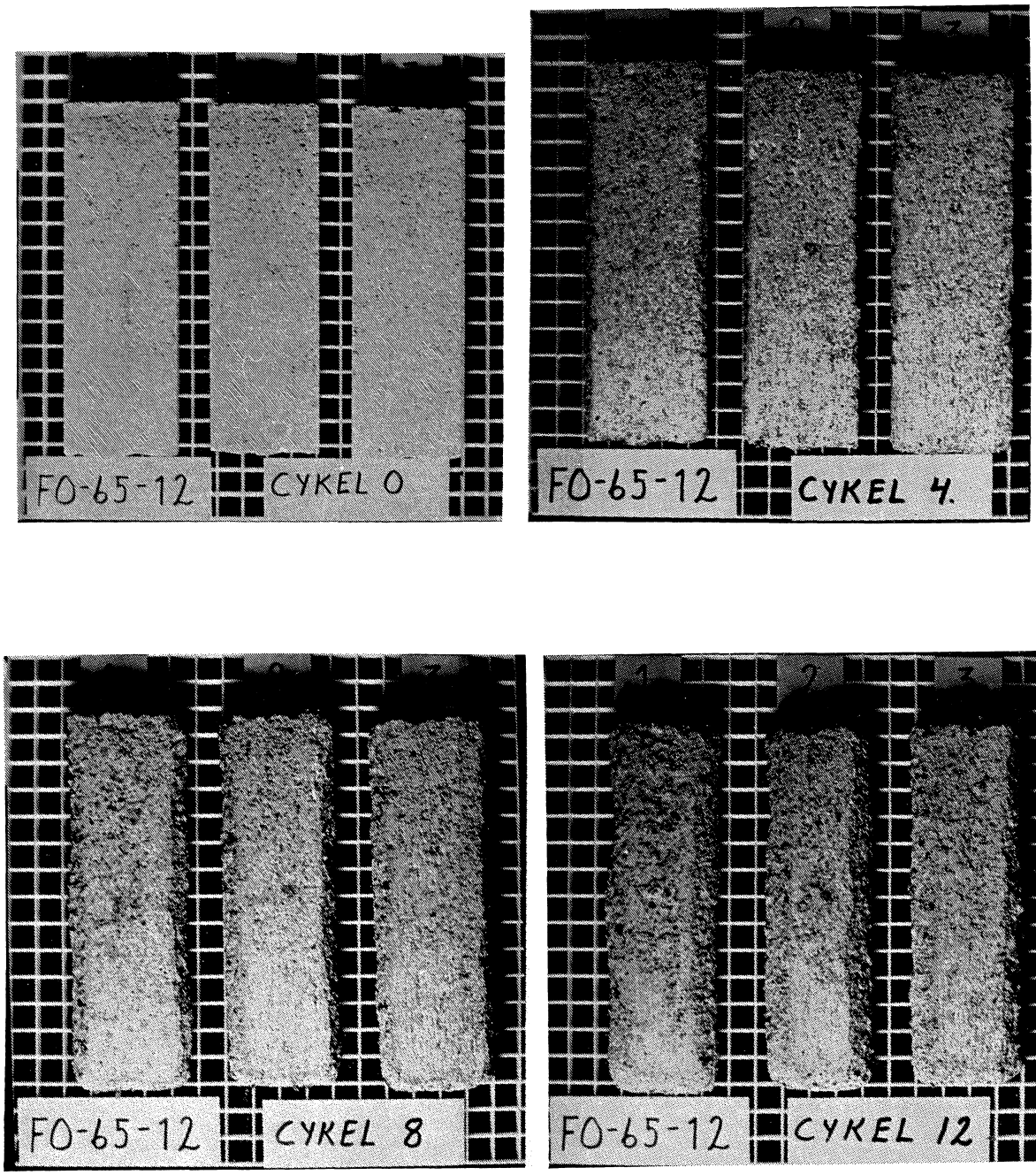


FIG. 8.2:8. Vittring under saltvittringstest. F-prover (K 100/900) på sugande underlag.

TAB. 8.2:1. Antal cykler tills viktsändringen blir negativ i saltvittringstesten vid olika härdningsklimat och härdningstid.

Klimat ⟶	65 % RF, 20°C			80 % RF, 5°C			95 % RF, 20°C		
Tid (mån)⟶	1	3	12	1	3	12	1	3	12
A - O	29	(21)	(21)	38	(26)	19	19	15	7
A - H	11	6	6	11	5	6	7	5	4
D - O	4	3	3	5	4	3	5	4	4
D - H	4	3	3	4	3	3	5	3	3
E - O	16	11	12	18	11	11	14	9	8
E - H	5	5	4	7	5	5	5	4	4
F - O	6	5	4	7	5	6	7	6	5
F - H	5	4	3	5	4	4	7	5	4

Anm: O = sugande underlag
H = ej sugande underlag
() = försöket avbröts vid angivet antal cykler utan att viktsändringen blivit negativ.

8.3 Kommentarer och diskussion

Enligt kapitel 6 och 7 har underlaget en avgörande betydelse för de mekaniska egenskaperna hos putsen. Saltvittringstesten visar samma sak. Ett sugande underlag ger en väsentligt bättre vittringsbeständighet. Detta gäller främst putserna A och E, det vill säga de putser som under gynnsamma betingelser får en god beständighet. För de rena luftkalkputserna är skillnaden mellan sugande och icke sugande underlag mindre. Detta beror sannolikt på, att med de rena luftkalkputserna får man inte ens under gynnsamma betingelser, någon högre beständighet. Luftkalkputserna under de mest gynnsamma betingelserna, blir inte bättre än de hydrauliska putserna under de mest ogynnsamma betingelserna.

Ett förvånande resultat är att vittringsbeständigheten inte förbättras med ökande härdningstid, snarare tvärtom. Provningen efter en månad ger ett bättre resultat än provningen efter ett år! Enligt detta resultat finns det inget samband mellan vittringsbeständighet å ena sidan och karbonatisering respektive hållfasthet å den andra sidan. Någon förklaring till detta kan inte ges. Möjligen förändras porsystemet på ett ogynnsamt sätt. En annan möjlig förklaring är att vid kortare härdningstid är materialet mindre sprött, samtidigt som det kan finnas en viss "självläkningseffekt".

Ett annat förvånande resultat är att putserna A och E (hydrauliska bruk) får en sämre beständighet vid lagring i 95 % RF jämfört med 65 % RF. För luftkalkbruken gäller motsatsen.

Skillnaden mellan de båda kalkbruken är stor. F-bruket har en väsentligt bättre beständighet än D-bruket. Detta faktum bör mana till en viss eftertanke när man diskuterar och jämför skadefall i praktiken. Torrbruk från olika tillverkare kan ha mycket olika "kvalitet", även om de uppges ha likande sammansättning.

Att med utgångspunkt från gjorda mätningar sätta några absoluta gränser på "acceptabel nedbrytning" går inte. Testen är enbart av jämförande karaktär. Vidare skulle olika läge i landet kräva olika gränser. Genom att jämföra med den praktiska erfarenheten kan dock vissa siffermässiga slutsatser dras. Putsen A-O fungerar praktiskt taget alltid. Även A-H brukar fungera, dock finns det exempel på skador. Detta skulle innebära att en puts som klarar 8 - 10 cykler utan viktsminskning, måste anses som en beständig puts, även i relativt utsatta lägen. I skyddade lägen kan sannolikt gränsen sättas väsentligt lägre. Puts E är relativt ny på marknaden och långtidserfarenhet saknas ännu. Med utgångspunkt från erhållna resultat kan man dock påstå att putsen E-O har goda förutsättningar att klara sig i praktiken.

Den praktiska erfarenheten av luftkalkputser är högst varierande. I vissa fall fungerar de. I andra fall fungerar de inte. En undre gräns för helt oacceptabel beständighet torde

enligt TAB. 8.2:1 ligga vid 3 - 4 cykler, när det gäller utsatta lägen.

Metoden att testa "putskvaliteten" med en saltvittringstest verkar mycket lovande och utslagsgivande. De ovan angivna gränserna är mycket grova och bör kunna specificeras mer i detalj genom ytterligare studier. Härvid bör då laboratorieförsök kompletteras med uppföljning av putsade fasader i praktiken. Även inverkan av eventuella ytskikt bör gå att studera.

De erhållna resultaten kan sammanfattas

- Vittringsbeständigheten visar ingen korrelation med den "fullständiga" karbonatiseringen eller med den tidsberoende hållfasthetsutvecklingen.

- Till sammansättningen lika luftkalkbruk uppvisar stora skillnader i vittringsbeständighet.

- Gränsen för acceptabel beständighet bör ligga i intervallet 3 - 8 saltvittringscykler utan att putsen uppvisar någon viktsminskning jämfört med startvikten.

- Ett sugande underlag ger en väsentligt bättre putskvalitet.

Se även avsnitt 9.2.3.

9 FRYSPROVNING

9.1 Puts på underlag

9.1.1 Metod

Provningen gjordes i kompletteringsserien enligt avsnitt 3.4. Ett luftkalkbruk (D) och ett kalkcementbruk (A) provades på underlag av autoklaverad lättbetong. Ett 12 mm tjockt putsskikt applicerades på 100 x 100 mm bitar av SIPOREX K400 med tjockleken 20 mm. För att få olika sugning hos underlaget användes både "rumstorr" och "vattenmättad" lättbetong. Efter putsningen placerades provkropparna i 65 % RF, 20 °C respektive 80 % RF, 5 °C.

Frysprovningen startade efter 6, 13 och 33 dygns härdning. Innan den första frysningen fick proverna kapillärt suga vatten genom lättbetongen under ett dygn. Härefter genomgicks varje fryscykel enligt

1. Hela proverna doppas i vatten under 2 timmar.
2. Proverna läggs i plastpåsar.
3. Proverna fryses vid -20 °C under 2 - 3 dygn.
4. Proverna tinas i plastpåsarna i ett dygn.
5. Plastpåsarna tas bort och proverna besiktigas.
6. Ny cykel börjar vid 1.

9.1.2 Resultat

Från början var avsikten att studera skadeutvecklingen genom fotografering och vägning av bortvittrat material. Det visade sig emellertid att hela putsen i allmänhet lossnade från underlaget innan någon märkbar vittring kunde iakttas. Med hänsyn härtill redovisas i stället antal fryscykler som proverna klarade innan putsen lossnade. Resultaten redovisas i TAB 9.1.2:1-2. Proverna betecknas med

X-Y-Z

där X = Putssort; A = KC 50/50/650
D = K 100/1050

Y = Underlagets fukttillstånd; B = blött
T = torrt

Z = Härdningsklimat; 65 = 65 % RF, 20 °C
80 = 80 % RF, 5 °C

TAB. 9.1.2:1. Antal fryscykler innan putsen lossnade. D-prov.

Härdningstid (dygn)	D-B-65	D-B-80	D-T-65	D-T-80
6	0	0	0	0
13	0	0	0	0
33	0	0	1	1

TAB. 9.1.2:2. Antal fryscykler innan putsen lossnade. A-prov.

Härdningstid (dygn)	A-B-65	A-B-80	A-T-65	A-T-80
6	-	5	8	6
13	1	1	3	4
33	3	1	18	11

På den lossnade putsen gjordes en subjektiv bedömning av hållfastheten. Putsen borstades först med en diskborste under rinnande vatten. Detta gav djupet där bruket var helt löst. Härefter skrapades putsen försiktigt med en kniv. Detta gav djupet där putsen hade en "någorlunda" hållfasthet. Ett typiskt utseende hos ett prov efter en sådan bedömning visas i FIG. 9.1.2:1.

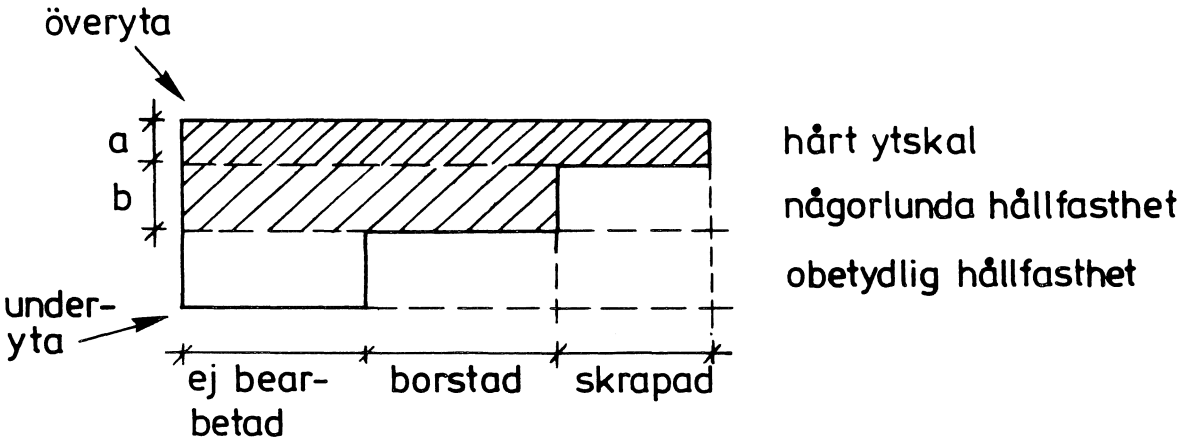


FIG. 9.1.2:1. Princip för subjektiv bedömning av putsens hållfasthet efter frysprovning.

I tab. 9.1.2:3 redovisas tjockleken på det hårda ytskalet (a) respektive djupet till puts med obetydlig hållfasthet (a + b) för kalkbruksproverna. (jfr FIG. 9.1.2:1) På kalkcementputserna gick det inte att borsta eller skrapa bort material i någon väsentlig utsträckning. I själva vidhäftningsytan fanns det dock i allmänhet ett mycket tunt skikt med lösa korn och bindemedel.

TAB. 9.1.2:3. Djup (mm) till olika hållfasthet i kalkputserna enligt FIG. 9.1.2:1.

Härdningstid innan frysning (dygn)	D-B-65		D-B-80		D-T-65		D-T-80	
	a	a+b	a	a+b	a	a+b	a	a+b
6	2	4	0	1	3	4	3	4
13	4	6	4	6	4	7	4	6
33	9	11	9	10	12	12	9	11

9.1.3 Kommentarer och diskussion

Den utförda provningen är mycket grov, men ger ändå anledning till vissa praktiska slutsatser.

För kalkbruksproverna finns en relativt god överensstämmelse mellan "initialkarbonatiseringen" enligt kapitel 5 och en förändring i hållfasthet hos de bortfrusna putserna. Har initialkarbonatiseringen inte nått in till underlaget, fryser putsen snabbt bort. Om det omvända gäller (det vill säga att putsen klarar sig, om initialkarbonatiseringen nått in till underlaget) går inte att uttala sig om. Den längsta härdningstiden innan frysning har nämligen varit av samma storleksordning som tiden det tar för initialkarbonatiseringen att nå underlaget. Proverna på torra underlag vid tiden 33 dygn indikerar dock att så kan vara fallet. Under alla omständigheter kan man fastslå att en 12 mm kalkputs kräver minst en månads härdning under gynnsamma betingelser, innan den får frysa i vattenmättat tillstånd. Denna tid gäller under ideala förhållanden. I praktiken kan det bli väsentligt längre tider. (Det vid provningen uppnådda fukttillståndet i putsen kan mycket väl uppnås i praktiken. Ett slagregn med några timmars varaktighet kan vara tillräckligt.)

KC-putserna klarar sig väsentligt bättre vid frysprovningen. Antalet prover är alltför begränsat för att kunna dra några generella slutsatser. TAB. 9.1.2:2 visar dock tydligt att putser applicerade på torra underlag klarar sig bäst. På det blöta underlaget klarade sig KC-putserna inte mer än en enda fryscykel i de flesta fallen.

För KC-putserna är det inte möjligt att påvisa någon inverkan av olika lagringstid innan frysningen. 33 dygns härdning innan frysningen ger inte någon signifikant förbättring jämfört med 6 dygns härdning. Spridningen i resultaten är dock mycket stor.

Någon skillnad mellan olika härdningsklimat går inte att påvisa för någon puts.

Att översätta resultaten från frysprovningar till praktiken är vanskligt. Från tidigare frysprovningar och praktisk erfarenhet vet man att motsvarande KC-puts, som fått härda under bra förhållanden i en månad, har en god frostbeständighet. Med hänsyn till erhållna resultat bör då även en

veckas härdning vara tillräcklig för en KC-puts. Resultaten tyder även på att det är betänkligt att putsa på blöta, icke sugande underlag sent på hösten.

Resultaten kan kort sammanfattas

- En kalkputs måste härda mer än en månad innan den får frysa i blött tillstånd. Under denna härdning måste putsen skyddas mot regn. Detta är ett minimikrav för att putsen skall klara sig. Det är dock ingen garanti för en frostbeständig puts.

- En KC-puts (KC 50/50/650) som appliceras på ett sugande underlag torde ha en tillräcklig frostbeständighet efter en vecka.

- En puts som appliceras på ett icke sugande underlag får en sämre frostbeständighet än en puts som appliceras på ett sugande underlag.

9.2 Enbart puts

9.2.1 Metod

Provningar gjordes på ett år gamla provkroppar från tillverkningen enligt avsnitt 3.3. Proverna genomgick ett antal frys-cykler enligt följande:

1. Helt nedsänkta i vatten under 3 timmar.
2. Placering i plastpåse.
3. Frysning vid -20 °C under 2 - 3 dygn.
4. Upptining vid +20 °C under 1 dygn.
5. Upptagning ur plastpåse och besiktning.
6. Efter vissa cykler: torkning vid +60 °C och vägning.
7. Enligt punkt 1 etc.

9.2.2 Resultat

Resultatet redovisas i TAB. 9.2.2:1. Observera att viktsändringen är relaterad till vikten efter 3 fryscykler. Provkropparna vägde från början 120 - 140 gram.

TAB. 9.2.2:1. Viktsförändring (gram) efter olika antal fryscykler. Ändringen är relaterad till vikten efter 3 cykler.

Klimat→	65 % RF, 20 °C			80 % RF, 5 °C			95 % RF, 20 °C		
Cykler→	7	12	15	7	12	15	7	12	15
A-O	+0.13	+0.17	+0.23	+0.10	+0.10	+0.11	-0.11	-0.17	-0.20
A-H	+0.02	-0.01	0.00	-0.07	-0.10	-0.12	-0.17	-0.24	-0.29
D-O	-17.5	-35.5	--	-5.00	-20.0	--	-0.21	-0.43	-0.48
D-H	-32.9	--	--	-28.6	--	--	-0.21	-0.77	-1.23
E-O	+0.04	+0.01	-0.02	+0.02	-0.05	-0.09	-0.13	-0.22	-0.28
E-H	-0.04	-0.24	-0.55	-0.08	-0.23	-0.33	-0.19	-0.32	-0.44
F-O	+0.15	+0.25	+0.33	+0.11	+0.16	+0.17	-0.08	-0.13	-0.15
F-H	0.00	-0.60	-1.51	+0.09	-0.18	-0.60	-0.12	-0.24	-0.31

Anm: -- innebär att proverna var helt sönder.

9.2.3 Kommentarer och diskussion

Frostprovningarna och saltvittringstesterna visar samma tendens, nämligen att

- ett icke sugande underlag ger en sämre puts.

- de två kalkputserna uppvisar stora skillnader, D-putsen fryser sönder mycket snabbt, medan F-putsen klarar sig relativt bra.

- Kalkputs härdad i 65 % RF har i allmänhet sämst frostbeständighet.

Resultaten från frostprovningen och saltvittringstesten jämförs i FIG. 9.2.3:1. I denna figur är samhörande värden enligt TAB. 8.2:1 (vid 12-månadsprovningen) och enligt TAB. 9.2.2:1 (efter 15 cykler) inprickade. Sambandet är mycket entydigt. Klarar proverna många saltvittringscykler utan viktsminskning, så klarar de också frysprovningen bra. Vid 4 saltvittringscykler finns en klar gräns. Det är helt uppenbart att ett prov som inte klarar mer än 3 saltvittringscykler har en alltför dålig beständighet. Ett prov som å andra sidan klarar mer än 5 saltvittringscykler torde däremot kunna anses ha en hyfsad beständighet.

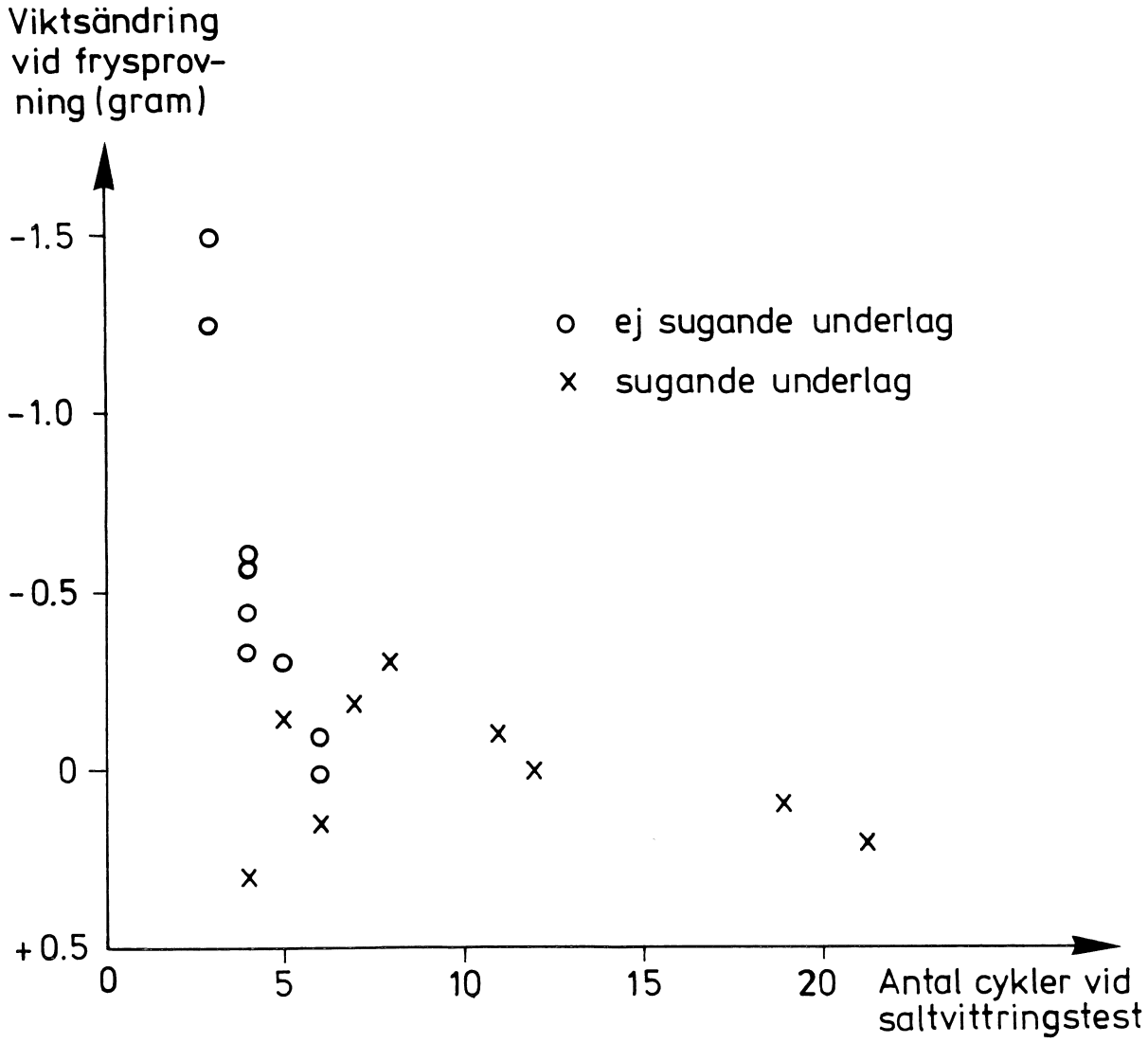


FIG. 9.2.3:1. Samhörande värden från saltvittrings- och frosttesterna.

10 SLUTSATSER

I inledningen diskuterades svårigheten att definiera begreppet putskvalitet. Genom att göra en samlad bedömning av samtliga mätningar kan dock vissa generella slutsatser dras beträffande kvaliteten hos olika putser. I synnerhet kan man bedöma hur olika faktorer inverkar på putskvaliteten. I vissa fall blir en sådan bedömning helt entydig. I andra fall visar de olika mätningarna inte samma entydiga resultat. Då uppstår naturligtvis frågan om vilka egenskaper som är mest väsentliga för putskvaliteten. I det följande diskuteras först hur putsens kvalitet påverkas av olika faktorer (bindemedelstyp, putsunderlag, härdningsklimat och härdningstid). Därefter ges några allmänna reflexioner.

10.1 Olika faktorers inverkan på putskvaliteten

Bindemedelstypen har, vilket är känt sedan länge, en avgörande betydelse för putskvaliteten. De hydrauliska putserna är klart överlägsna de rena kalkputserna. Detta framgår av samtliga mätningar. Detta resultat är på intet sätt förvånande. De båda luftkalkbruken uppvisar däremot en förvånansvärt stor skillnad i egenskaper. Både saltvittrings- och frosttesterna visar att det ena kalkbruket har en oacceptabelt dålig kvalitet. Det andra kalkbruket kan dock under gynnsamma förhållanden få en hyfsad kvalitet. Ofta anses att putsens lufthalt är avgörande för beständigheten. Mätningarna tyder dock på att så inte är fallet. Det sämsta bruket hade en lufthalt 17 % medan det bästa bruket hade lufthalten 12 %. Porernas storlek och fördelning torde ha en större betydelse än porvolymens absolutbelopp. En annan skillnad mellan kalkbruken är att det bästa bruket hade en ballast innehållande dolomit, medan det andra bruket hade ballast av vanlig sand.

Någon entydig förklaring till den stora skillnaden mellan kalkbruken går inte att ge. Den stora skillnaden mellan olika torrbruksfabrikat är dock en faktor som måste uppmärksammas vid bedömningen av skador i samband med kalkputser.

Putsunderlagets sugförmåga vid putsappliceringen har mycket stor betydelse för putsens kvalitet. Ett underlag utan någon vattensugningsförmåga ger en puts med väsentligt sämre kvalitet, än ett underlag som förmår suga bort brukets överskottsvatten innan bruket börjar härda. Orsaken till detta är sannolikt att om putsen får hårdna med överskottsvatten bildas ett "extra" porsystem, som medför en försvagning av putsen. I absoluta siffror ökar inte porvolymen nämnvärt. Porstrukturen hos detta "extra" porsystem kan däremot vara ogynnsam. Ovanstående innebär att putskvaliteten grundläggs i samma ögonblick som putsen appliceras. Finns inte förutsättningarna för en god kvalitet då, kan inte putskvaliteten förbättras i någon väsentlig utsträckning senare!

Inverkan av underlagets sugförmåga är så stor, att en puts som normalt anses ha en god beständighet, kan bli sämre än en puts som normalt anses ha relativt dålig beständighet. Ett exempel på detta är hydrauliskt kalkbruk jämfört med vanligt kalkbruk. Normalt har det hydrauliska kalkbruket en bättre beständighet. Om det hydrauliska kalkbruket appliceras på ett icke sugande underlag, medan det vanliga kalkbruket appliceras på ett sugande underlag kan förhållandet bli det omvända. Samma sak kan mycket väl gälla ett kalkcementbruk med ringa cementhalt.

Härdningsklimatets inverkan på putskvaliteten varierar med bindemedelstypen. För de hydrauliska bruken är skillnaden mellan 65 och 95 % RF relativt liten. För luftkalkbruken finns däremot en klar skillnad. Härdning vid 95 % RF gav en väsentligt bättre puts, både med avseende på hållfasthet och vittringsbeständighet. Detta strider delvis mot gängse uppfattning, vilken menar att 65 - 75 % RF är optimalt. Enligt kapitel 5 sker initialkarbonatiseringen snabbast i 65 % RF. Den fullständiga karbonatiseringen sker däremot snabbast i 95 % RF. Det är dessutom tveksamt om någon fullständig karbonatisering sker i 65 % RF.

Härdningstidens inverkan på putskvaliteten är inte entydig. Hållfastheten visar i samtliga fall en klar ökning med ökande härdningstid. Vittringsbeständigheten förbättras däremot inte

med ökande härdningstid. (I vittringstesterna var dock härdningstiderna alltid längre än tiden för initialkarbonatiseringen.) Detta tyder på att det är tillräckligt för en kalkputs att initialkarbonatiseringen skett, innan putsen får utsättas för nedbrytande krafter. Någon förbättring härefter är inte att förvänta. Att initialkarbonatiseringen är en förutsättning för en rimlig beständighet mot frostangrepp framgår klart av avsnitt 9.1.

En grov bedömning av erforderlig härdningstid för en kalkputs visar att det krävs minst en månad under gynnsamma betingelser, innan putsen får frysa. Under ogynnsamma betingelser, till exempel sent på hösten och ett blött underlag, finns det överhuvudtaget inga förutsättningar för att putsen skall få en acceptabel kvalitet innan den första vintern. Dessutom är det tveksamt om den någon gång kan få en tillräcklig kvalitet, eftersom härdningen sker med ett vattenöverskott i bruket.

För en kalkcementputs torde en veckas härdningstid under gynnsamma betingelser vara tillräckligt.

10.2 Allmänna reflexioner

Ofta hävdas att en kalkputs blir bättre och bättre med ökande ålder. Enligt mätningarna ökar hållfastheten kraftigt under det första året. Det finns även ett klart samband mellan hållfasthet och den slutliga genomkarbonatiseringen. I vissa fall har hållfastheten mer än fördubblats mellan en månad och ett år. Under samma tid har i allmänhet putsens slutliga karbonatisering skett, främst vid 95 % RF. Någon motsvarande förbättring av vittringsbeständigheten har dock inte skett. Detta indikerar att hållfastheten inte är något bra mått på putsens kvalitet. Vid jämförelser mellan olika putser, vid lika härdningstid, finns dock ett samband mellan hållfasthet och vittringsbeständighet.

Inte heller lufthalten i det färska bruket verkar vara något bra mått på putsens förmåga att motstå frostangrepp. Kalk-

putsen med den sämsta beständigheten hade högst lufthalt! Putsens porstruktur, när putsen finns på plats på väggen, torde vara viktigare.

Det för närvarande bästa sättet att bedöma putskvaliteten synes vara renodlade vittringstester. Om man väljer frost- eller saltvittringstester är en smaksak. Saltvittringstesten ger ett snabbt utslag, men kan vara svår att bedöma. Eventuella framtida studier bör kombineras med en uppföljning av fullskaleobjekt, för att få ett bättre bedömningsunderlag vid laboratorieprovningarna. Härigenom kan eventuellt exakta siffror anges, på vilka gränser som skall gälla, för att en puts skall kunna anses vara beständig.

Underlagets avgörande betydelse för putskvaliteten måste betonas mycket starkt. Tar man inte hänsyn till detta kan slutresultatet bli mycket dåligt. Ett vardagligt exempel på detta är användandet av ett rent luftkalkbruk på ett icke sugande underlag, till exempel en stenkyrka. I detta fall kan det vara nödvändigt att först grunda med ett hydrauliskt bruk, som sedan får fungera som ett sugande underlag till en vanlig kalkputs. Det hydrauliska bruket kommer då att få en sämre kvalitet än vid sugande underlag. Kvaliteten behöver dock inte vara sämre än kvaliteten hos ett rent kalkbruk på ett sugande underlag under gynnsamma betingelser. Lite tillspetsat kan man säga att ett hydrauliskt bruk, använt under ogynnsamma förhållanden, kan få samma kvalitet som ett luftkalkbruk, som används under gynnsamma förhållanden. Jämförs bruken A-H och F-O (KC 50/50/650 och K 100/900) inses lätt att detta gäller både med avseende på mekaniska egenskaper och vittringsbeständighet.

Användandet av kalkbruk på blöta underlag under hösten måste bedömas som i högsta grad betänkligt. Ett rent kalkbruk får då en så dålig kvalitet att det inte finns några större förutsättningar för ett godtagbart resultat. Ett hydrauliskt bruk kan däremot under dessa betingelser få en acceptabel kvalitet. Kvaliteten kan dock inte jämföras med den som erhålles under ideala förhållanden.

LITTERATUR

Dührkop,H, Saretok,V, Sneck,T, och Svendsen, S D, 1966, Bruk-murning-putsning. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm.

Hindersson,G, 1958, Kalk- och kalkcementbruk. (Statens nämnd för byggnadsforskning.) Rapport 46. Stockholm.

Price,C A, 1978, The use of the sodium sulphate crystallisation test for determining the weathering resistance of untreated stone. (International symposium, Deterioration and protection of stone monuments.) Paris.

Sandin,K, 1983, Puts- och ytskiktsproblem. (Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola.) Rapport TVBM-3013. Lund.

Sandin,K, 1984, Putsade fasader. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R88:1984. Stockholm.

Vinkeloe,R, 1962, Prüfverfahren zur Ermittlung des dynamischen Elastizitätsmoduls von Betonprismen. Tonindustri Zeitung 86 (1962) Hefte 10.