LUND UNIVERSITY

Beständighet och åldring hos fogmassor

Burström, Per Gunnar

1976

Link to publication

Citation for published version (APA):
Burström, P. G. (1976). *Beständighet och åldring hos fogmassor*. (Rapport TVBM; Vol. 3001). 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

Download date: 19. Dec. 2025

INSTITUTIONEN FÖR BYGGNADSTEKNIK
TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
DIVISION OF BUILDING TECHNOLOGY
THE LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY

BESTÄNDIGHET OCH ÅLDRING HOS FOGMASSOR

DURABILITY AND AGEING OF SEALANTS

PER GUNNAR BURSTRÖM

RAPPORT TVBM-3001
LUND SWEDEN 1976

CODEN: LUTVDG/(TVBM-3001)/1-116/(1976)

BESTÄNDIGHET OCH ÅLDRING HOS FOGMASSOR

DURABILITY AND AGEING OF SEALANTS

PER GUNNAR BURSTRÖM

DENNA RAPPORT HÄNFÖR SIG TILL PROJEKTNUMMER 730221-4 FRÅN STATENS RÅD FÖR BYGGNADSFORSKNING, TILL AVDELNING BYGGNADSMATERIALLÄRA, LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA.

FÖRORD

Detta forskningsprojekt har till stor del finansierats genom anslag från Statens råd för byggnadsforskning till avdelningen för byggnadsmateriallära, Lunds tekniska högskola. Rapporten behandlar de grundläggande åldringsfaktorernas inverkan på ett antal vanliga typer av fogmassor. Med utgångspunkt från förändringar av fogmassornas deformationsegenskaper, väsentligen arbetskurvan bestämd under noga angivna betingelser, kvantifieras åldringsfaktorernas inverkan på respektive fogmassa. Dessa resultat korreleras med värden som erhållits efter utomhusexponering av fogmassor vid samtidig klimatisk och mekanisk (växlande fogrörelser) påkänning. I några fall skisseras också samband mellan de accelererade åldringsmetoderna och den naturliga åldringens effekt.

Förhoppningen är att vissa av resultaten skall kunna vara till hjälp vid val av fogmassa, vid utarbetandet av lämpliga accelererade åldringsmetoder samt vid formulering av nya produkter.

Jag vill passa på att tacka alla vid avdelning byggnadsmateriallära, LTH, som under projektets gång på olika sätt deltagit i genomförandet av projektet. Till alla dessa riktar jag ett varmt tack.

Ett tack riktas också till alla de materialtillverkare, som välvilligt ställt försöksmaterial till förfogande. Tack också till Trelleborgs gummifabriks AB för hjälp med ozonprovningarna.

Lund i juli 1976

Per Gunnar Burström

INNEHÅLL SID

1	BAKGRUND	8
2	MÅLSÄTTNING	8
3	ÅLDRINGSFRAMKALLANDE FAKTORER	9
3.1	Temperatur	9
3.2	Fukt	10
3.3	Ultraviolett strålning	11
3.4	Ozon	11
3.5	Kombinerad påverkan	12
4	FÖRSÖKSUPPLÄGGNING	12
4.1	Val av fogmassa	12
4.2	Val av påverkande faktorer	15
4.3	Val av kvantifieringsmetoder	17
4.4	Val av provkroppsform	22
4.5	Utomhusförsök	26
4.5.1	Beskrivning av utrustning för utomhusexponering av provfogar	26
5	FÖRSÖKSPLAN	30
5.1	Temperaturpåverkan	30
5.2	Fukt- och alkalipåverkan	32
5.3	Påverkan av ultraviolett strålning	32
5.4	Ozonpåverkan	32
5.5	Utomhusförsök	34
5.6	Mätning av krympspänningar	35
6	FÖRSÖKSRESULTAT	36
6.1	Allmänt	36
6.2	Temperaturpåverkan	38

6.2.1 Material 1 40
6.2.2 Material 2 43
6.2.3 Material 3 43
6.2.4 Material 4 48
6.2.5 Material 5 48
6.2.6 Material 6 52
6.2.7 Material 7 54
6.2.8 Material 8 59

6.3 Fukt- och alkalipåverkan 65
6.3.1 Material 1 66
6.3.2 Material 2 66
6.3.3 Material 3 66
6.3.4 Material 4 70
6.3.5 Material 5 70
6.3.6 Material 6 70
6.3.7 Material 7 72
6.3.8 Material 8 72

6.4 Påverkan av ultraviolett strålning 72
6.4.1 Material 1 74
6.4.2 Material 2 74
6.4.3 Material 3 74
6.4.4 Material 4 74
6.4.5 Material 5 74
6.4.6 Material 6 76
6.4.7 Material 7 76
6.4.8 Material 8 76

6.5 Ozonpåverkan 76
6.5.1 Material 1 79

6.5.2 Material 2 79

6.5.3 Material 3 83

6.5.4 Material 4 83

6.5.5 Material 7 83

6.6 Utomhusexponering av provfogar 83

6.6.1 Registrering av fogbreddsvariationer 84

6.6.2 Temperaturer i olikfärgade fogmassor vid utomhusexponering 91

6.6.3 Arbetskurvor för Material 1 94

6.6.4 Arbetskurvor för Material 2 94

6.6.5 Arbetskurvor för Material 3 97

6.6.6 Arbetskurvor för Material 4 99

6.6.7 Arbetskurvor för Material 5 99

6.6.8 Arbetskurvor för Material 6 99

6.6.9 Arbetskurvor för Material 7 101

6.6.10 Arbetskurvor för Material 8 103

6.7 Bestämning av vikt- och volymminskning vid lagring i olika klimat 105

6.8 Bestämning av krympspänningar 113

LITTERATUR 115

SAMMANFATTNING

Denna rapport behandlar olika grundläggande åldringspåverkande faktorers inverkan på huvudsakligen fogmassors deformationsegenskaper. Faktorernas inverkan har specifikt studerats på åtta olika, vanliga typer av fogmassor. De åldringspåverkande faktorer som undersökts är temperatur, fukt, alkali, UV-ljus och ozon. Dessutom har inverkan av naturlig åldring, d v s påverkan av naturligt klimat i kombination med påtvingade fogbreddsvariationer studerats.

Den åldringsframkallande faktor som befunnits ha det avgjort största inflytandet på fogmassornas deformationsegenskaper är temperaturen. Man kan dock samtidigt konstatera att värmelagringen slår mycket olika från material till material. Att därför t ex kunna ange ett generellt samband mellan accelererad åldring i värme och naturlig åldring för olika typer av fogmassor är omöjligt. För ett par av fogmassorna skisseras dock i rapporten samband mellan accelererad värmeåldring och naturlig åldring.

Bakgrund

Den övervägande delen av fogmassor används i ytterväggsfasader. T ex mellan betongelement, mellan fönsterkarm och vägg, i dilatationsfogar, vid glasning osv. Detta innebär att fogmassorna utsätts för stora klimatiska påfrestningar. Framför allt den i Sverige mycket vanliga enstegsfogens effektivitet är helt beroende av fogmassans egenskaper, dess förmåga att följa fogrörelsen utan att permanenta deformationer uppstår och att kunna bibehålla denna egenskap även under inverkan av omgivande miljö.

På grund av bl a fogmassornas organiska uppbyggnad sker dock med tiden vissa förändringar i materialet, materialet åldras. Omfattningen är till stor del beroende av omgivande miljö men också typen av fogmassa spelar in då vissa

polymerer är mer resistenta än andra. För närvarande är dock kunskaperna om fogmassornas åldringsegenskaper mycket begränsade. Detta medför att materialvalet ofta blir mycket slumpartat, varför man ibland efter relativt kort tid kan ställas inför svåra och dyrbara omfogningar. Problem uppstår också vid utveckling av nya material då bedömningar skall göras av det nya materialets beständighet och livslängd.

Syfte

Målsättningen med projektet har varit att försöka klarlägga hur vissa renodlade åldringsframkallande faktorer påverkar framför allt deformationsegenskaperna hos olika typer av fogmassor. Därefter har avsikten varit att kombinera vissa av dessa faktorer för att utröna en eventuell samverkan. I förlängningen av detta har naturligtvis tanken legat att korrelera dessa resultat med de erfarenheter som finns samlade från praktiken.

Resultaten från undersökningen skall förhoppningsvis medverka till att man skall kunna

- göra materialvalet säkrare
- göra uppskattning av livslängden
- skapa vettiga provningsmetoder
- underlätta formuleringen av produkterna.

Utförande

Inverkan av de åldringsframkallande faktorerna temperatur, fukt, alkali, UV-ljus och ozon har studerats på åtta olika typer av fogmassor. Dessa är två olika polysulfidbaserade fogmassor (mjuk respektive hård kvalitet), två olika polyuretanbaserade fogmassor (1- respektive 2-komponent), två olika lösningsmedelsbaserade akrylatfogmassor, en vattendispergerad akrylatfogmassa och en oljebaserad fogmassa.

Med utgångspunkt från förändringar av fogmassornas defor-

mationsegenskaper, väsentligen arbetskurvan bestämd under noga kontrollerade betingelser, har åldringsfaktorernas inverkan på respektive fogmassa kvantifierats. Dessa resultat har korrelerats med värden som erhållits efter utomhusexponering av fogmassor vid samtidig klimatisk och mekanisk (växlande fogrörelser) påkänning.

För att kvantifiera förändringar i materialen har, förutom bestämning av arbetskurvan, också bestämningar gjorts av vikt- och volymminskning under inverkan av olika klimat. Även fotografering och i någon mån svepelektronmikroskopi har använts. Hårdhetsförändringar har dessutom rutinmässigt bestämts med hårdhetsmätare med gradering i ^{o}Shore A.

Resultat

Den åldringspåverkande faktor som befunnits ha det största inflytandet på fogmassornas deformationsegenskaper är temperaturen. En värmeåldring i +40 - +70°C ökar i allmänhet fogmassornas deformationsmotstånd högst väsentligt. Man kan dock samtidigt konstatera att värmelagringen slår mycket olika från material till material. Sålunda minskar (!) deformationsmotståndet för den mjuka polysulfidbaserade fogmassan som värmeåldrats i +70°C. Erfarenheten hittills har annars varit att värmeåldringen medför en hårdhetsökning av polysulfidbaserade fogmassor. För de flesta andra typerna av fogmassor har dock värmeåldringen i allmänhet givit en kraftig hårdhetsökning, vilket också relativt väl stämmer överens med vad som sker vid åldring i naturligt klimat. Ökningens storlek är dock i hög grad avhängig av materialets typ. Att därför t ex kunna ange ett generellt samband mellan accelererad åldring i värme och naturlig åldring för olika typer av fogmassor är helt omöjligt.

För de material där värmeåldringens effekt klart dominerar över effekter av övriga åldringspåverkande faktorer har dock vissa samband kunnat påvisas. I fig 1 visas för

den polyuretanbaserade fogmassan (1-komponent) dragspänningen vid 50% töjning som funktion av tiden vid lagring i olika klimat. Genom att jämföra hur arbetskurvan för samma material förändras vid utomhusexponering (fig 2) fås ett samband mellan tiden i värme och tiden för utomhuslagring. Fig 2 visar t ex att σ_{50} för det under 7 månader utomhusexponerade materialet svarar mot σ_{50} för det under ca 10 dygn i +70°C värmeåldrade materialet (fig 1). Detta innebär att för denna polyuretanbaserade fogmassa gäller att värmeåldringen i +70°C ger ung 20 gånger så snabb hårdhetsökning som utomhusexponering ger.

För den oljebaserade fogmassan, vars förmåga att fylla sin tätande funktion väsentligen beror på skinnets egenskaper (seghet och tillväxthastighet), har undersökningen visat god korrelation mellan skinnets tillväxthastighet i klimatet +20°C/50% RF och utomhusklimat (fig 3). Genom att jämföra skinnbildningshastigheten i +70°C med kurvan i fig 3 fås att värmeåldringen ökar hastigheten med ungefär en faktor 22.

Fukt- och alkalilagring påverkar på samma sätt deformationsegenskaperna i olika hög grad. Variationerna är dock mindre än vad som gäller för värmeåldringen. För material som normalt härdar under inverkan av luftfuktigheten ger dock denna åldring en markant ökning av hårdheten. För de övervägande plastiska fogmassorna, som ingått i undersökningen, gäller dock att dessa i allmänhet absorberar vatten med en uppmjukning som resultat. Om vattnet får avdunsta kan detta också ha medfört att fukt- och alkalilagringen givit en hårdhetsökning p g a urlakning av vissa ämnen.

UV-ljus ger enbart en "ytlig" påverkan på fogmassorna. Den effekt som uppstår kan t ex vara en krackelering och försprödning av ytan, en veckbildning eller färgförändring. Vid utomhusexponering av provfogar har dock i en del fall konstaterats en mer djupgående sprickbildning. Denna har sin grund i UV-ljusets påverkan tillsammans med påtvingade

deformationsändringar. Effekten kan också iakttagas på material i verkliga konstruktioner. Det var huvudsakligen den mjuka polysulfidbaserade fogmassan som uppvisade denna påverkan.

Ozon har enbart påverkat de båda polysulfidbaserade fogmassorna. Förutsättningen för ozonangrepp är dessutom att materialen förvaras töjda, d v s under spänning. De angrepp som uppstått är en karakteristisk sprickbildning orienterad vinkelrätt mot dragspänningsriktningen.

Utomhusexponeringen av provfogar och resultat erhållna från mätningar av spänningsrelaxationens storlek tyder på att de båda "elastiska" polysulfidbaserade fogmassorna fungerar som plastiska material för årsperiodiska fogrörelser och som huvudsakligen elastiska material för dygnsperiodiska fogrörelser! De båda övriga "elastiska" fogmassorna, 1- respektive 2-komponent polyuretanbaserade, fungerar väsentligen elastiskt både vad gäller års- och dygnsvarierande fogbreddsvariationer.

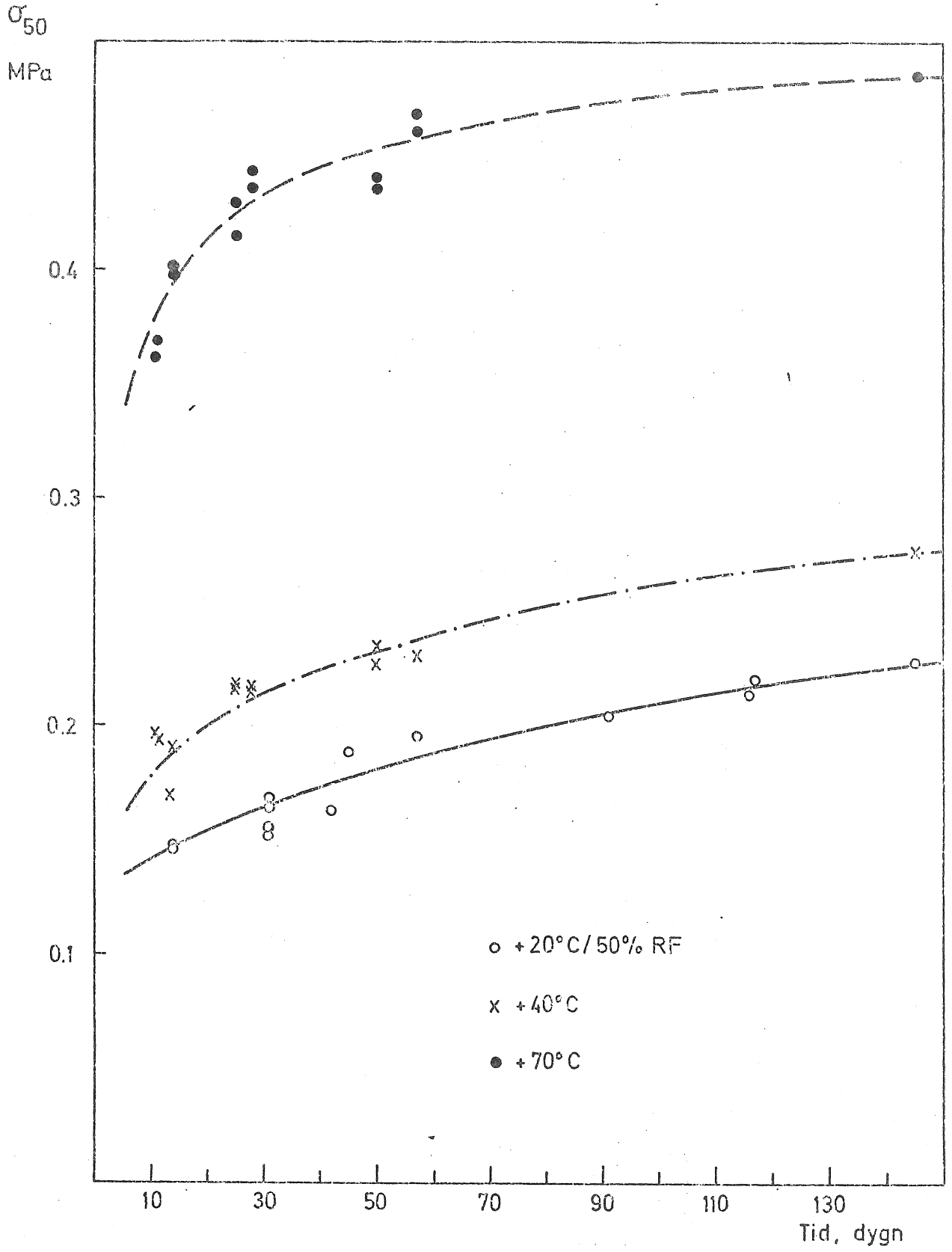


FIG 1 Dragspänning vid 50% töjning (= σ_{50}) för "Material 3" som funktion av lagringstid i olika temperaturer. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

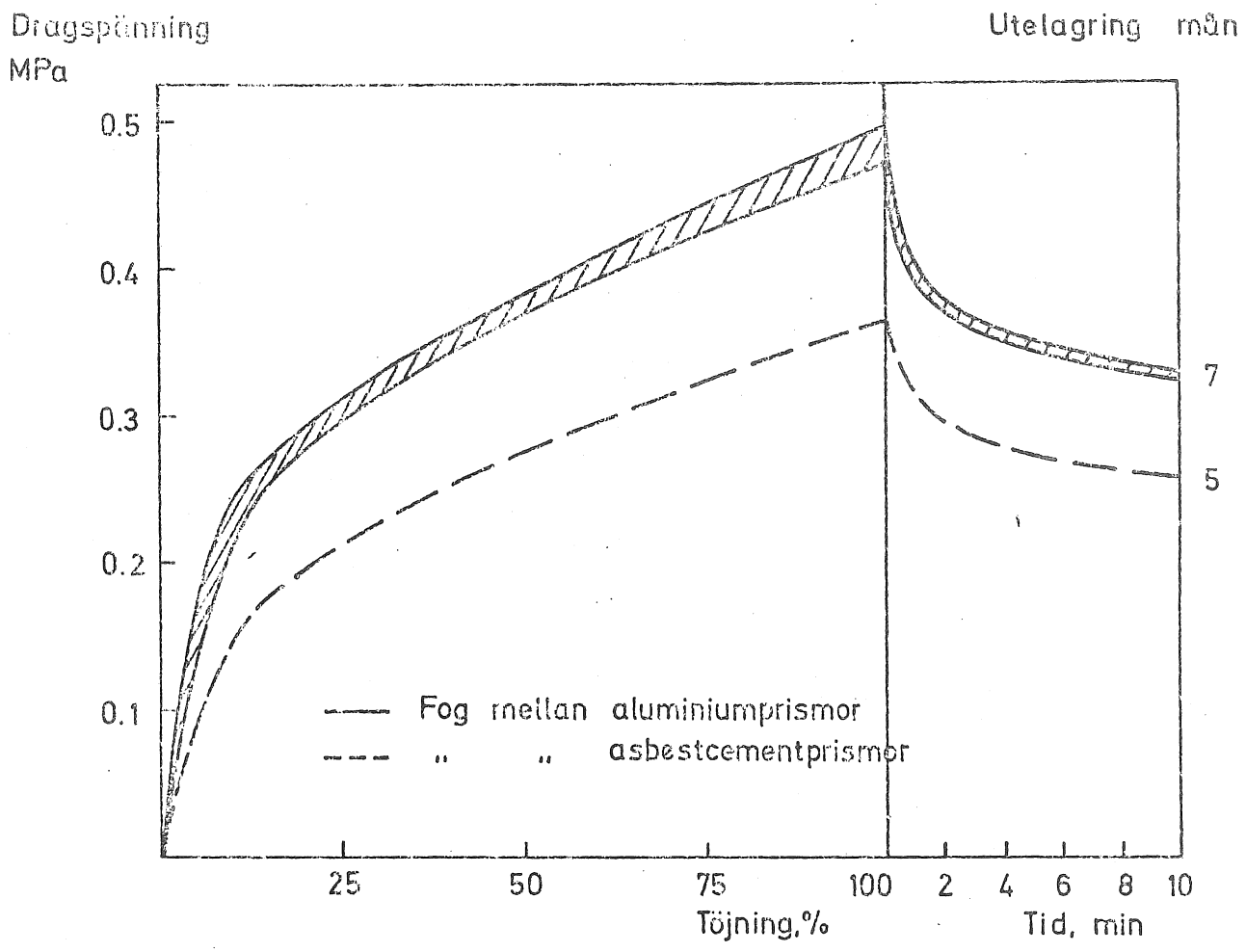


FIG 2 Arbetskurvor för "Material 3" efter olika lång tids utomhusexponering. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

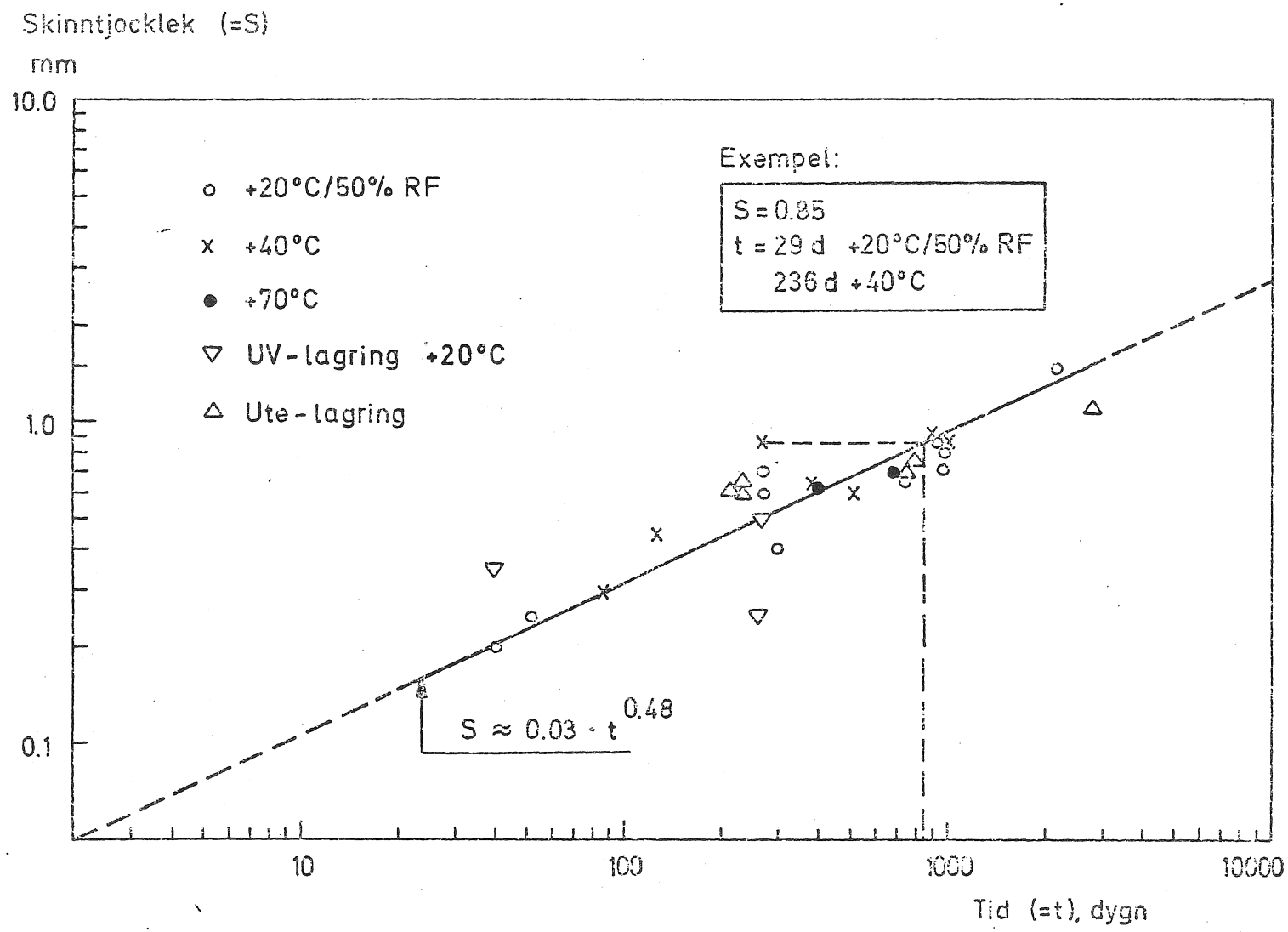


FIG 3 Skinntjockleken som funktion av lagringstiden i +20°C/50% RF för "Material 8". Beräkning av ekvivalent lagringstid i +20°C/50% RF för material lagrat i +40°C eller +70°C.

1. BAKGRUND

Beständighetsproblematiken hos byggnadsmaterial i allmänhet är av mycket komplex natur och materialgruppen fogmassor utgör sannerligen inget undantag.

Trots att beständighetsproblem finns och har funnits så länge som fogmassor har använts så har problemet i mycket liten omfattning avhandlats i litteraturen. Det är först på senare tid som en del rapporter i detta ämne har börjat publiceras, se t ex Lerchenthal (1972) och Künzel (1975) och Grunau (1976).

Den övervägande delen av fogmassor används i ytterväggsfasader. T ex mellan betongelement, mellan fönsterkarm och vägg, i dilatationsfogar, vid glasning o s v. Detta innebär att fogmassorna utsätts för mycket stora klimatiska påfrestningar. Framför allt den i Sverige mycket vanliga enstegsfogens effektivitet är helt beroende av fogmassans egenskaper, dess förmåga att följa fogrörelsen utan att permanenta deformationer uppstår och att kunna bibehålla denna egenskap även under inverkan av omgivande miljö. På grund av bl a fogmassans organiska uppbyggnad sker dock med tiden vissa förändringar i materialet, materialet åldras. Omfattningen är till stor del beroende av omgivande miljö men också typen av fogmassa spelar in, då vissa polymerer är mer resistenta än andra.

Dock är f n kunskaperna om fogmassornas åldringsegenskaper mycket begränsade: "Med hänsyn till att kunskaperna om fogmassors åldringsegenskaper är mycket begränsade, bör man vid projekteringen söka underlätta en framtida omfogning" (Hus AMA 72).

2. MÅLSÄTTNING

Målsättningen med detta projekt har ej varit att uttömmande ge svar på alla de frågor man kan tänkas ha

beträffande fogmassors beständighets- och åldrings-egenskaper. Därtill är problemställningen alltför omfattande och komplex.

Målet har i stället varit att försöka klarlägga hur vissa renodlade åldringsframkallande faktorer påverkar framför allt deformationsegenskaperna hos olika typer av fogmassor. Därefter har avsikten varit att kombinera vissa av dessa faktorer för att utröna en eventuell samverkan. I förlängningen av detta har naturligtvis tanken legat att korrelera dessa resultat med de erfarenheter som finns samlade från praktiken.

Resultaten från undersökningen skall förhoppningsvis medverka till att man skall kunna

- göra materialvalet säkrare
- göra uppskattning av livslängden
- skapa vettiga provningsmetoder
- underlätta formuleringen av produkterna.

3. ÅLDRINGSFRAMKALLANDE FAKTORER

De klimatiska faktorer som framför allt påverkar fogmassorna är temperatur, fukt, UV-ljus och ozon.

Om man vill vara mer generell kan man tala om miljöfaktorer. Då tillkommer ibland faktorn alkali, t ex vid fogning mot betong eller puts. Även mekanisk åldring kan räknas hit, d v s den effekt som upprepade töjande och komprimerande fogrörelser har på fogmassan.

En miljöfaktor som i framtiden dessutom kan komma att spela en allt större roll i detta sammanhang är den ökande försurningen av atmosfären.

3.1 Temperatur

Låg temperatur påverkar i allmänhet polymera material

endast på så sätt att de blir mer eller mindre spröda. Materialet återtar dock sina egenskaper när temperaturen återgår till den normala. Den ökande sprödheten vid låg temperatur kan emellertid vara ödesdiger om materialet i detta tillstånd utsätts för stora deformationer. För fogmassor t ex gäller ju att kraven på töjbarhet är störst vid den låga temperaturen eftersom fogen då har sin största bredd.

Värme kan i princip påverka fogmassor på två olika sätt:

1. Vid en höjning av temperaturen ökar hastigheten hos kemiska processer. Grovt räknat brukar man ange en fördubbling av reaktionshastigheten vid en höjning av temperaturen med 10°C. Hos fogmassor kan dessa processer t ex vara brytning av bindningar och molekylkedjor, omlagringar i molekylkedjorna, skapande av tvärbindningar mellan kedjorna.

2. Många fogmassor innehåller mjukgörare, som används för att modifiera materialets hårdhet. Vissa typer av mjukgörare förflyktigas vid förhöjd temperatur innebärande att mjukgöraren diffunderar ut ur fogmassan. En hel del fogmassor innehåller också lösningsmedel för att underlätta appliceringen. Den omgivande temperaturen bestämmer då naturligtvis hur snabbt lösningsmedlet bortgår.

De väsentligaste effekterna av värmepåverkan är på kort sikt att materialet mjuknar, på lång sikt att materialet blir hårdare och sprödare, brottöjningen minskar.

3.2 Fukt

Fukt eller vatten leder för vissa polymera material till hydrolys, som kan definieras som en kemisk reaktion i vilken en molekyl eller jon omvandlas till två eller flera molekyler eller joner genom reaktion med vatten.

En långvarig fuktbelastning kan också leda till en urlakning av vissa komponenter i det polymera materialet. Vatten kan också medföra en svällning av materialet innebärande att andra former av angrepp lättare kan äga rum.

Om vattnet dessutom, som många gånger i samband med betongkonstruktioner, innehåller kalciumhydroxid kan för vissa typer av fogmassor svåra angrepp ske genom förtvålning av materialet.

3.3 Ultraviolett strålning

Det är sedan länge känt att den kortvågiga delen av solspektrat (ultraviolett och röntgenstrålning) åstadkommer fotokemiska reaktioner i organiska material. Fig 1 visar energin per foton i solljuset som funktion av våglängden. I figuren visas också dissociationsenergin per bindning för några av de vanligast förekommande bindningarna i organiska material. Som synes är det en rad bindningstyper som kan brytas av UV-ljuset.

Hos polymera material orsakar solljuset oxidation i ytskiktet. Därvid bildas en "hud" med starkt minskad brottöjning. Den bildade huden spricker så småningom i ett oregelbundet mönster, s k krackelering.

3.4 Ozon

Ozon förekommer normalt i mycket liten koncentration i atmosfären, men tillräckligt hög för att ibland orsaka angrepp.

Bildandet av ozon sker i den övre atmosfären genom fotokemiska reaktioner med syre. Syre (O_2) överföres genom inverkan av den ultravioletta strålningen från solen till ozon (O_3). Ozonhalten anges i pphm = an-

talet delar ozon per hundra miljoner delar luft. I Sverige är ozonhalten normalt av nivån 2 - 3 pphm. Generellt gäller att den genomsnittliga ozonkoncentrationen är lägst på vintern, ökar på våren, når sitt maximum på försommaren för att sedan åter sjunka.

Ozon är en mycket reaktiv gas och bryts därför snabbt ner till syrgas vid kontakt med organiska ämnen. Vid detta förlopp är det dubbelbindningarna i de omättade gummityperna som angrips och bryts ner. Dessa reaktioner sker i gummits yta varvid en karaktäristisk sprickbildning uppkommer. Denna uppstår dock endast om gummidetaljen är utsatt för töjning. Som regel gäller att ju större töjningsgraden är desto större angrepp erhålles. Ozonangreppet sker i ljus som i mörker.

3.5 Kombinerad påverkan

Åldringen är ofta en synergistisk effekt, innebärande att effekten av de olika åldringsfaktorerna starkt förstoras om faktorerna samverkar. Detta försvårar naturligtvis bedömningen av olika materials livslängd.

Det är helt uppenbart att värme spelar en mycket stor roll tillsammans med övriga åldringsframkallande faktorer. Samma förhållande gäller för fukt.

De upprepade deformationer som en fogmassa utsätts för i samverkan med andra faktorer spelar naturligtvis också en väsentlig roll för en fogmassas nedbrytning.

4. FÖRSÖKSUPPLÄGGNING

4.1 Val av fogmassa

Vid urvalet av de olika typer av fogmassor som skulle ingå i undersökningen har avsikten varit att få med

så stor del som möjligt av de vid försökens start vanliga typerna på marknaden. Samtidigt har intentionen också varit, att material som vid försökens start var relativt små på marknaden men som i framtiden bedömdes växa, också borde ingå i undersökningen. Sålunda har t ex två olika polyuretanbaserade fogmassor och en dispersionsbaserad akrylatfogmassa ingått i undersökningen.

Vidare har också eftersträvats att jämförelser skall kunna göras mellan fogmassor av samma typ (= ung samma bindemedel) men av olika formuleringar.

Det slutliga urvalet av material har skett i samråd med AG 3 inom Sveriges Plastförbund där de flesta och största fogmassetillverkarna i Sverige finns representerade.

I tabell 1 redovisas de i undersökningen ingående typerna av fogmassor. Indelningsgrunden har här varit det ingående bindemedlet.

Tabell 1. I undersökningen ingående typer av fogmassor.

Nr	Bindemedelstyp	Antal komp.	Anmärkning
1	POLYSULFID	2	Hårdhet ∿ 13° Shore A
2	POLYSULFID	2	Hårdhet ∿ 40° Shore A
3	POLYURETAN	1	Hårdhet ∿ 25° Shore A
4	∿POLYURETAN	2	Hårdhet ∿ 18° Shore A
5	AKRYLAT	1	Lösningsmedelsbaserad
6	AKRYLAT	1	Lösningsmedelsbaserad
7	AKRYLAT	1	Dispersionsbaserad. Hårdhet ∿ 15° Shore A
8	OLJEBASERAD	1	

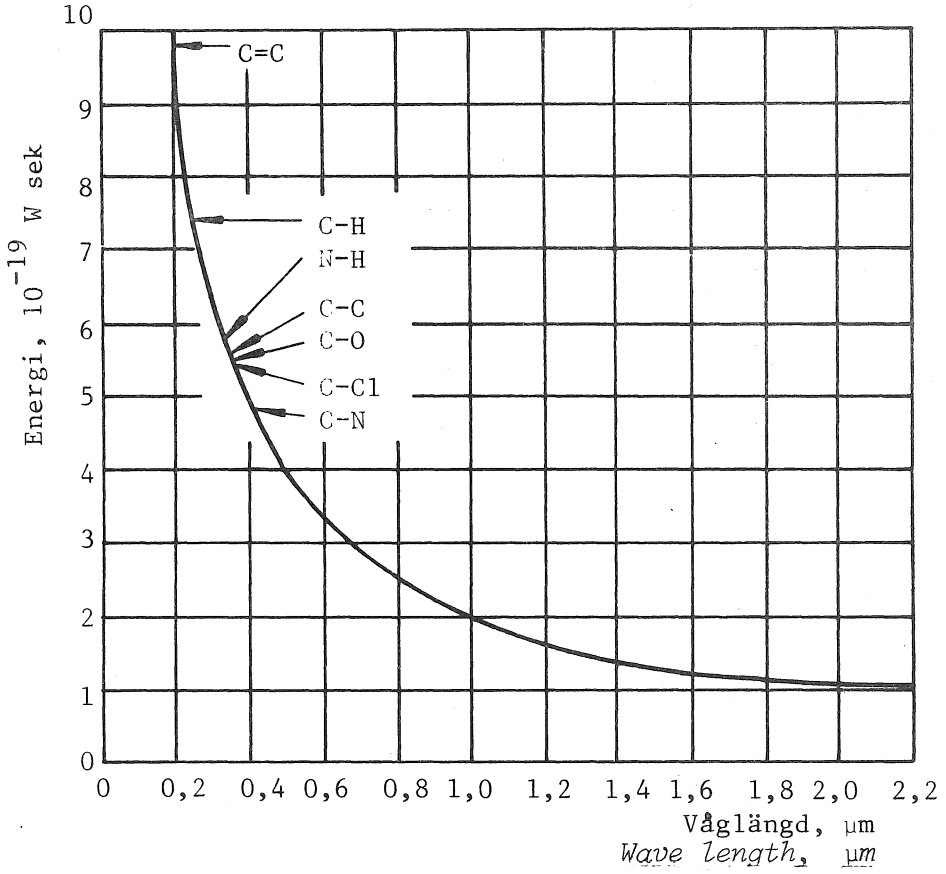


FIG 1 Energi per foton och dissociationsenergi per bindning Gjelsvik (1975)

Energy per photon and dissociation energy per binding.

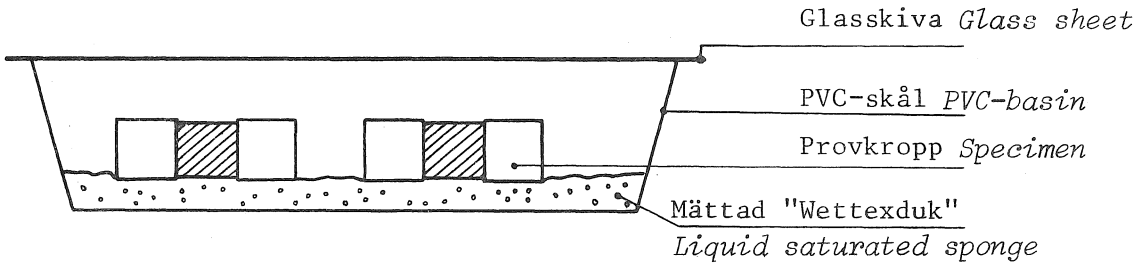


FIG 2 Fukt- respektive alkalilagring av provkroppar.

Storeing of specimen in water and alkaline water

Totalt har i undersökningen ingått 8 olika material av 5 olika fabrikat. De i tabellen angivna hårdhetsvärdena har i förekommande fall hämtats ur resp materialfabrikants informationsblad.

4.2 Val av påverkande faktorer

De åldringsframkallande faktorer som valts att studeras är temperatur, fukt, alkali, ultraviolett strålning och ozon.

Temperaturens inverkan på fogmassorna har studerats genom att lagra provkroppar i standardklimatet +20°C/50% RF och därefter lagring i +40°C eller +70°C.

Inverkan av fukt har undersökts genom att lagra provkropparna på en med avjoniserat vatten (pH ∿ 4.0) mättad s k "Wettexduk" enligt fig 2. Denna lagring har skett vid +20°C. Detta förfaringssätt kan t ex i någon mån efterlikna det förhållande som uppstår då ett bottningsmaterial av någon anledning blir vattenmättat.

Alkalipåverkan har studerats genom att lagra provkropparna på "Wettexdukar" mättade med $Ca(OH)_2$-lösning, pH ∿ 11.0. Temperaturen har även vid detta tillfälle varit +20°C. Analogt med fuktlagringen kan detta förhållande efterlikna situationen då ett absorberande bottningsmaterial mellan betongelement blir vattenmättat.

Vid studium av UV-ljusets påverkan var avsikten först att undersöka enbart UV-strålningens verkan på fogmassorna. Ett dilemma visade sig emellertid vara det faktum att de flesta tillgängliga UV-källor har en stor del av sin energi utanför UV-området, innebärande att lamporna alstrar en stor värmemängd. Den lamptyp vi så småningom stannade inför blev OSRAM HNS 15W ozonfri.

Sex sådana ljuskällor byggdes in i en cylinder, på vars innervägg olika typer av provkroppar kunde an-

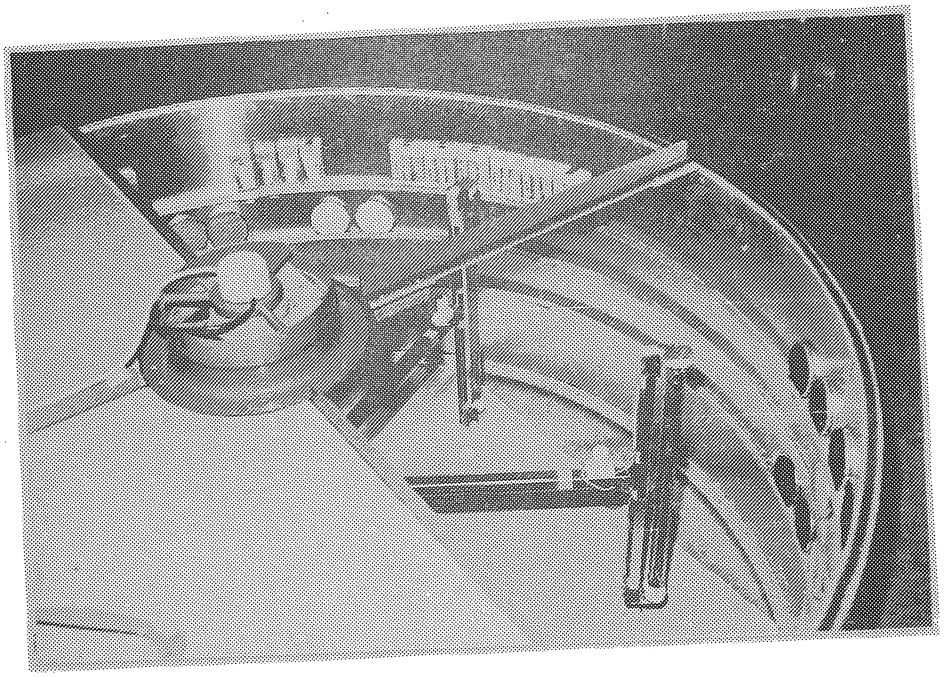


FIG 3 UV-klimatkammare
UV climate chamber

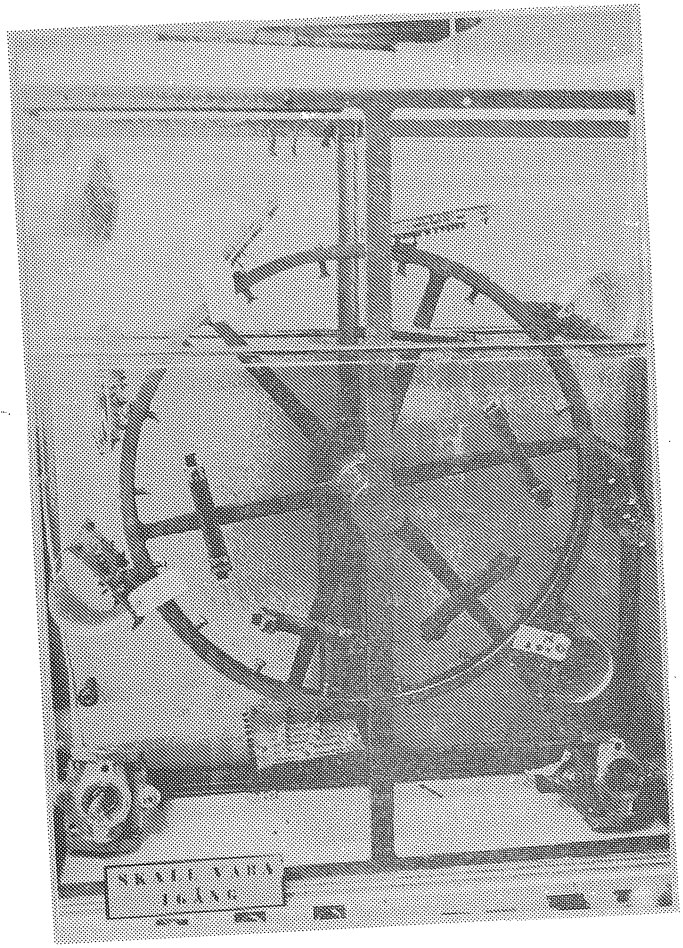


FIG 4 Ozonskåp, modell Trelleborg
Ozon climate chamber, made in Trelleborg

bringas. En bild av UV-ljusutrustningen framgår av fig. 3.

Temperaturen inne i lådan är hela tiden ca +20°C. Avsikten har också varit att kombinera UV-strålningen med värme (+40°C) men på grund av tidsbrist har detta ännu inte hunnit utföras.

Eftersom olika typer av fogmassor kan tänkas ha olika absorptionsspektrum inom UV-området har avsikten också varit att undersöka påverkan av en annan typ av UV-källa. Detta har ej heller hunnits med.

Genom vänligt tillmötesgående från Trelleborgs gummifabriks AB (genom ingenjörerna Allan Rydsbo och Arthur Jonasson) har även ozonets inverkan på fogmassorna kunnat studeras. Provkroppar har placerats i ozonskåp av en modell som har utvecklats vid Trelleborgs gummifabrik. Detta utförande har sedermera standardiserats. Ozonskåpets utförande framgår av fig. 4. Halten ozon kan steglöst varieras från några pphm till 400 pphm. Skåpen körs dock rutinmässigt vid 50 resp 200 pphm.

Inverkan av ozon har undersökts på alla typerna av fogmassor. Eftersom i litteraturen påpekats att ozonsprickor endast uppstår om ett gummimaterial är töjt, d v s har en dragspänning uppbyggd i sig, har enbart de fogmassor som har en övervägande elastisk andel varit töjda vid exponeringen. Exponeringen har skett vid temperaturen +30°C.

4.3 Val av kvantifieringsmetoder

Att välja vettiga metoder för att kvantifiera uppkomna förändringar i fogmassorna är svårt. Speciellt som kraven på sådana metoder kan sägas vara hårda. En bra kvantifieringsmetod ska t ex vara

- lätt att utföra
- känslig
- helst icke-förstörande
- användbar på alla typer av material.

Den metod som uppfyller alla dessa krav finns nu ej. Bl a litteraturstudierna har givit uppslag till valda metoder.

Bestämning av arbetskurvans utseende efter olika former av åldring används i många sammanhang. Här har denna metod använts på så sätt att provkroppar töjts med hastigheten 1.5 mm/min och temperaturen +2°C. Eftersom de åtta olika materialen ingående i denna undersökning har mycket olika egenskaper i fråga om deformationsmotstånd har temperaturen +2°C valts. Vid denna temperatur ökar nämligen töjningsmotståndet för de s k plastiska materialen, speciellt efter vissa former av åldring.

Samtliga provkroppar har vid kvantifieringen töjts till 100%, vilket för de flesta materialen är lägre än brotttöjningen. Orsakerna till att deformation enbart till 100% valts är flera:

- provkroppens längd får större inflytande på provningsresultatet ju större töjningen är (jfr kap 4.4)
- adhesionspåkänningarna ökar i allmänhet med ökande töjning. Eftersom fogmassan primärt skall undersökas kan detta innebära att eventuella adhesionsbrott stör jämförelserna.
- 100% töjning är långt på säkra sidan jämfört med den deformationsupptagning som materialen normalt dimensioneras för.

När töjningen 100% har nåtts har spänningsrelaxationen registrerats under ca 10 min. Man kan nämligen tänka sig att ett huvudsakligen plastiskt material kan ge arbetskurvor upp till 100% liknande de som ett "elas-

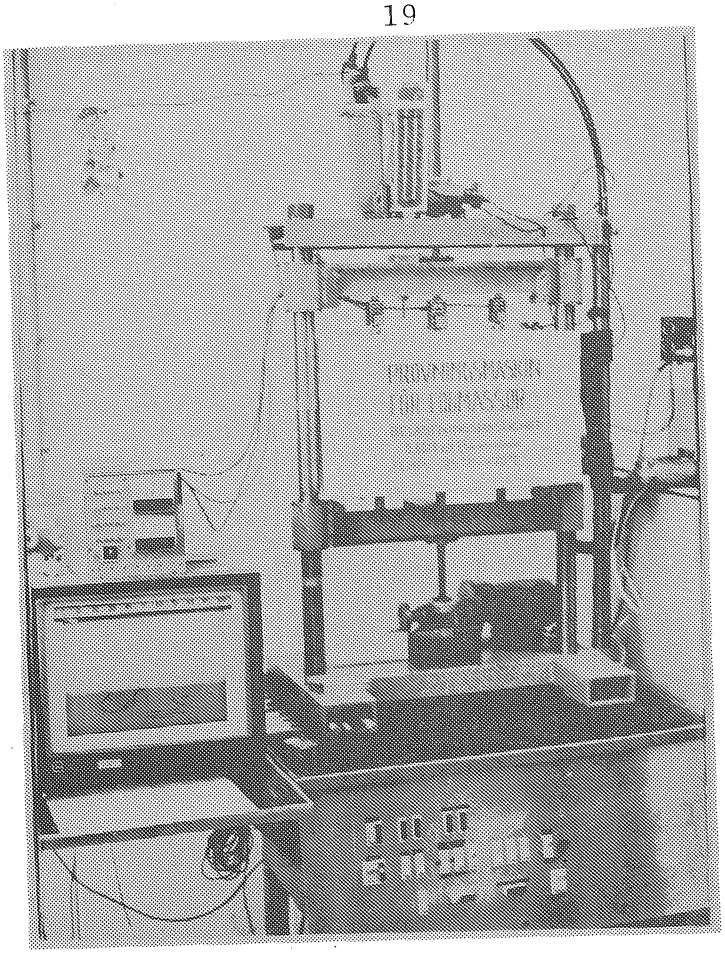


FIG 5a Provningsapparatur för fogmassor. Klimatkammaren stängd. Deformationshastighet 0.001 - 1.5 mm/min, drag/tryck. Provningstemperatur -25°C - +70°C.

Testing equipment for sealants. Climate chamber closed. Deformation speed 0.001 - 1.5 mm/min, tension/compression. Testing temperature -25°C - +70°C.

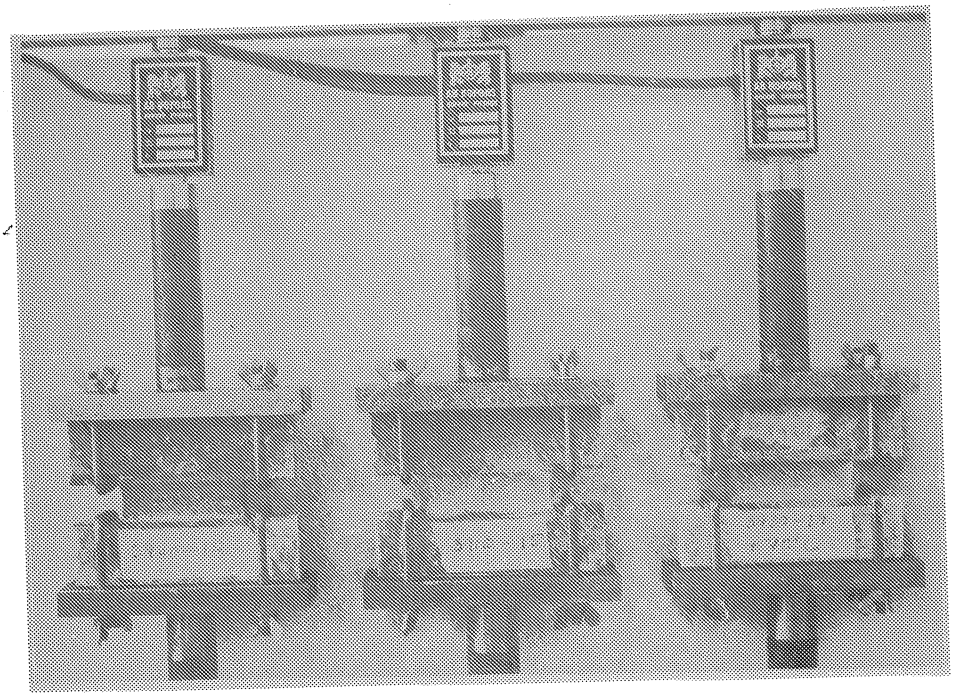


FIG 5b Provningsapparatur för fogmassor. Inspänning av provkroppar och celler för kraftmätning.

Testing equipment for sealants. Fixing of specimens and force gauges.

tiskt" material uppvisar. Bestämning av spänningsrelaxationens tidsförlopp avslöjar dock skillnaden mellan en "elastisk" och "plastisk" fogmassa.

Arbetskurvans utseende och form ger upplysning om eventuell uppmjukning eller hårdhetsökning, försprödning, ökat temperaturberoende osv. Den provningsapparatur som använts för ändamålet framgår av fig. 5.

Bestämning av volym- och viktminskning ger upplysning om ingående mängd flyktiga beståndsdelar, om mjukgörarens termiska stabilitet, om densitetsförändringar. Dessa bestämningar har utförts approximativt enligt metod NM Bygg F10 "Bestämning av fri krympning" (ERnämndens Rapport nr 1:71). Metodiken framgår av fig. 6.

Fotografering av provkroppsytorna före och efter åldring ger en grov uppskattning av förändringar men har trots detta använts i viss utsträckning.

För ett fåtal prov har SEM-fotografering använts. Dessa undersökningar har utförts vid Zoologiska institutionen vid Lunds Universitet.

Vid valet av lämpliga UV-källor för studium av den ultravioletta strålningens inverkan på fogmassorna aktualiserades frågan om de olika materialens absorption inom UV-området. Eftersom olika typer av material absorberar strålning vid olika våglängder kan man tänka sig att en olämpligt vald UV-källa slår onödigt hårt mot någon typ av material eller å andra sidan att någon UV-känslig frias. Detta ledde till tanken att undersöka fogmassornas UV-absorptionsspektrum. Detta spektrum kommer troligen att förändras med åldringen av materialet. Detta skulle innebära att metoden också borde gå att använda som kvantifieringsmetod. Vissa orienterande undersökningar i den riktningen har därför utförts.

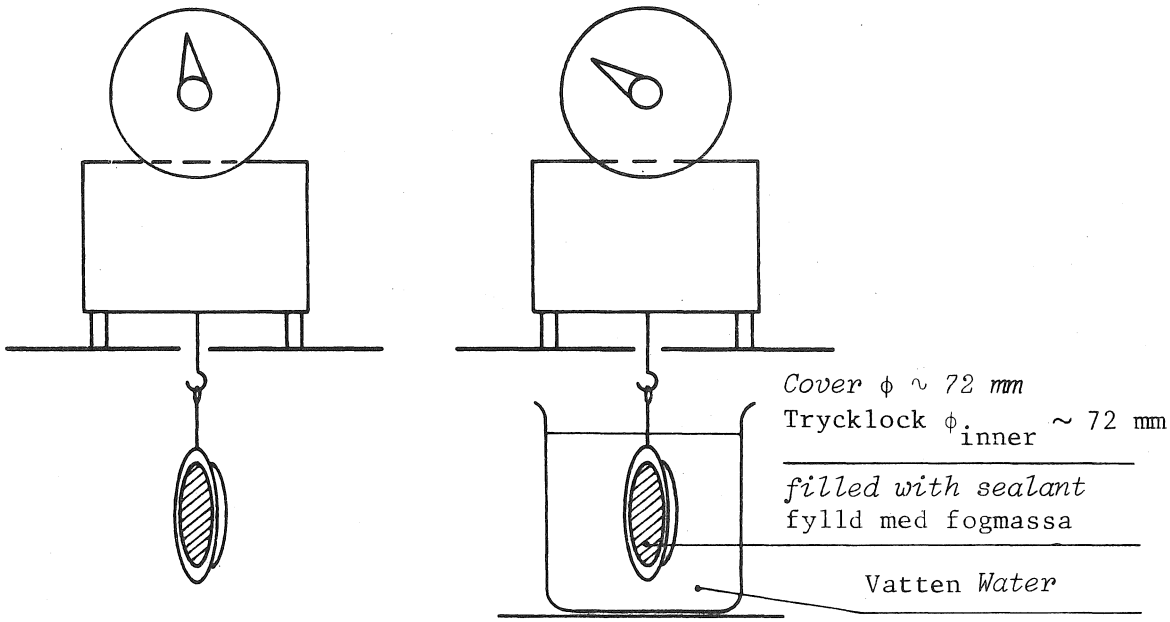


FIG 6 Metodik för bestämning av viktminskning och krympning.
Measuring of weight loss and shrinkage.

En metod som också har provats och som i början visade mycket lovande resultat var DTA-analys. Dessa undersökningar, som utfördes tillsammans med reologigruppen vid Kemicentrum, LTH, visade sig dock så småningom omöjliga att reproducera.

Trots detta redovisar Künzel et al (1975) framgång vid användning av DTA-analys för att bestämma glastemperaturen hos fogmassor. Man går t o m så långt som att säga att "vid alla åldringsförsök borde glastemperaturens förskjutning mätas, t ex via DTA"!

4.4 Val av provkroppsform

Vid undersökningar av t ex töjningsmotståndet hos fogmassor uppstår ofta diskussioner om lämplig provkroppsutformning. Beträffande tvärsnittets utformning gäller att bredd/djupförhållandet skall vara så stort som möjligt. Detta för att minimera de uppkommande dragspänningarna och därigenom också adhesionspåkänningarna. Av andra orsaker kan naturligtvis förhållandet ej göras hur stort som helst.

Beträffande längden på provfogen gäller att vid stora töjningar kommer en kort fog att ge för små spänningar vid jämförelser med det verkliga fallet.

En bedömning av hur stor inverkan provkroppens dimensioner har på uppträdande spänningar för olika material gjordes i en mindre förstudie. I denna ingick tre olika typer av material:

1. 1-komponent silikonbaserad fogmassa, 25-30° Shore A
2. 2-komponent polysulfidbaserad fogmassa, ∿15° Shore A
3. 1-komponent akrylatbaserad fogmassa (lösningsmedelsbaserad).

Tvärsnittet var nominellt 12x8 och 12x12 mm (BxH). Längden var 50, 80 eller 150 mm.

Före försökens start uppmättes de verkliga dimensionerna. Provkropparna töjdes vid +20°C med deformationshastigheten 1.5 mm/min till ∿ 50% töjning. I figur 7-9 visas de erhållna arbetskurvorna. För den silikonbaserade fogmassan, som kan karakteriseras som elastisk, gäller enligt figur 7 att de inbördes lägena för de olika provkroppsutformningarna stämmer väl med de förväntade. Vid 25% deformation gäller t ex att en 50 mm lång provkropp ger ungefär 7% lägre spänning vid jämförelse med 150 mm:s längd. Skillnaden blir något större vid 50% töjning.

För den mer plastiska,polysulfidbaserade massan (fig 8) gäller att spridningen i mätvärdena har gett en något oväntad ordning bland kurvorna. Dock är den totala spridningen mycket liten. I detta fallet kan variationerna i provkroppsutformning anses ha negligerbar effekt.

Samma förhållande gäller för det akrylatbaserade materialet enligt figur 9. Spridningen i mätresultaten dominerar över effekten av provkroppsutformningen. Sålunda ligger den kurva som kunde förväntas ligga högst lägst.

Sammanfattningsvis kan sägas att variationer i provkroppsutformningen saknar betydelse för de uppmätta spänningarna vid deformationer under ∿ 50% och för material med viss plasticitet.

Av dessa anledningar har för de fortsatta undersökningarna provkroppsformen 12x12x50 mm valts. Den korrelerar dessutom väl med amerikanska, engelska och tyska standards.

Som material att foga mot har asbestcement alternativt aluminium (kvalitet SIS 41 04 - 6) använts. Provkroppsutformningen framgår av figur 10.

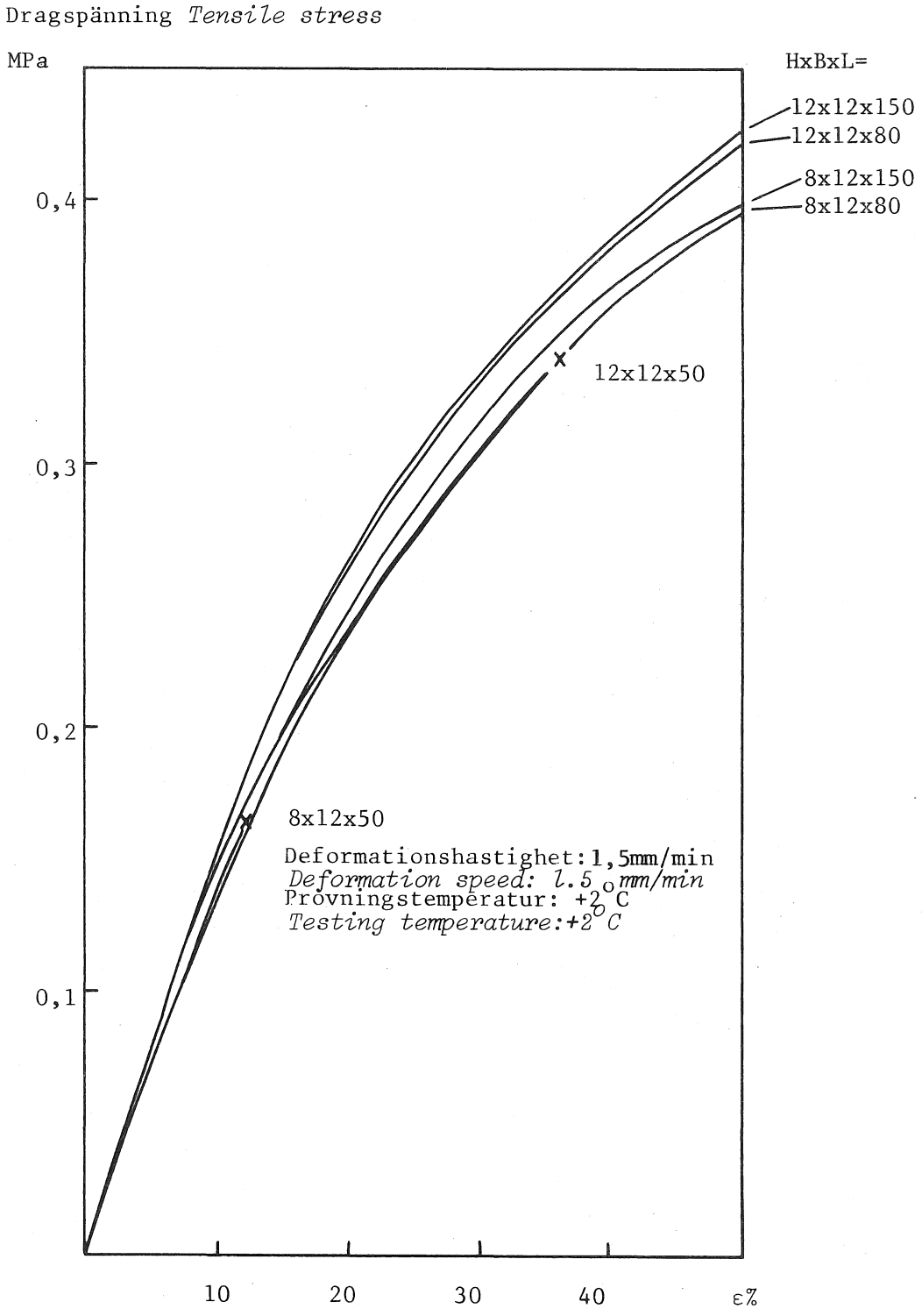


FIG 7 Arbetskurvans beroende av provkroppsdimensionen för en silikonbaserad fogmassa.

The influence of the specimen dimension on the stress-strain curve for a silicon based sealant.

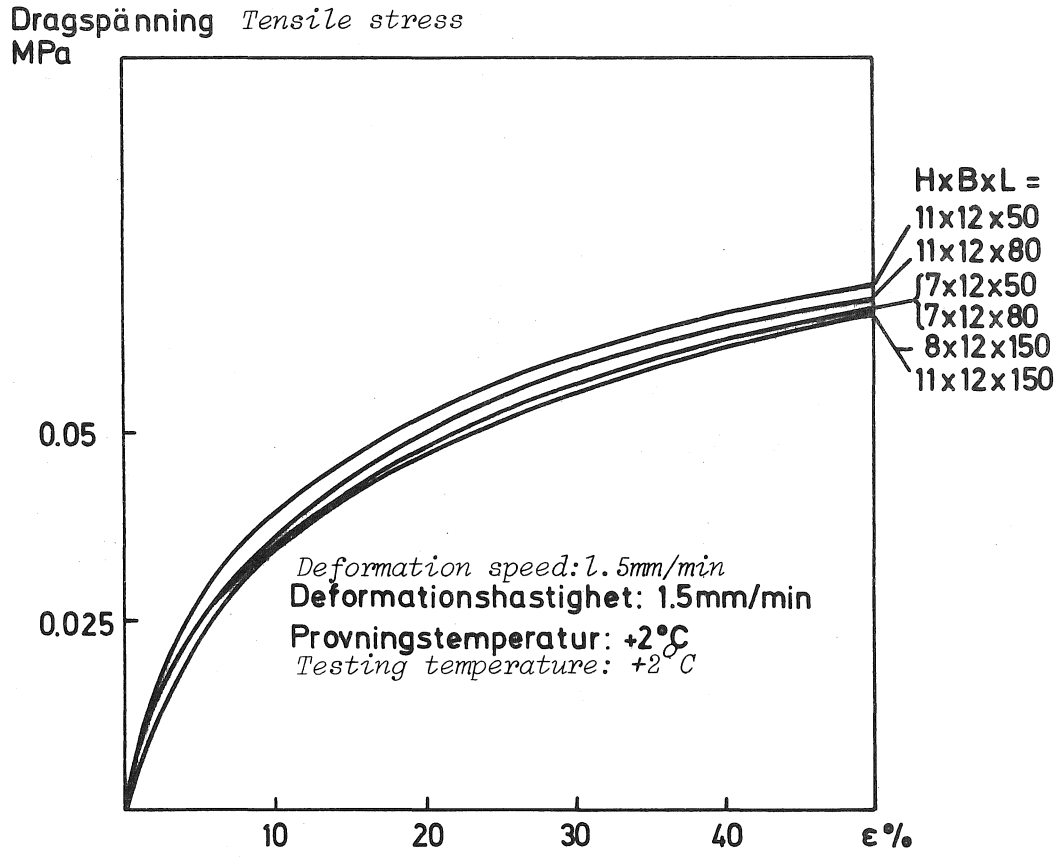


FIG 8 Arbetskurvans beroende av provkroppsdimensionen för en polysulfidbaserad fogmassa.

The influence of the specimen dimension on the stress-strain curve for a polysulphide based sealant.

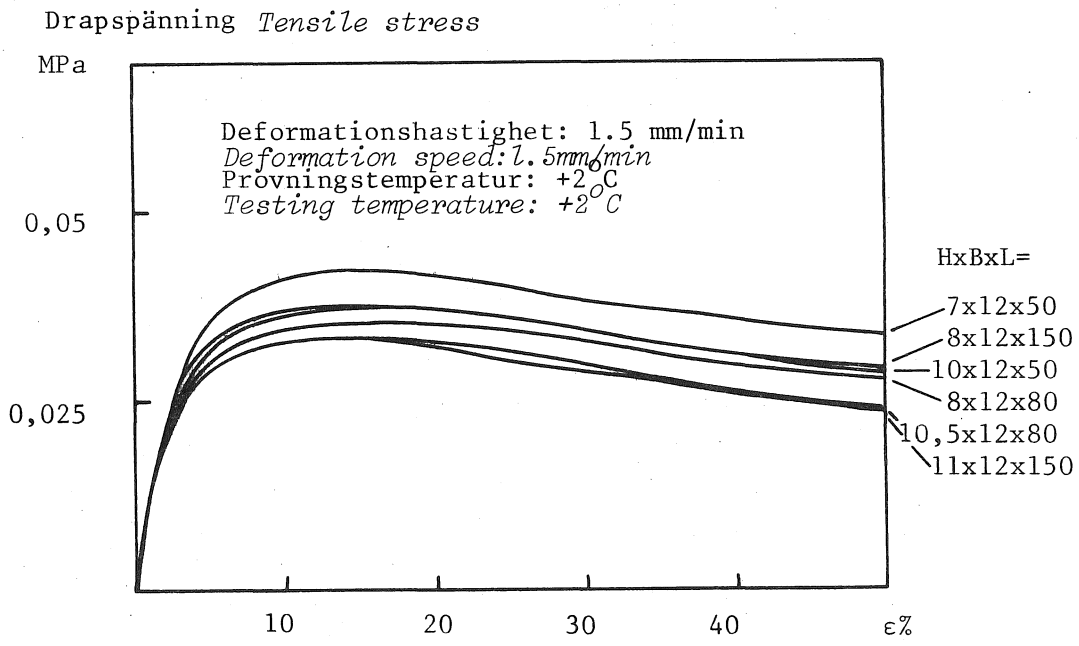


FIG 9 Arbetskurvans beroende av provkroppsdimensionen för en akrylatbaserad fogmassa.

The influence of the specimen dimension on the stress-strain curve for an acrylic based sealant.

4.5 Utomhusförsök

Avsikten har från början varit att korrelera de resultat som erhålles vid laboratorieförsöken med resultat från någon mer verklighetsanknuten åldring. Detta kan t ex ske genom att jämföra laboratorieprovningar med resultat från provningar av material från verkliga konstruktioner. Problem uppstår dock då t ex beträffande kvantifieringen av förändringarna och dessutom kan formuleringen av materialen något ha förändrats under tiden. Denna jämförelse är dock både intressant och viktig och får inte försummas.

Vi har dessutom valt att bygga upp en egen konstruktion där provfogar samtidigt utsatts för varierande fogrörelser och naturlig klimatpåverkan.

4.5.1 Beskrivning av utrustning för utomhusexponering av provfogar

En översiktsbild framgår av fig. 11. Utrustningen består av ett gasbetongelement (250x900x6000 mm) upplagt på ett fix- och ett rullager. På detta element ligger två aluminiumrör förenade med varandra med "stegpinnar" av aluminium. Den "stege" som på detta sätt bildas är i ena änden fixerad mot gasbetongen och i den andra fritt rörlig på rullager.

Mot gasbetongen resp mot vardera stegpinnen finns vidare en L-profil fixerad. I dessa L-profiler finns ett antal hål borrade. Mellan dessa parvisa profiler kan nu provkroppar inspännas med ena asbestcement- alt aluminiumprismat fixerad mot gasbetongen (via L-profilen) och det andra prismat mot stegpinnen. Infästningsdetaljen framgår av fig. 12.

Detta innebär att varje inspänd provkropp kommer att breddförändras i takt med förändringar av fuktinnehåll och temperatur hos gasbetongen och temperatur hos aluminiumstegen.

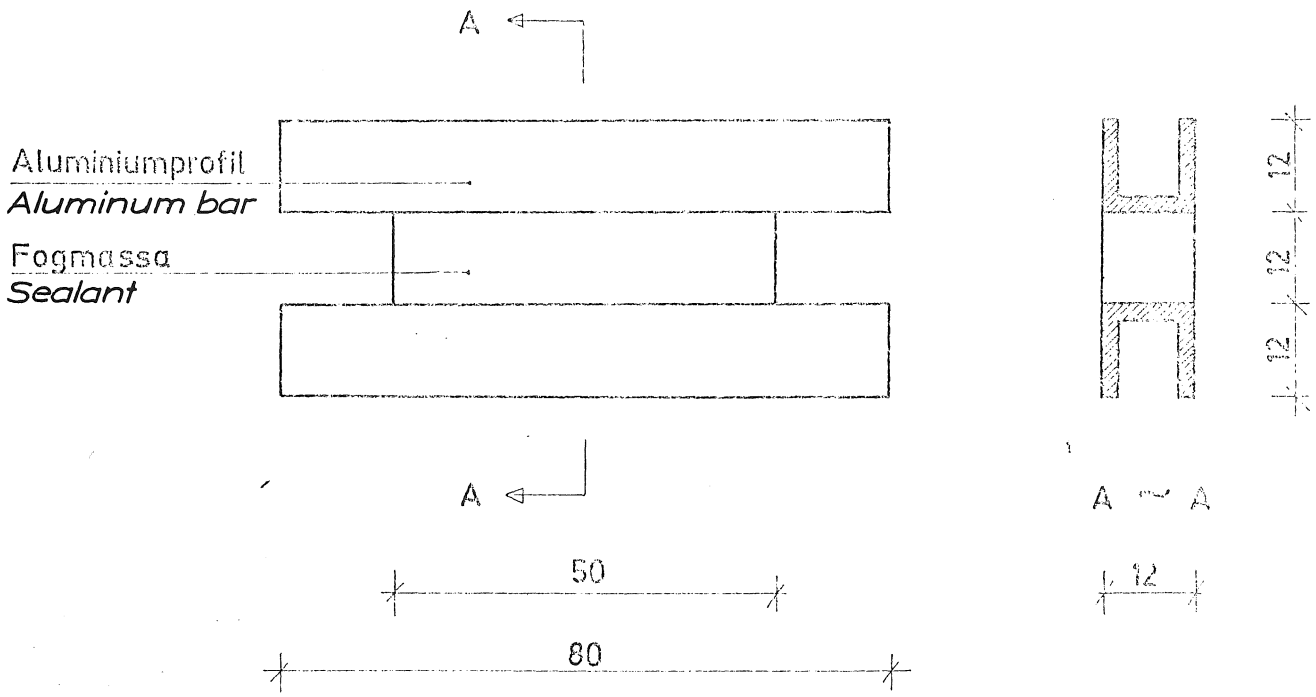


FIG 10 Provkropparnas utformning.

The specimens dimensions.

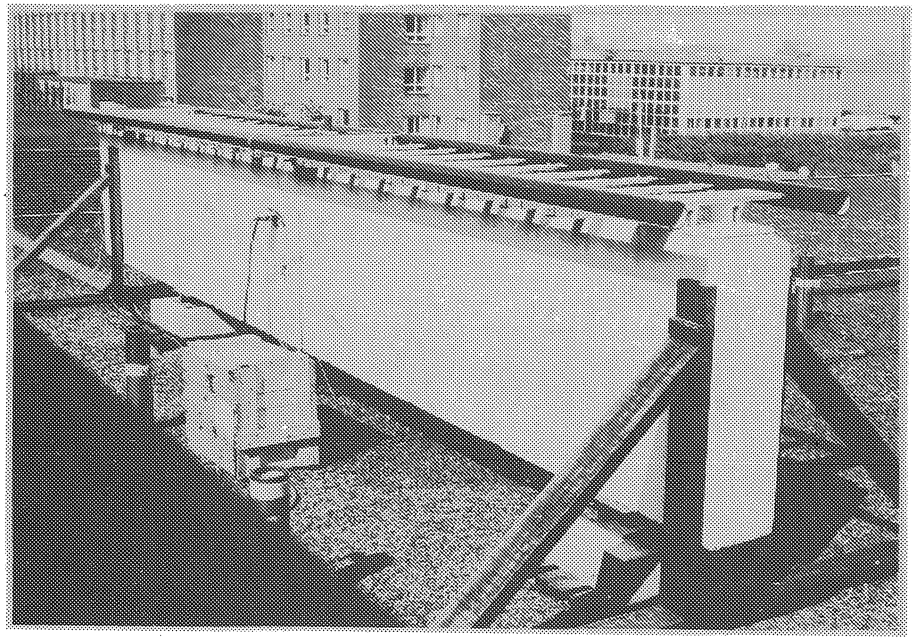


FIG 11 Utrustning och konstruktion för utomhusexponering av provkroppar

Testing equipment for outdoor exposition of specimens.

För att ytterligare accentuera skillnaderna i dimensionsändringar hos gasbetong och aluminium har gasbetongen målats vit medan stegen målats svart.

Via antagandet om $\alpha_{gasbetong} \sim 8 \cdot 10^{-6} m/m^{o}C$, $\alpha_{aluminium} \sim 24 \cdot 10^{-6} m/m^{o}C$ och temperaturvariationer i området -20 - + 50°C blir den maximala skillnaden i längdändring av storleksordningen 7.2 mm. Om fuktvariationernas inverkan beaktas blir skillnaden teoretiskt av storleksordningen 7.35 mm. Denna dimensionsändring kommer alltså linjärt att avtaga mot noll (där aluminiumstegen är fixerad mot gasbetongen).

På konstruktionen, som är orienterad i nord-sydlig riktning, finns termoelement placerade. Vidare finns tre givare för registrering av relativa fuktigheter inmonterade i gasbetongen. På gasbetongblocket finns dessutom en induktiv lägesgivare monterad för registrering av maximal skillnad i rörelse. Antalet soltimmar registreras via ett s k fotoelement. Alla mätvärden registreras på en 12-kanals punktskrivare.

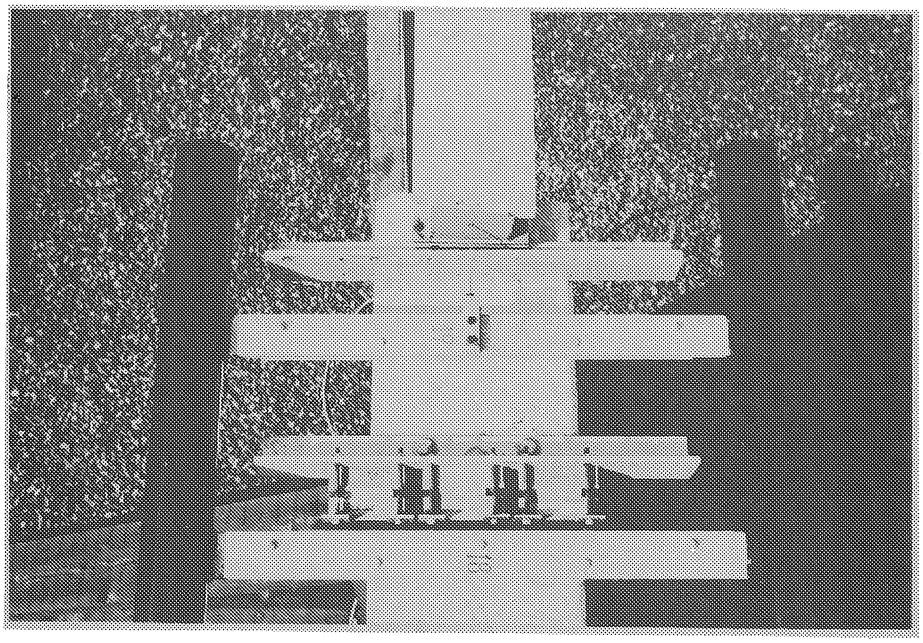
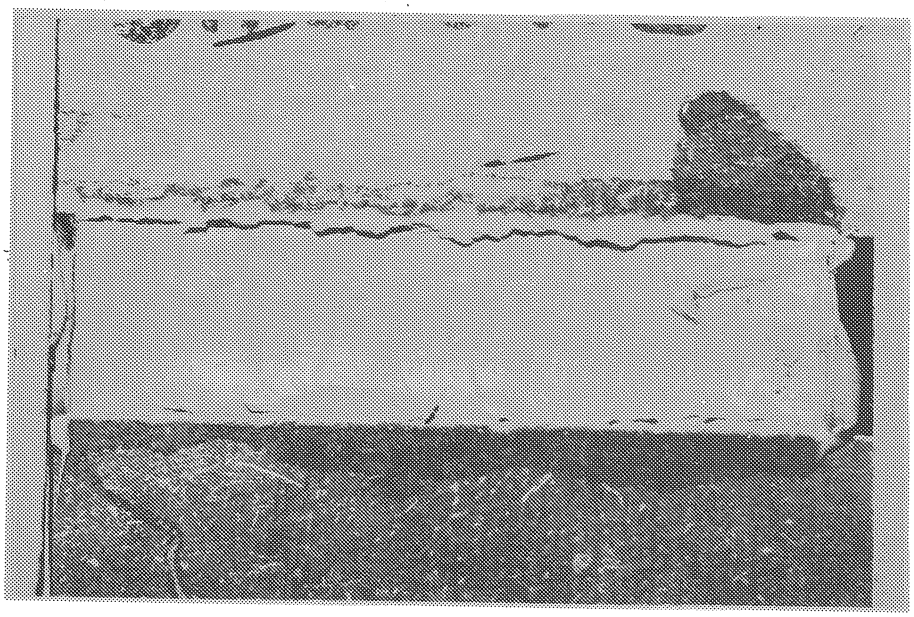


FIG 12 Utomhusexponering av provkroppar. Detalj av provkroppsinfästning och lägesgivare.

Outdoor exposition of specimens. Detail of specimen fixation and deformation gauge.



10mm

FIG 13 Yta av värmeåldrad lösningsmedelsbaserad akrylatfogmassa. Sprick- och blåsbildning p g a snabb bortgång av lösningsmedel.

Specimen surface of a heataged acrylic based (solvent release) sealant. Forming of cracks and bubbles due to a rapid release of solvents.

5. FÖRSÖKSPLAN

5.1 Temperaturpåverkan

Som standardklimat för de s k nollproven har använts +20°C/50% RF. Ett normalt standardklimat för fogmassor är annars +23°C/50% RF men den stora mängden provkroppar gjorde att tillgängligt utrymme vid detta klimat ej var tillräckligt.

Lagringen i förhöjd temperatur, +40°C och +70°C, igångsattes efter det att provkropparna först lagrats i +20°C/50% RF 7 alt 21 dygn. Om värmelagringen startar alltför tidigt kan man nämligen få en del oönskade effekter. Detta åskådliggörs på fig 13 - 14 som visar en lösningsmedelsbaserad akrylatfogmassa. Värmelagringen i +70°C har här startat efter 7 dygn. Kvarvarande lösningsmedel har "kokat ur" materialet med stora kvarstående blåsor som följd. Den åtföljande snabba krympningen har dessutom givit upphov till adhesionsbrott på stora ytor. Dessa bieffekter uppträder ej säkert vid "naturlig åldring".

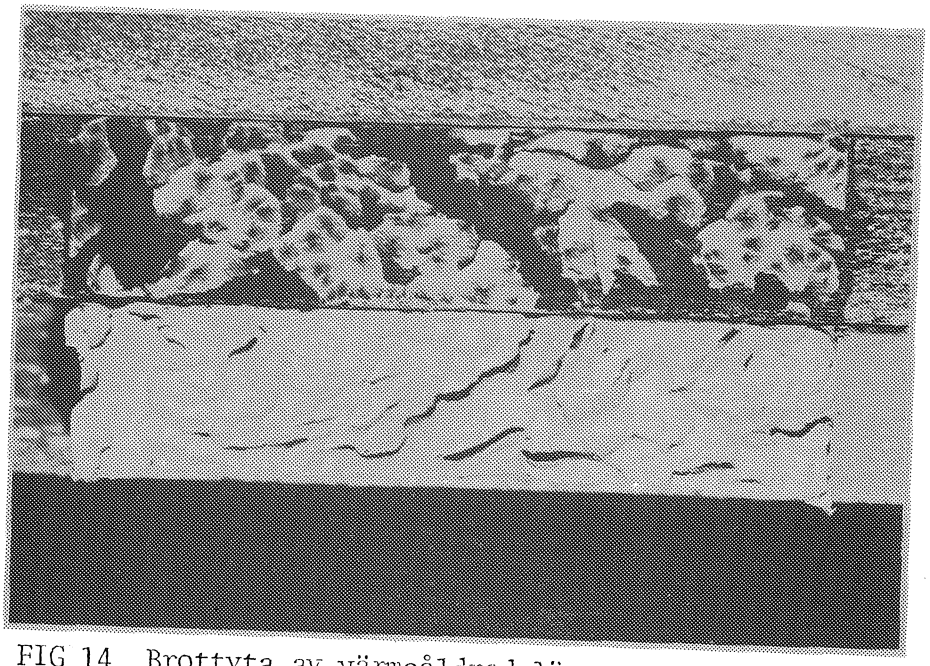
Försöksplanen för temperaturinverkan i övrigt framgår av tabell 2.

Försöksplanen för temperaturinverkan i övrigt framgår av tabell 2. Förutom de tider som anges i tabellen har för vissa material även längre värmelagringstider förekommit.

Tabell 2. Försöksplan för temperaturinverkan

Klimat	Tid (dygn)		
+20°C/50% RF	21 35	35 49	63 77
+40°C	7 + 14 21 + 14	7 + 28 21 + 28	7 + 56 21 + 56
+70°C	7 + 14 21 + 14	7 + 28 21 + 28	7 + 56 21 + 56

Anm. Tiden 7 + 14 innebär att provkroppen lagrats 7 dygn i +20°C/50% RF och därefter 14 dygn i +40°C (+70°C) o s v.



10mm

FIG 14 Brottyta av värmeåldrad lösningsmedelsbaserad akrylatfogmassa enligt fig 13.

Fracture surface of a heataged acrylic based (solvent release) sealant according to fig 13.

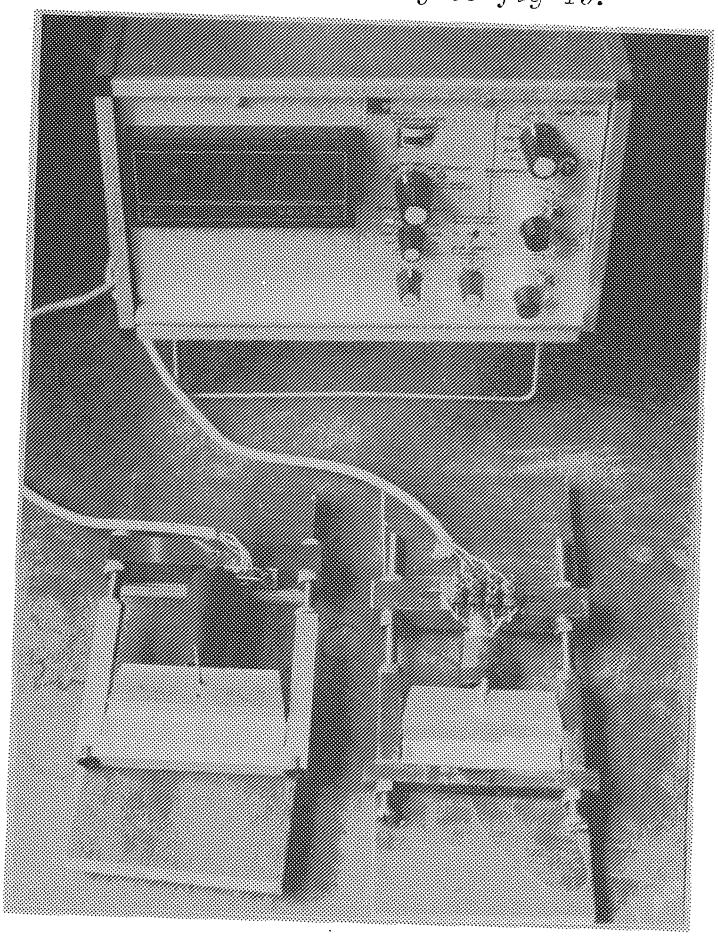


FIG 15 Utrustning för mätning av krympspänningar i fogmassor.

Device for measuring of shrinkage stresses for sealants.

5.2 Fukt- och alkalipåverkan

Påverkan av fukt och alkali har studerats genom att lagra provkropparna på en "wettexduk" mättad med resp medium (jfr figur 2). Med "fukt" menas här avjoniserat vatten med pH $\sim$ 4. Den alkalilösning som använts är mättad $Ca(OH)_2$-lösning som spätts ut till pH $\sim$ 11.0. Denna nivå kan anses motsvara den alkalitet som råder vid en betongelementyta som vattenbegjutes.

Lagringen har skett vid +20°C. Materialen har innan lagringen initialhärdats 7 eller 21 dygn i +20°C/50% RF. Provning har skett efter påverkan i 14, 28 och 56 dygn.

5.3 Påverkan av ultraviolett strålning

Lagringen i UV-ljus har startat efter 7 dygns initialhärdning i +20°C/50%RF. Därefter har provning skett efter 14, 28 och 56 dygn i UV-ljus. För några material har även längre tids lagring förekommit.

5.4 Ozonpåverkan

För att gummimaterial skall bli påverkade av ozon måste dragspänningar finnas uppbyggda i materialet. Detta innebär att provkropparna måste lagras under töjning. Vissa av de valda fogmassorna bedömdes dock alltför plastiska för att en töjning skulle vara meningsfull. Därför gjordes först en indelning i två grupper av materialen enligt tabell 1.

Grupp I, omfattande huvudsakligen elastiska material, består av material 1 - 4 och material 7.

Grupp II, omfattande huvudsakligen plastiska material, består alltså av material 5 - 6 och material 8.

Trots att således grupp II omfattar material utan dragspänningar vid provning bedömdes det dock som intressant att studera om andra effekter av ozonlagringen kunde uppstå.

Provningsbetingelserna i övrigt fick anpassas till de normer som gäller på detta område. Detta gällde bl a ozonhalt, tid och lagringstemperatur (+30°C).

Ozonprovningarna startade måndag morgon. Av praktiska skäl transporterades provkropparna till Trelleborg fredag e m. De provkroppar som skulle förvaras under spänning hade dessförinnan töjts 25 eller 50%. Detta innebär för dessa provkroppar att den uppbyggda spänningen i materialet i viss utsträckning hann relaxera innan ozonexponeringen startade. För att få en uppfattning om relaxationens storlek mättes denna på provkroppar som töjts till 25 och 50%.

Försöksplanen för ozonpåverkan framgår av tabell 3.

Tabell 3. Försöksplan för ozonprovning

Variabler	Nivåer	Anm
Ozonhalt	50 pphm 200 pphm	
Ålder	35 dygn	Halva antalet provkroppar värmeåldrade 14 d i +70°C
Tid	1x96 h	
Deformation	0% 25% 50%	Gäller material grupp I o II " " " I " " " I

5.5 Utomhusförsök

Av varje material har minst 8 provkroppar varit inkopplade för utomhusexponering under samtidig deformation. Varje material, oavsett "härdningsmekanism", förvarades före inkopplingen i klimatet +20°C/50% RF under 7 dygn. Detta innebar att 2-komponentmaterialen var ganska långt komna i sin härdning. Detta gällde i huvudsak också material nr 3, 1-komponent polyuretanbaserad massa, och materialet 7, 1-komponent dispersionsbaserad akrylatfogmassa, även om dessa var långt ifrån uthärdade.

För material nr 5 - 6 och nr 8 gällde dock att dessa var starkt plastiska vid utplaceringen.

Hälften av antalet provkroppar hade asbestcement som "elementmaterial" och hälften aluminium. Detta för att förutom klimatisk påverkan även viss alkalipåverkan skulle uppstå. Det pH-värde som uppstår i vatten som sköljer över asbestcement är av nivån 9-10.

Vid val av läget på aluminiumstegen har utgåtts ifrån fabrikanternas uppgifter betr rörelseupptagande förmåga. Detta medförde att material nr 4 har utsatts för den största variationen i fogbredd. Därefter blev ordningen mot minskande fogrörelser: Material nr 6, nr 3, nr 8, nr 1, nr 2, nr 7 och nr 5.

Provkroppar av varje material har dessutom inkopplats på en plats där de utsätts för ungefär hälften av den maximala fogrörelsen för resp material.

Provkropparna har huvudsakligen inkopplats vid temperaturen +5 - +10°C. Detta innebär med en antagen maximal temperaturvariation mellan -20 - +50°C att provfogarna i något högre grad blir tryckta än dragna.

5.6 Mätning av krympspänningar

Den krympning som i varierande grad utspelas hos fogmassor vid åldringen och ibland vid härdningen/torkningen kan tänkas få vissa konsekvenser.

Om krympningen sker p g a att t ex mjukgöraren försvinner så påverkar detta naturligtvis hårdheten i negativ riktning. Om krympningen dock sker p g a att lösningsmedel, som finns i materialet för att underlätta appliceringen, försvinner kan detta också tänkas ha en positiv effekt ur deformationsupptagande synpunkt. Fogprofilen får då nämligen en markering av den bikonkava profilen som är gynnsam ur deformationssynpunkt.

Om dock denna krympning är åtföljd av uppbyggandet av stora krympspänningar skulle dessa, adderade till de dragspänningar som uppstår vid en expansion av fogar, kunna leda till adhesions- eller kohesionsbrott. För att få en uppfattning om hur stora dessa krympspänningar är har en del olika försök utförts. Med utgångspunkt från bestämningarna av vikt- och volymminskning utvaldes de mest krympbenägna och samtidigt även de i huvudsak elastiska materialen att ingå i en studie rörande mätning av krympspänningar.

De material som på dessa grunder har undersökts är material nr 1, 3 och 7. Även material nr 8 har undersökts trots att detta ej brukar kallas elastiskt.

Två olika metoder har använts. Inledningsvis användes apparaturen enligt fig 5. Med denna finns möjlighet att mäta krafter ned till ca $6 \cdot 10^{-2}$ N. Provkropparna inspändes helt nyapplicerade i utrustningen. Ändytorna av provfogarna var försedda med millimetertjock cellplast av polyeten och i botten fanns silikonbehandlat papper. Temperaturen under mätperioden varierade i området +21 - +23°C.

För att ej behöva låsa apparaturen under alltför lång tid tillverkades senare två mätdon i vilka fogmassorna direkt kunde appliceras, fig 15. Den aktiva mätenheten utgjordes av två stycken trådtöjningsgivare.

6. FÖRSÖKSRESULTAT

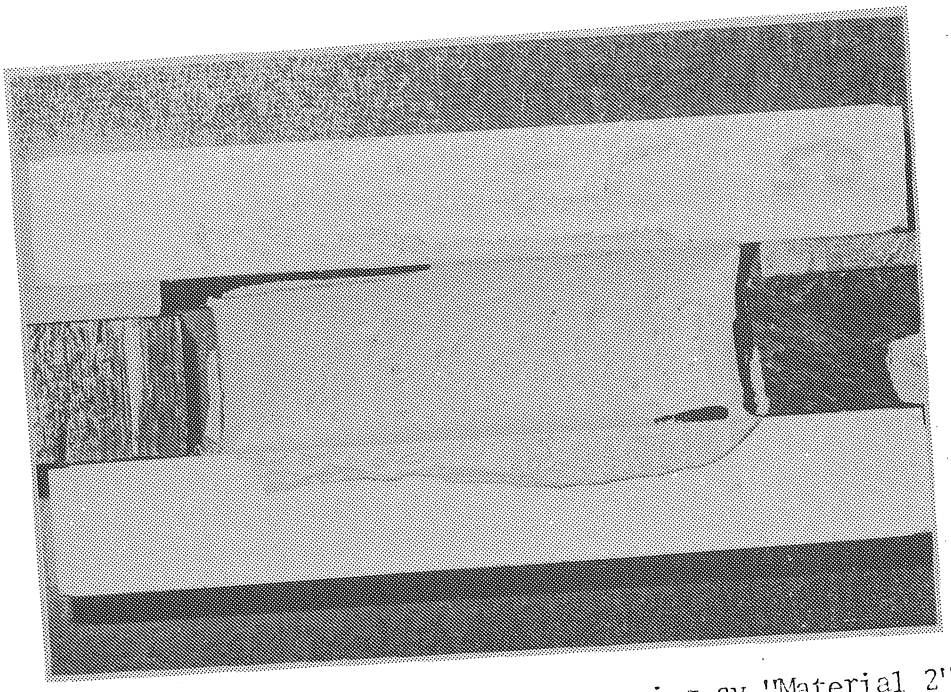
6.1 Allmänt

Inledningsvis görs nedan vissa noteringar om en del iakttagelser som gjorts om de studerade materialen under försökens gång. Detta kan förklara vissa fenomen som framkommer längre fram.

Det har för vissa material ibland varit svårt att uppnå fullgod adhesion mot fogkanterna. Detta trots att fabrikanternas rekommendationer noggrannt följts. Adhesionsbrott var t ex vanliga vid undersökning av ozonets inverkan på det töjda materialet. Vissa provkroppar förvarades töjda 25 eller 50% under en veckas tid. För material 1, 2 och 7 uppstod i flera fall adhesionsbrott redan efter kort tid, fig 16. För dessa material saknas således ibland jämförelsematerial. De provkroppar som förvarades töjda vid ozonlagringen men som dessförinnan värmeåldrats uppvisade i allmänhet bättre adhesion.

De båda lösningsmedelsbaserade fogmassorna, material 5 och 6, är mycket känsliga för en alltför tidigt insatt värmeåldring, jfr kapitel 5.1. Även om värmeåldringen startat först efter tre veckors lagring i normalklimatet +20°C/50% RF, så har den snabba bortgången av det då kvarvarande lösningsmedlet gett upphov till blåsor och släppor i fogprofilen. Detta har också i någon mån stört jämförelserna.

Material 7, den vattendispergerade akrylatfogmassan, har ställt till en del problem vid provkroppsberedningen. Detta material kräver nämligen en annorlunda läggningsteknik än övriga typer av fogmassor. Trots uppbyggnad



10mm

FIG 16 Adhesionsbrott vid ozonprovning av "Material 2", 25% töjning.

Failure of adhesion at testing of ozon resistance for "Material No 2", extended to 25%.

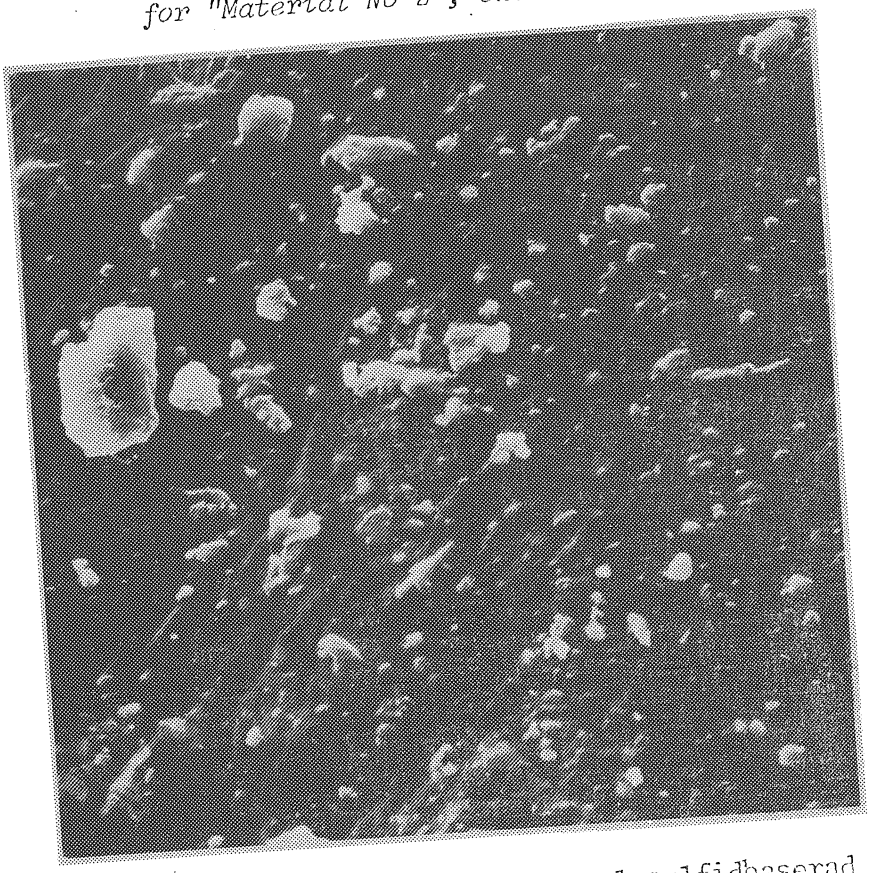


FIG 17 SEM-bild av ytan av en polysulfidbaserad fogmassa lagrad i +20°C/50% RF. Förstoring: 600x. Foto: Zoologiska institutionen, Lunds universitet.

SEM-picture of the surface of a polysulphide based sealant stored at +20°C/50% RH. Enlargement: 600x. Photo: The Zoological institution of Lund University.

av fogtvärsnittet i olika lager var det ibland svårt att få hela fogutrymmet helt utfyllt. Samma problem tycks också råda ute på arbetsplatserna.

Mellan de åtta olika fogmassorna som ingått i denna undersökning råder stora olikheter t ex vad beträffar härdningstid, härdningsmekanism, funktionssätt, deformationsupptagning osv osv. Detta har medfört vissa problem: skall t ex samma accelererade åldringsmetoder gälla för alla typer av material? Kan en viss egenhet hos en typ av fogmassa motivera en "skräddarsydd" metod för just det materialet?

6.2 Temperaturpåverkan

Av flera anledningar har en relativt ingående studie utförts rörande temperaturens inverkan på fogmassornas åldrings- och deformationsegenskaper: lagring i värme, oftast +70°C, används nämligen ofta i laboratorium för att accelerera åldringen hos fogmassor. Dessutom är metoden enkel att utföra. I litteraturen förekommer även vissa uppgifter om hur lång tid denna accelererade åldring motsvarar i fråga om naturlig åldring.

Hockenberger och Soyka (1969) säger t ex att "värmelagring under 7 dygn i +100°C svarar ungefär mot 1 1/2 års utomhuspåverkan". Enligt andra uppgifter gäller att "14 dagars förvaring i luft vid +70°C åstadkommer normalt effekter liknande de som uppstår efter ett års naturlig åldring".

För en polysulfidbaserad fogmassa har ett antal SEM-fotografier tagits efter olika former av värmeåldring. Fig 17 visar fogmasseytan efter lagring i +20°C/50% RF. Fig 18 visar samma material som värmeåldrats i +70°C under 21 dygn. Effekten är som synes påtaglig.

Tre av materialen har undersökts mer ingående än de övriga. Dessa tre är material nr 1, 3 och 6. De kan nämligen ur härdningssynpunkt sägas utgöra tre olika

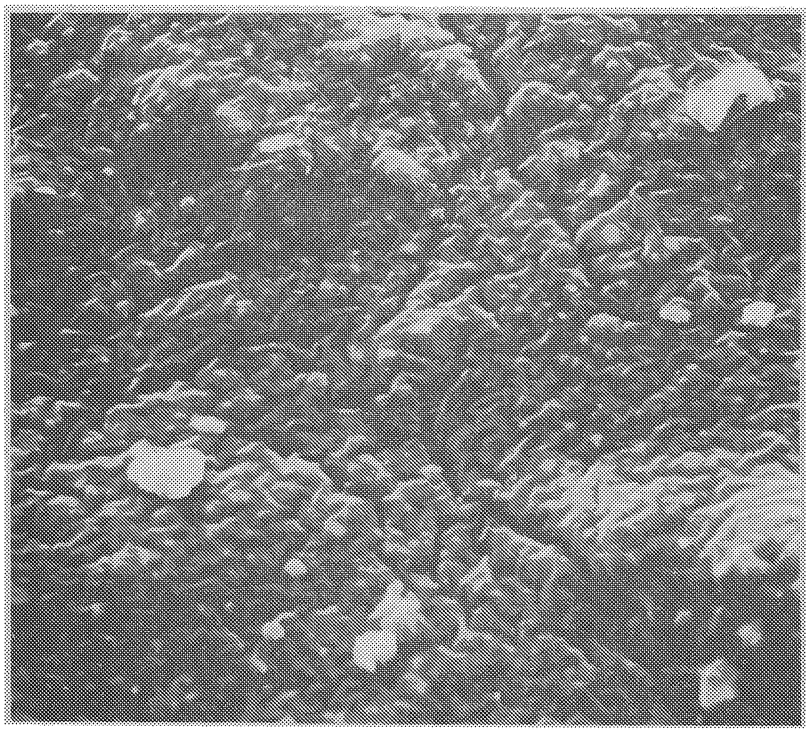


FIG 18 SEM-bild av ytan av en värmeåldrad (21 dygn i +70°C) polysulfidbaserad fogmassa. Förstoring: 600x. Foto: Zoologiska institutionen, Lunds universitet.

SEM-picture of the surface of a heataged (21 days at +70°C) polysulphide based sealant. Enlargement: 600x. Photo: The Zoological institution of Lund University.

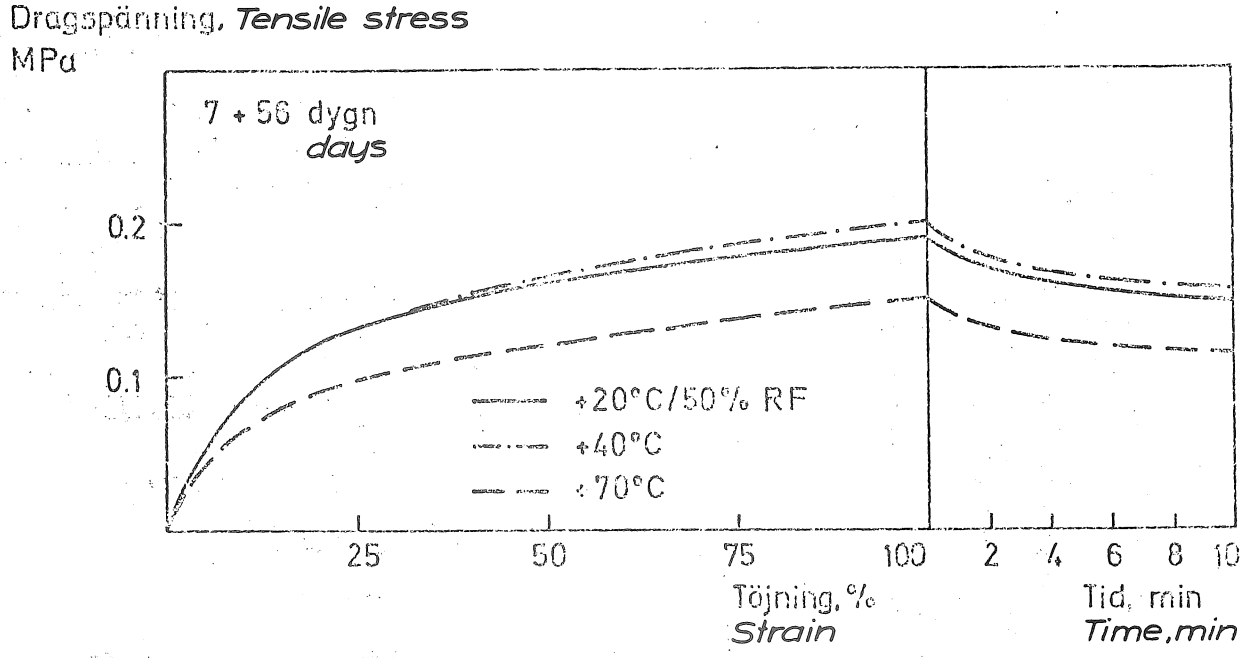


FIG 19 Arbetskurvor för "Material 1" värmeåldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 1" heataged in different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

typer av fogmassor: 2-komponent kemiskt härdande, 1-komponent kemiskt härdande och 1-komponent kemiskt härdande/torkande fogmassa respektive.

6.2.1 Material 1

Fig 19 - 22 sammanfattar resultaten rörande temperaturens påverkan på material 1, en 2-komponent polysulfidbaserad fogmassa. Hårdheten anges enligt tillverkaren vara ca 13 ^{o} Shore A.

Fig 19 visar arbetskurvan för materialet som härdats/åldrats i olika temperaturer. Samtliga provkroppar har först initialhärdats 7 dygn i klimatet +20°C/50% RF. Därefter har vissa provkroppar överflyttats till värmeskåp med temperaturen +40 eller +70°C. Åldringen i +40°C har, vid jämförelse med standardklimatet 20/50, knappast alls påverkat materialet. Däremot har värmeåldringen i +70°C medfört att fogmassan blivit mjukare! Detta är något förvånande. Erfarenheten hittills har nämligen visat att polysulfidbaserade fogmassor i allmänhet blir hårdare med tiden. Värmeåldringen i +70°C har också, som tidigare nämnts, relativt väl kunnat efterlikna denna hårdhetsökning.

Möjligheten att variera sammansättningen hos polysulfidbaserade fogmassor är dock stora och för detta material har tydligen fabrikanten lyckats att helt eliminera hårdhetsökningen.

Motsvarande provningar som visas i fig 19 har utförts vid olika längd på värmeåldringsperioden. Fig 20 sammanfattar resultaten från dessa provningar. σ_{50} betecknar därvid den spänning som uppstår i provet vid 50% töjning. Tendenserna från föregående figur gäller även här.

För de huvudsakligen elastiska materialen har bestäm-

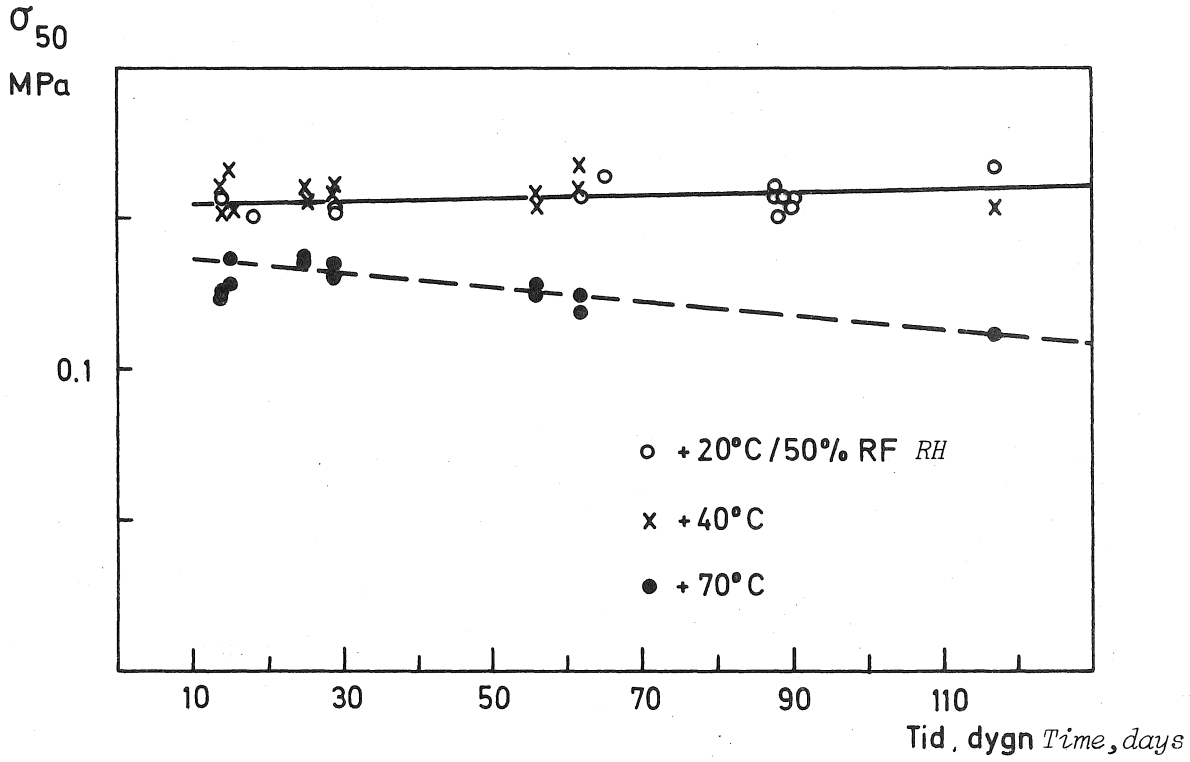


FIG 20 Dragspänning vid 50% töjning (= σ_{50}) för "Material 1" som funktion av lagringstid i olika temperaturer. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Stress at 50% tension (= σ_{50}) for "Material No 1" as a function of storeing time at different temperatures. Initial storeing: 7 days at +20°C/50% RH.

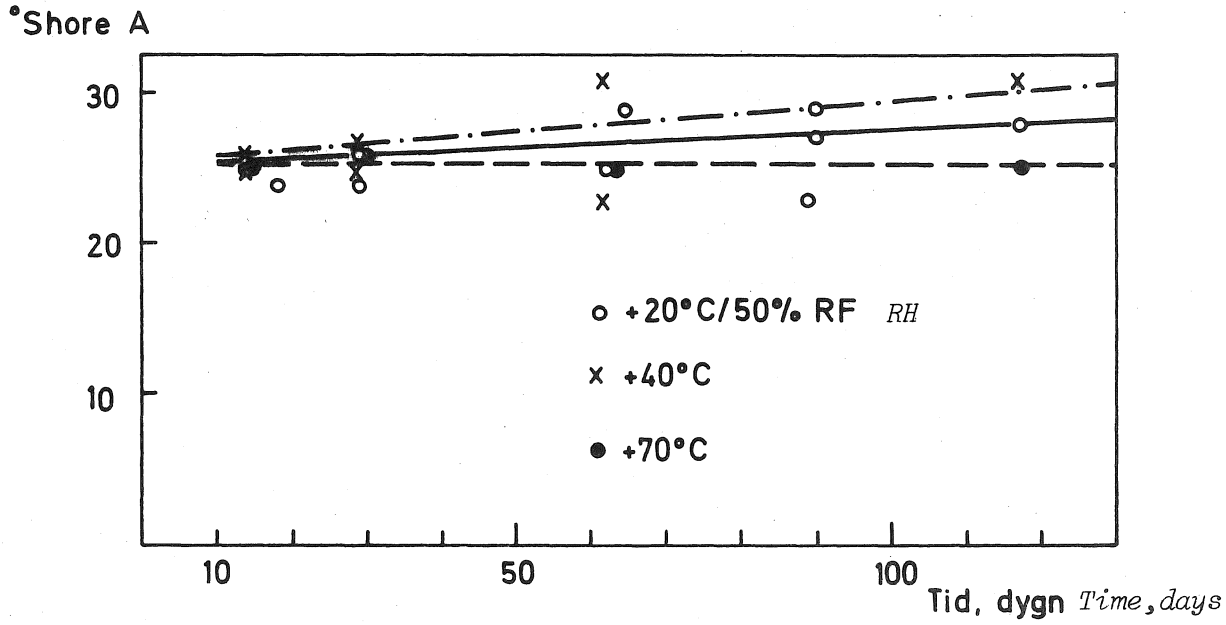


FIG 21 Hårdhet i °Shore A för "Material 1" som funktion av lagringstid i olika temperaturer. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Shore A-hardness for "Material No 1" as a function of storeing time at different temperatures. Initial storeing: 7 days at +20°C/50% RH.

ning av hårdheten utförts med hjälp av en hårdhetsmätare graderad i ^{o} Shore A. Dessa bestämningar har rutinmässigt gjorts i samband med annan provning. Metoden är dock förknippad med relativt stor osäkerhet i avlästa värden. Värdenas storlek är t ex beroende av hur snabbt hårdhetsmätaren ansättes mot materialet, tidpunkten för avläsningen (omedelbart, efter 5 sek osv), materialytans beskaffenhet.

Metoden har dock fördelen av att vara snabb och enkel att utföra. Man kan dessutom ibland mäta hårdheten direkt i den färdiga fogen.

Avlästa momentana hårdhetsvärden i ^{o} Shore A som funktion av härdnings-/åldringstiden redovisas i fig 21. Trots en relativt stor spridning bland mätvärdena överensstämmer tendensen från fig 20 för de normalklimatlagrade och de i +40°C lagrade. Däremot försvinner effekten från värmeåldringen som visas i fig 21. Spridningen i avlästa Shore A-värden döljer denna effekt.

Man kan också notera att det av fabrikanten uppgivna värdet på 13 ^{o} Shore A stämmer mycket dåligt med de uppmätta. Ett riktigare värde är $\sim$ 25 ^{o} Shore A.

Bestämning av arbetskurvan har här använts för att kvantifiera förändringar i fogmassorna (jfr kapitel 4.3). Deformationshastigheten har då varit 1.5 mm/min och temperaturen +2°C. Denna hastighet är mycket för snabb vid jämförelser med de hastigheter på fogrörelser som uppmätts i verkliga rörelsefogar. Hasselblad och Andersson (1972) har t ex uppmätt storleksordningen 10^{-3} - 10^{-2} mm/min på fogrörelsens hastighet.

Eftersom även de flesta s k elastiska fogmassor har en mer eller mindre stor plastisk andel betyder detta att arbetskurvans form och uppmätta spänningsvärden är starkt beroende av deformationshastigheten.

Av denna anledning har arbetskurvan också bestämts vid deformationshastigheten 0.0013 mm/min. Resultaten redovisas i fig 22. Sänkningen av hastigheten har medfört en dryg halvering av den utvecklade dragspänningen i materialet.

Med hjälp av fig 22 är det t ex möjligt att uppskatta de krafter som fogsträngen överför mellan betongelement, adhesionspåkänningarna samt dragpåkänningarna på angränsande material. Figuren ger vidare upplysning om deformationsegenskapernas temperaturberoende.

6.2.2 Material 2

Fig 23 visar värmeåldringens effekt på material 2, en 2-komponent polysulfidbaserad fogmassa. Hårdhet ∿40 ^{o} Shore A enligt fabrikanten. Jämförelsen störs dock av att de i 70°C värmeåldrade provkropparna uppvisar begynnande adhesions- och kohesionsbrott. Vid små töjningar, då provkropparna kan anses intakta, framgår dock i någon mån också här tendensen till en minskning av töjningsmotståndet efter värmeåldringen.

Mätt i ^{o} Shore A är dock materialet opåverkat av åldringen. Hårdhetsvärdet överstiger i någon mån det av fabrikanten angivna.

6.2.3 Material 3

Detta material, som är en 1-komponent polyuretanbaserad fogmassa, uppvisar en mycket stor hårdhetsökning vid värmeåldringen. Arbetskurvorna framgår av fig 24. Hårdhetsökningen är till en del beroende på att värmeåldringen har påskyndat det relativt långsamma härdningsförloppet vid normalklimatet 20/50. Detta framgår av fig 25 där dragspänningen vid 50% töjning avsatts som funktion av tiden vid olika lagringsklimat.

Man kan där konstatera att den normala härdningen fort-

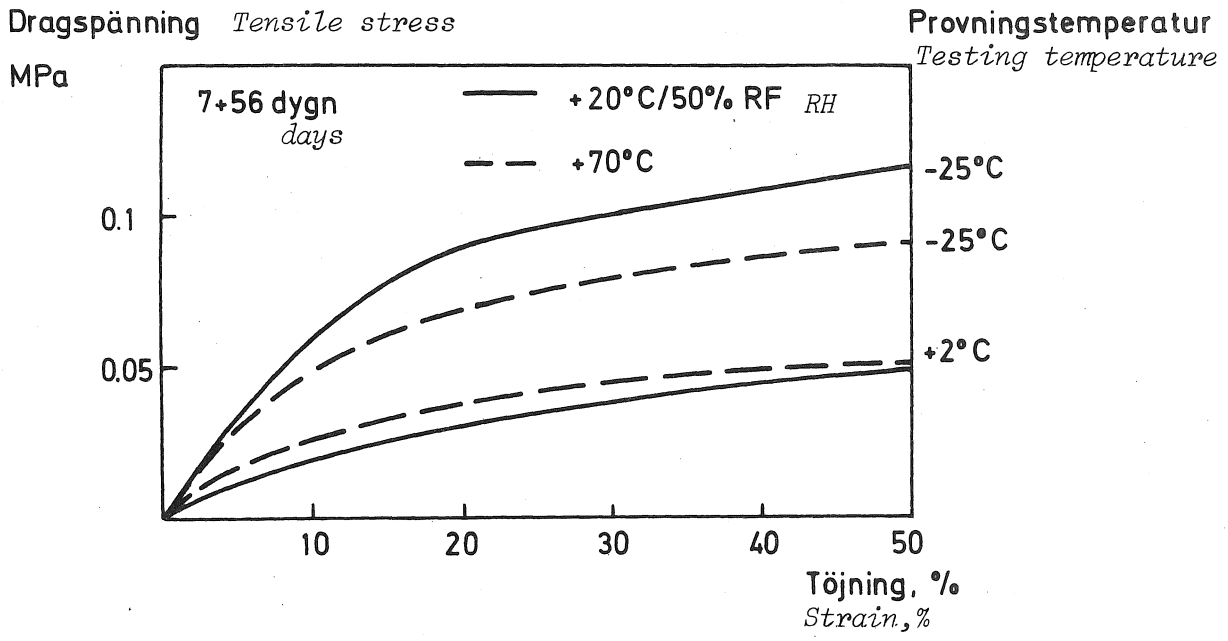


FIG 22 Arbetskurvor för "Material 1" efter värmelagring i olika klimat. Deformationshastighet: 0.001 mm/min.

Stress-strain curves for "Material No 1" heat-aged in different types of climate. Deformation speed: 0.001 mm/min.

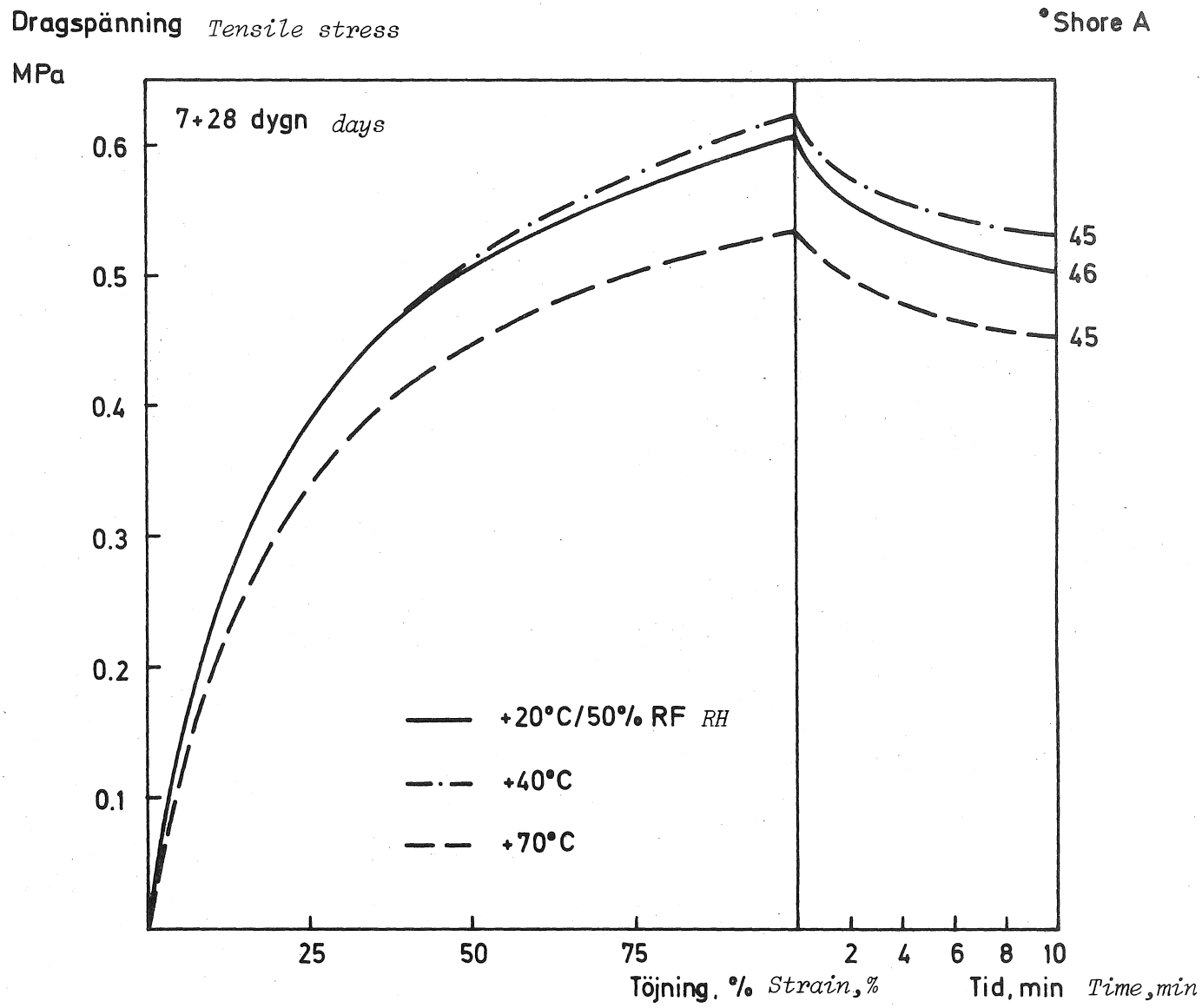


FIG 23 Arbetskurvor för "Material 2" värmeåldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 2" heataged at different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

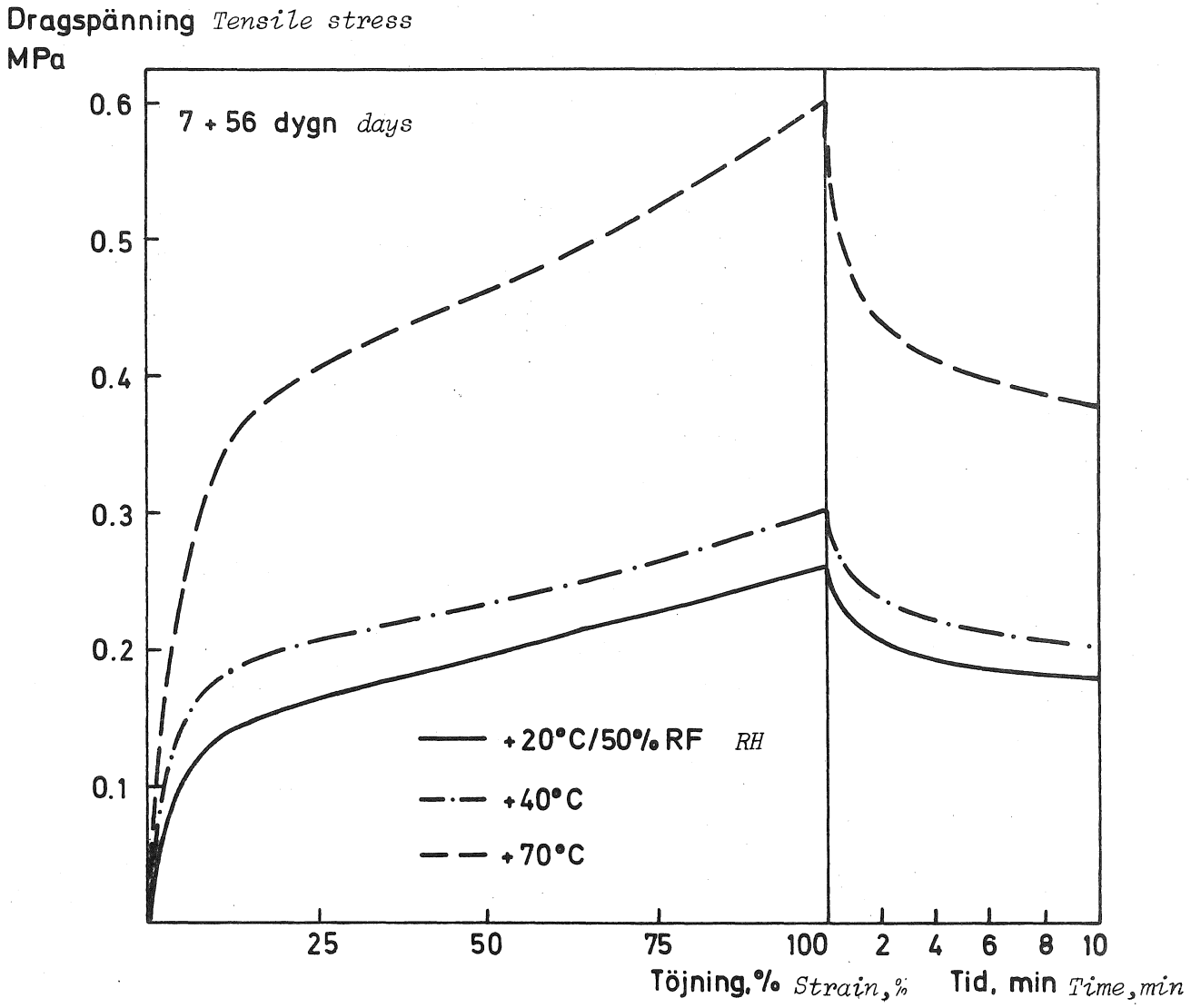


FIG 24 Arbetskurvor för "Material 3" värmeåldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 3" heataged at different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

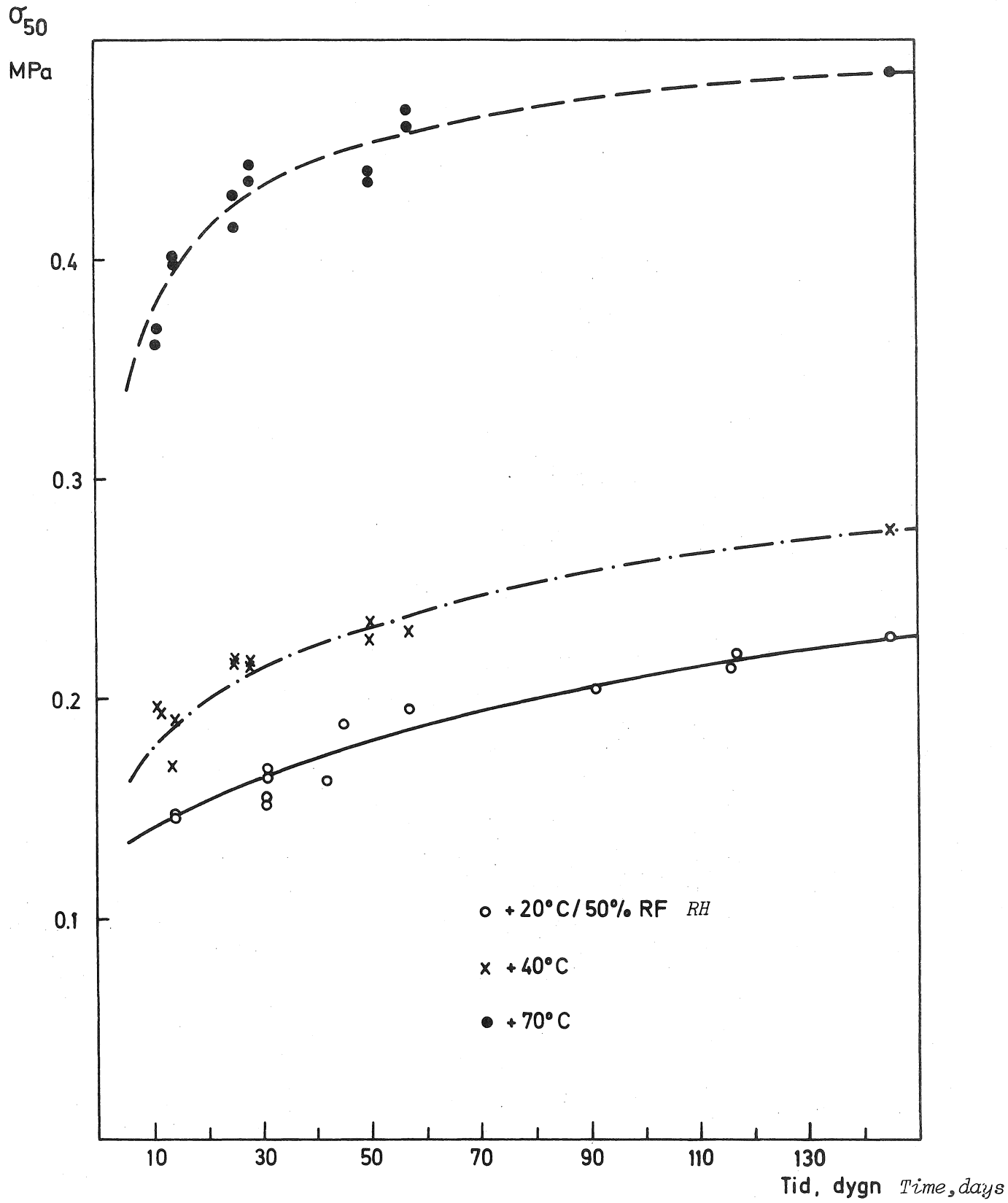


FIG 25 Dragspänning vid 50% töjning (= σ_{50}) för "Material 3" som funktion av lagringstid i olika temperaturer. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Stress at 50% tension (= σ_{50}) for "Material No 3" as a function of storeing time in different temperatures. Initial storeing: 7 days at +20°C/50% RH.

farande pågår efter mer än 150 dygns lagring i 20/50.

Ungefär samma tendens ger fig 26. Hårdheten uttryckt i ^{o} Shore A ligger betydligt över det av fabrikanten uppgivna (25 $\pm$ 5).

De stora skillnader i deformationsmotstånd mellan värmeåldrat och normallagrat material som visas i fig 24 utjämnas i någon mån vid den långsammare deformationshastigheten (fig 27).

6.2.4 Material 4

Material 4 är en 2-komponent fogmassa baserad på ett bindemedel med visst släktskap med polyuretanerna. Hårdheten anges av fabrikanten vara ca 18 ^{o} Shore A.

Arbetskurvorna efter värmeåldring framgår av fig 28 där också uppmätta hårdhetsvärden uttryckta i ^{o} Shore A redovisas. Materialet påverkas obetydligt av värmeåldringen. Dock ligger Shore A-värdena betydligt över det av fabrikanten uppgivna.

Provningstemperaturens och deformationshastighetens inverkan på arbetskurvan framgår av fig 29. Värmeåldringen har knappast påverkat materialet. Däremot ökar deformationsmotståndet vid provning vid -25°C.

6.2.5 Material 5

Detta material är en lösningsmedelsbaserad akrylatfogmassa. Materialet är plastiskt till sin deformationskaraktär och ett hårdhetsvärde uttryckt i ^{o} Shore A går därför ej och är dessutom meningslöst att försöka ange.

Arbetskurvor för normallagrat och värmeåldrat material framgår av fig 30. Det värmeåldrade materialet har blivit betydligt hårdare och sprödare, brottöjningen har minskat. Den markanta spänningstoppen som det värmeåld-

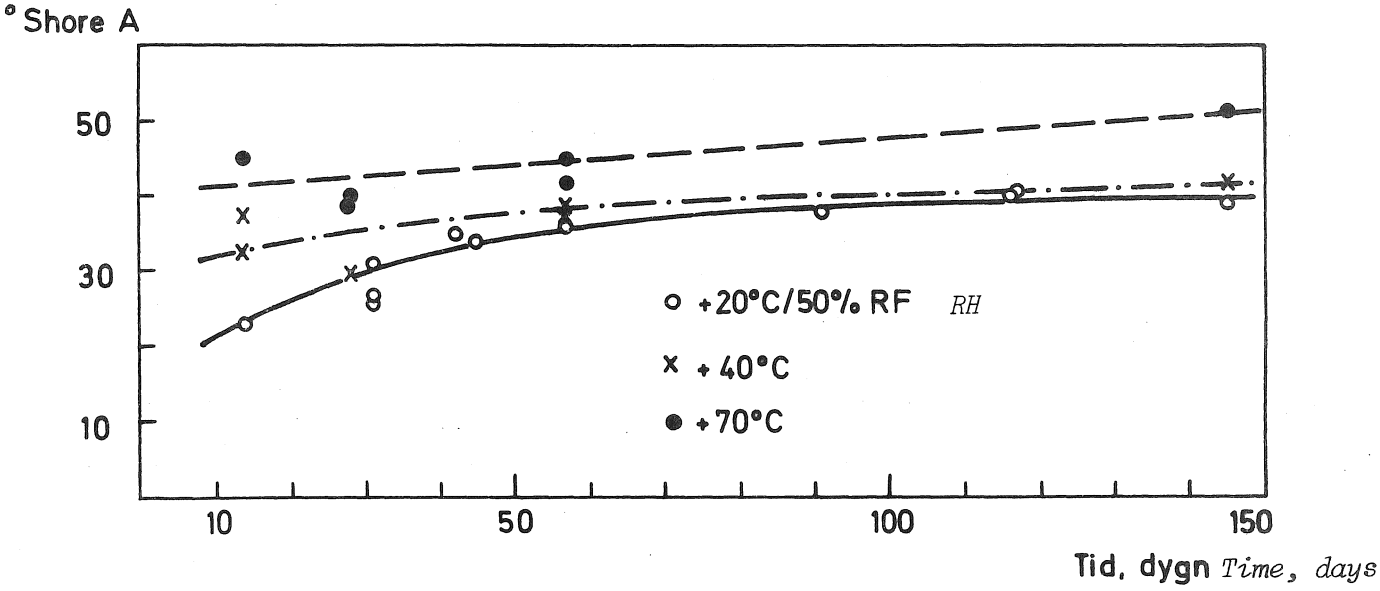


FIG 26 Hårdhet i °Shore A för "Material 3" som funktion av lagringstid i olika temperaturer. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Shore A-hardness for "Material No 3" as a function of storeing time at different temperatures. Initial storeing: 7 days at +20°C/50% RH.

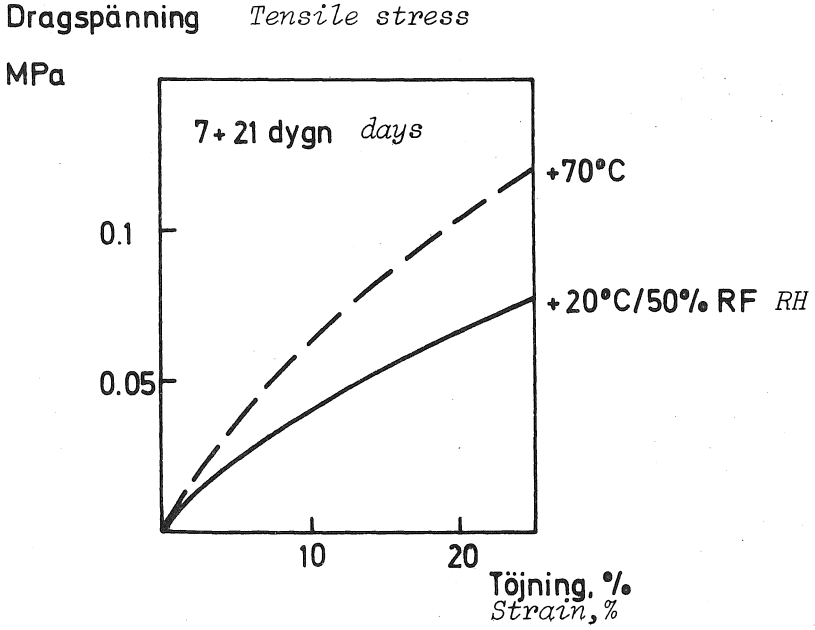


FIG 27 Arbetskurvor för "Material 3" efter värmelagring i olika klimat. Deformationshastighet: 0.001 mm/min. Provningstemperatur: +20°C.

Stress-strain curves for "Material No 3" after heat-ageing in different types of climate: Deformation speed: 0.001 mm/min. Testing temperature: +20°C.

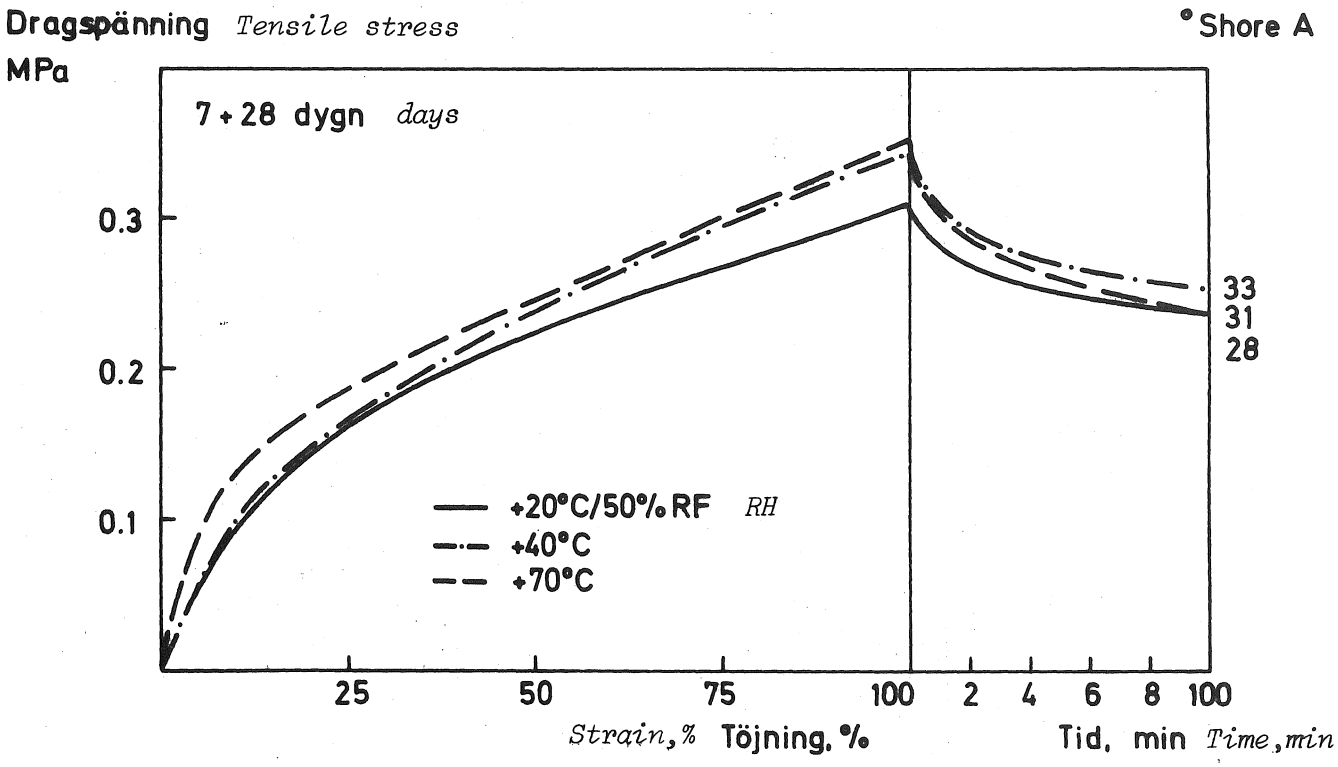


FIG 28 Arbetskurvor för "Material 4" värmeåldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 4" heataged at different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

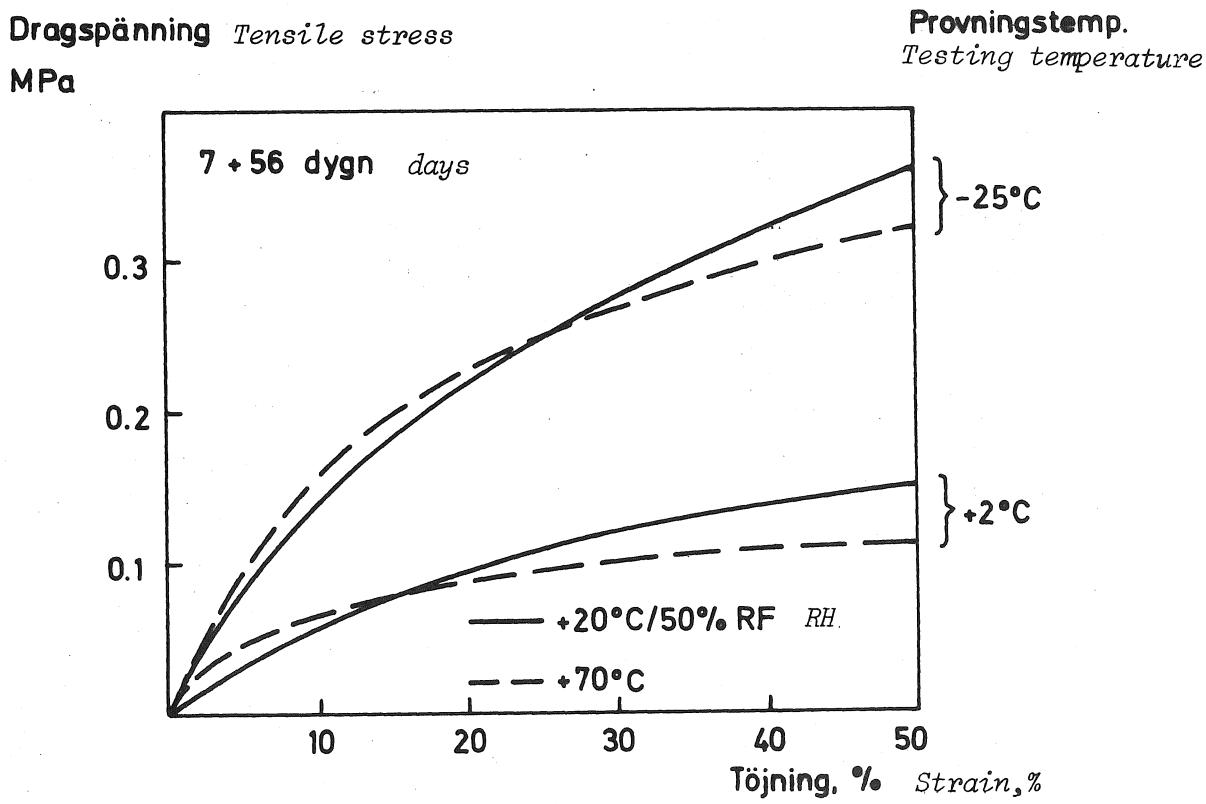


FIG 29 Arbetskurvor för "Material 4" efter värmeåldring i olika klimat. Deformationshastighet: 0.001 mm/min.

Stress-strain curves for "Material No 4" after heat ageing in different types of climate. Deformation speed: 0.001 mm/min.

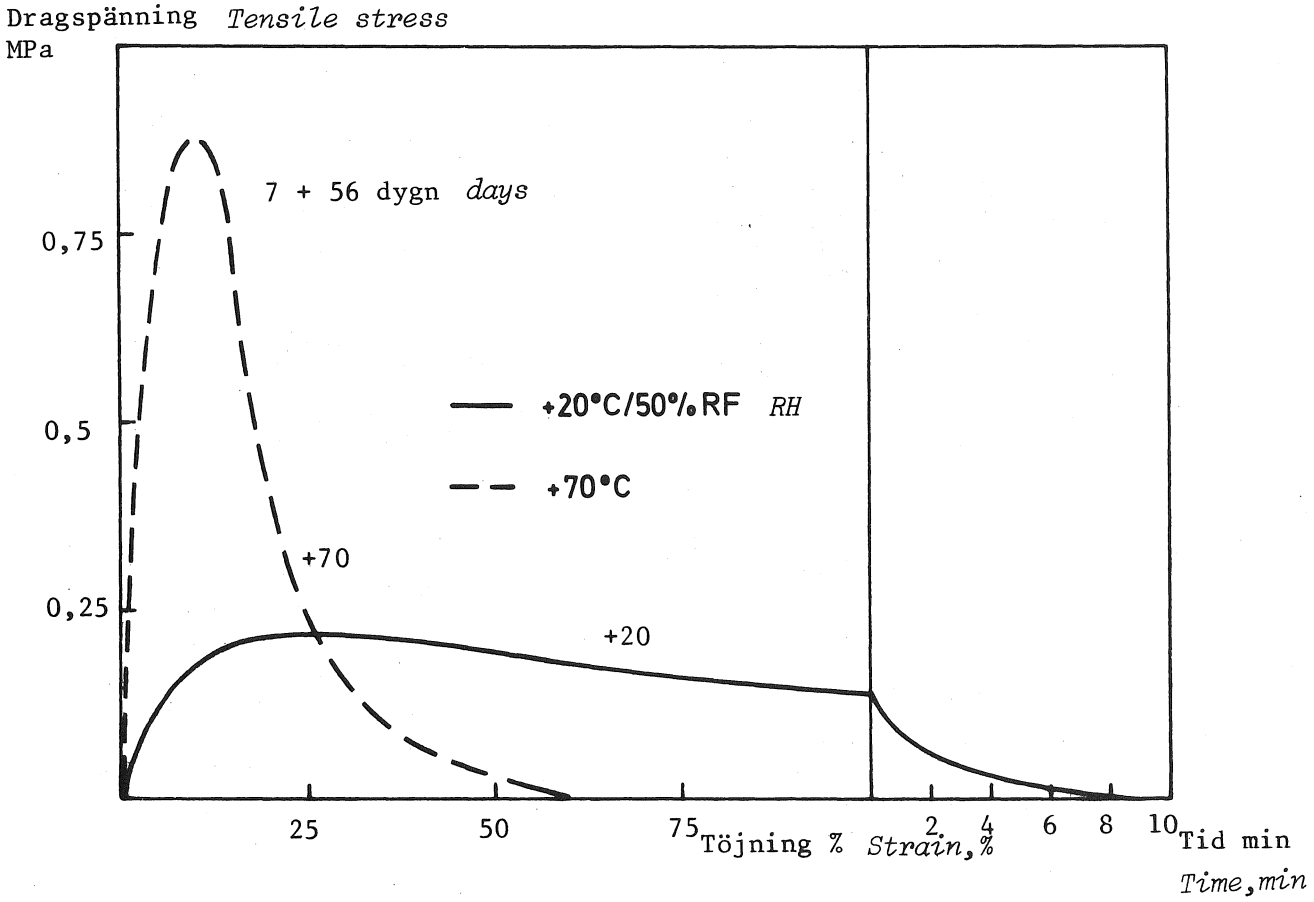


FIG 30 Arbetskurvor för "Material 5" värmeåldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 5" heataged at different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

rade materialet uppvisar är typisk för s k plastiska fogmassor. Deformationen fördelas ojämnt över fogbredden varvid den del som blir deformerad tar upp mindre och mindre spänning, räknat på ursprungligt fogtvärsnitt.

Värmeåldringen har i detta fallet startat efter 7 dygn i +20°C/50% RF. Materialet innehåller vid denna tidpunkt fortfarande en stor mängd lösningsmedel (jfr kapitel 5.1). Detta har medfört att lösningsmedlet har "kokat" ur fogmassan med stora kvarstående porer som följd, jfr fig 13 - 14. Detta innebär sannolikt att arbetskurvan för värmeåldrat material i verkligheten ligger betydligt högre än vad som framgår av fig 30.

6.2.6 Material 6

Detta material är också en lösningsmedelsbaserad akrylatfogmassa. Bindemedlet och formuleringen i övrigt har dock stora olikheter vid jämförelse med föregående material.

Värmelagring i +70°C höjer deformationsmotståndet ganska markant, fig 31 - 33. Deformationsförloppet för det värmeåldrade materialet har en seg karaktär, delvis påminnande om vissa elastiska fogmassors. Den relativt stora relaxationen vid 100% töjning visar dock plasticiteten i materialet.

Inga arbetskurvor redovisas efter 56 dygns värmeåldring i +70°C. Detta beror på att i allmänhet uppstod partiellt adhesionsbrott efter så lång tids värmeåldring, oavsett om värmeåldringen startade efter 7 eller 21 dygn i normalklimat.

Fig 31 - 32 visar att tidpunkten för värmelagringens start har en viss betydelse. Prov där värmeåldringen startar efter 7 dygn i normalklimatet får en högre liggande arbetskurva jämfört med prov värmeåldrade

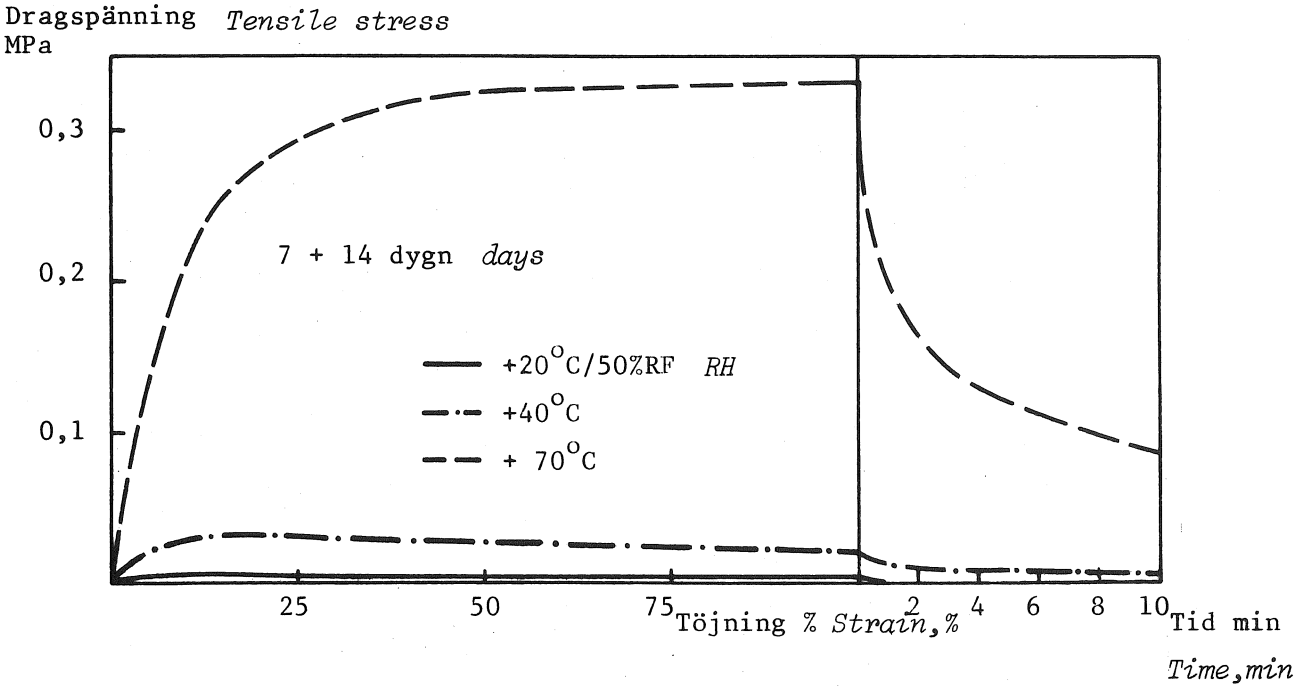


FIG 31 Arbetskurvor för "Material 6" värmeåldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 6" heataged at different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

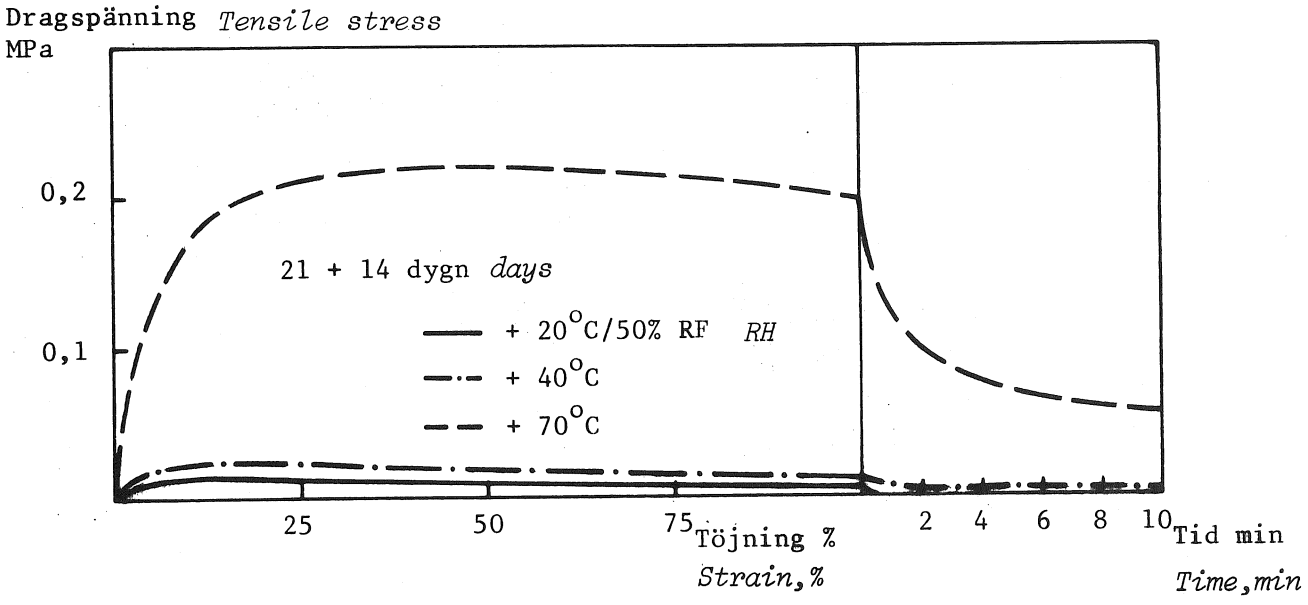


FIG 32 Arbetskurvor för "Material 6" värmeåldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 6" heataged at different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

efter 21 dygn i 20/50. Detta måste förklaras med att olika mängder och olika ingående komponenter bortgår i de båda fallen (se kapitel 6.7).

Erhållna dragspänningsvärden vid 50% töjning för material 6 har sammanfattats i fig 34. Ökningen av σ_{50}-värdena för material lagrat i normalklimat och +40°C följer ett regelbundet samband. Efter värmeåldring i +70°C fås dock mycket stor spridning i mätvärdena. Detta beror på de adhesionsbrott som uppstod efter lång tids lagring i +70°C. Materialet blir avsevärt hårdare vid en höjning av värmeåldringstemperaturen från +40°C till +70°C.

Om materialet töjs vid en rimligare nivå på deformationshastigheten fås arbetskurvorna enligt fig 35. Värdena för de värmeåldrade proven är dock något osäkra p g a de adhesionsbrott och sprickor som uppstod under värmeåldringen. Figuren visar dock att det normallagrade materialet endast blir obetydligt hårdare vid sänkning av provningstemperaturen till -25°C. Det värmeåldrade provet är dock klart termoplastiskt.

6.2.7 Material 7

Material 7, en dispersionsbaserad akrylatfogmassa, skiljer sig avsevärt från de båda lösningsmedelsbaserade akrylatfogmassorna som tidigare behandlats. Materialet har en markant elastisk andel vilket framgår av fig 36 - 37. Töjningsmotståndet fördubblas ungefär efter värmeåldringen. Den plastiska andelen medför dock att spänningsrelaxationen vid 100% töjning blir relativt stor (fig 36).

Vid en sänkning av deformationshastigheten, fig 37, sjunker töjningsmotståndet markant, både för det värmeåldrade och det normallagrade materialet.

Materialet är så pass elastiskt att hårdhetsvärden ut-

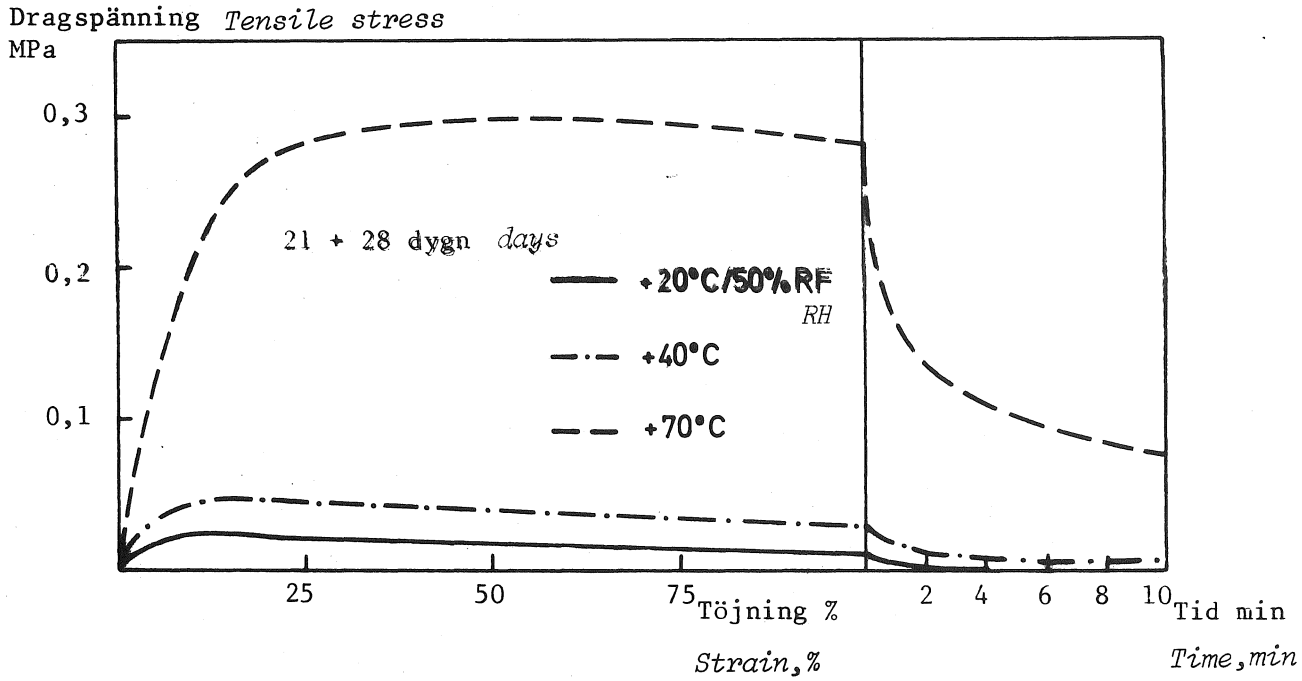


FIG 33 Arbetskurvor för "Material 6" värmeåldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 6" heataged at different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

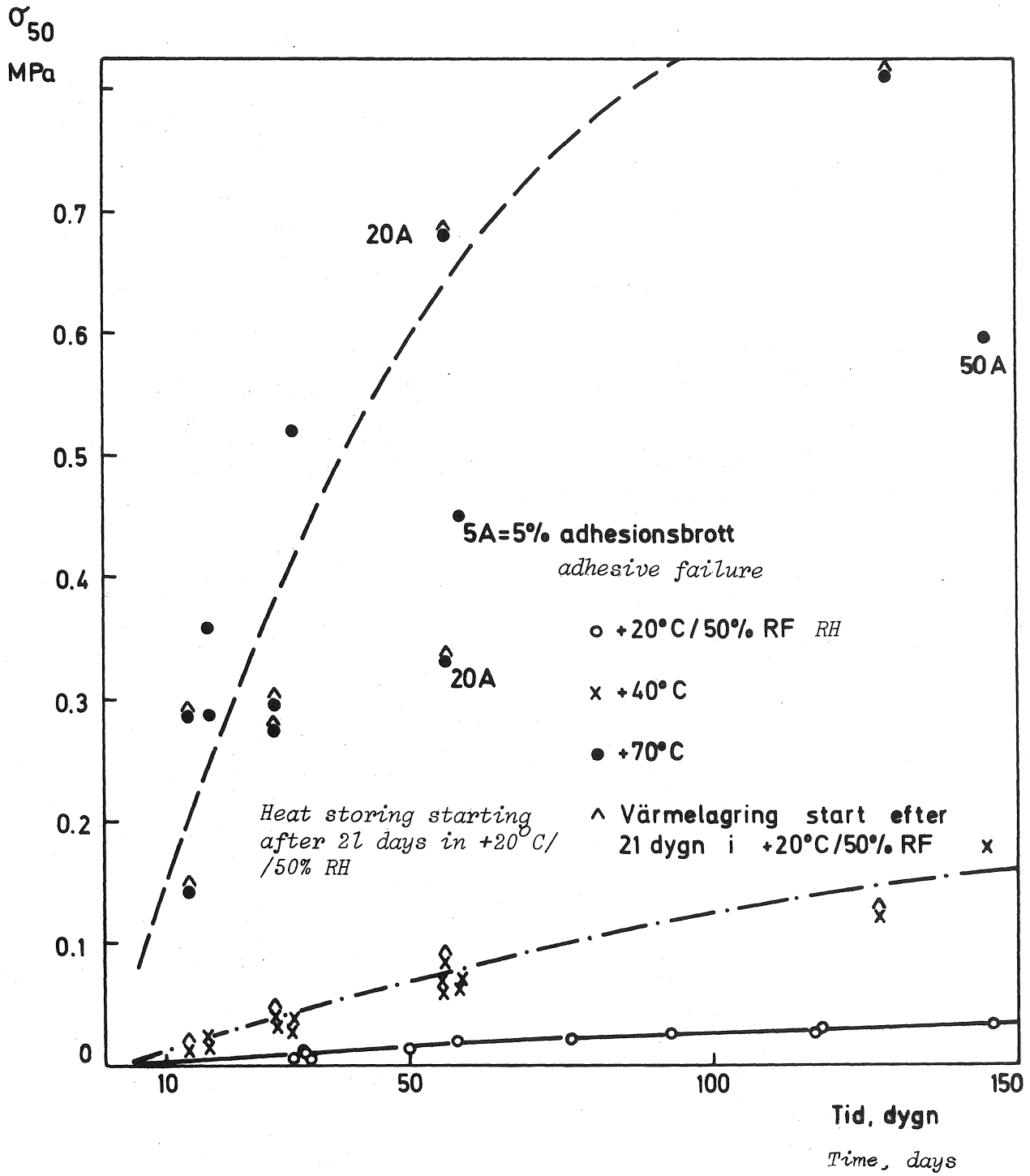


FIG 34 Dragspänning vid 50% töjning (= σ_{50}) för "Material 6" som funktion av lagringstid i olika temperaturer. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Stress at 50% tension (= σ_{50}) for "Material No 6" as a function of storeing time in different temperatures. Initial storeing: 7 days at +20°C/50% RH.

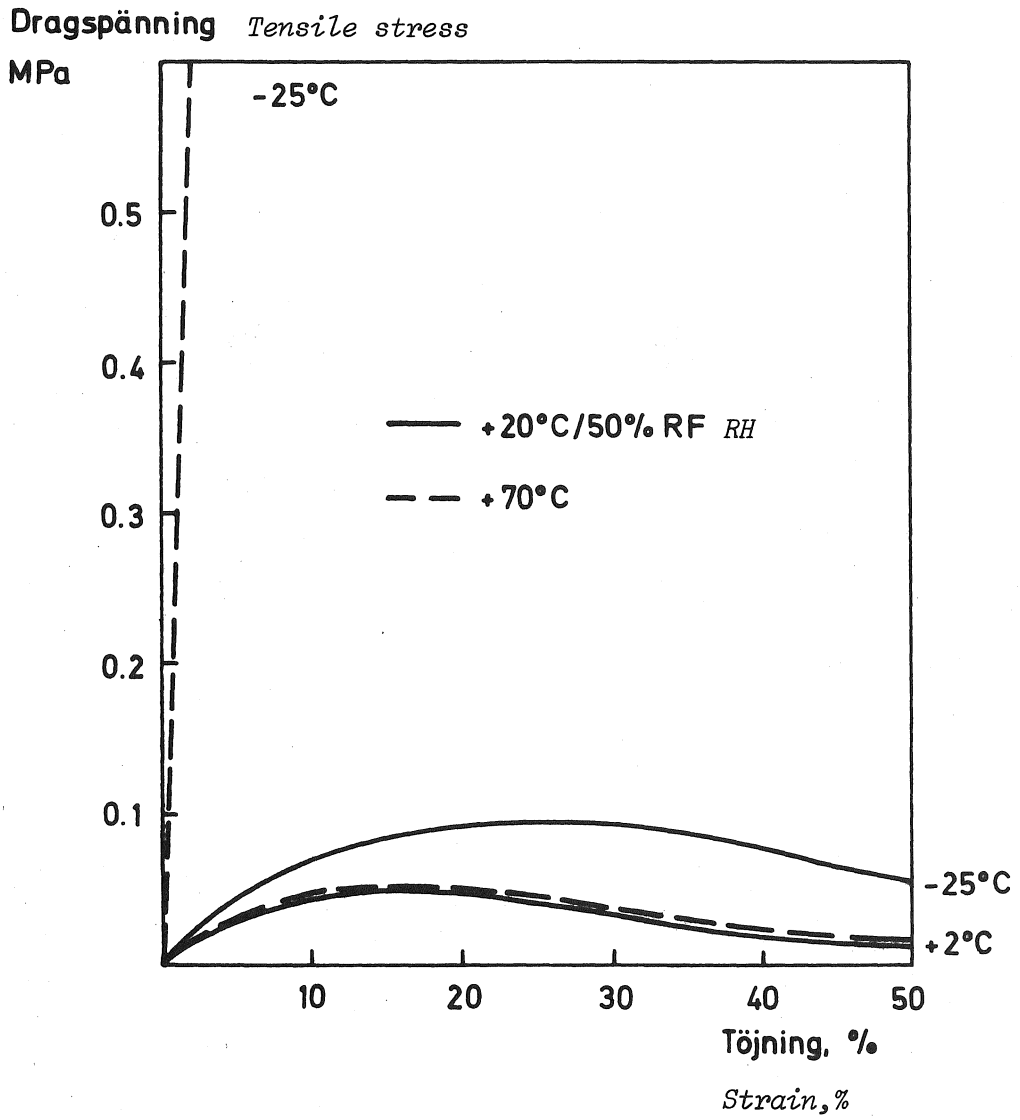


FIG 35 Arbetskurvor för "Material 6" efter värmeåldring i olika klimat. Deformationshastighet: 0.001 mm/min.

Stress-strain curves for "Material No 6" after heat ageing in different types of climate. Deformation speed: 0.001 mm/min.

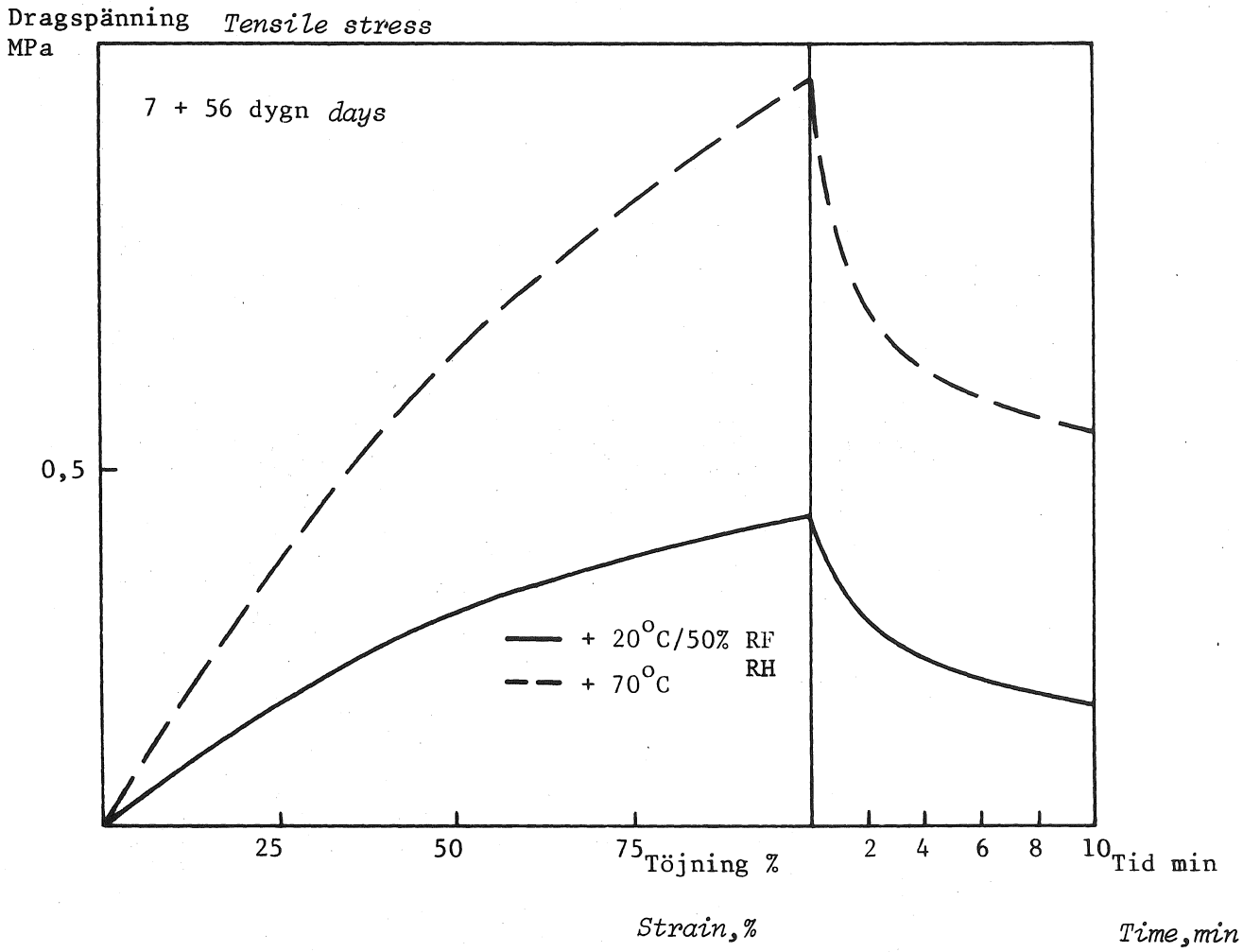


FIG 36 Arbetskurvor för "Material 7" åldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 7" aged at different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

tryckta i ^{o} Shore A kan vara meningsfulla att ange. Fig 38 visar sådana värden efter varierande tid i olika klimat. Materialets hårdhet vid lagring i +20°C/50% RF fortsätter långsamt att öka även efter ungefär 50 dygn då redan lejonparten av vattnet avdunstat, jfr kapitel 6.7. De erhållna hårdhetsvärdena kan jämföras med det av tillverkaren uppgivna, ∿ 15 ^{o} Shore A. De här uppmätta avviker som synes väsentligt från detta värde.

6.2.8 Material 8

Detta material är en oljebaserad fogmassa. De flesta egenskaper avviker väsentligt från de som de tidigare behandlade materialen uppvisar. Detta gäller t ex härdningsförlopp, härdningsmekanism och det sätt på vilket materialet fyller sin tätande funktion. Detta innebär också att materialet blir ganska svårt att testa i laboratorium.

Efter applicerandet börjar en oxidation på ytan varvid en relativt töjbar hud bildas. Materialet fungerar bra så länge denna hud är hel eftersom denna i stor utsträckning förhindrar fortsatt oxidation av den inre delen av fogprofilen.

Värmeåldringens effekt framgår av fig 39. Spänningstoppens läge förskjuts något mot minskande tjöning efter värmeåldringen. Detta beror på att den förhöjda temperaturen ökar skinntjockleken samtidigt som även en viss oxidation sker i kärnan av materialet. Vid en viss töjning brister skinnet. Detta medför att den fortsatta töjningen av fogbredden kommer att lokaliseras till det parti av kärnan där ytsprickan går in. På grund av den oxidation som delvis också ägt rum i kärnan p g a den höga temperaturen har dess förmåga att fördela töjningen i viss mån minskat.

Om töjningshastigheten sänks till ∿ 0.001 mm/min, fig 40, minskar dragspänningarna drastiskt. Figuren ger

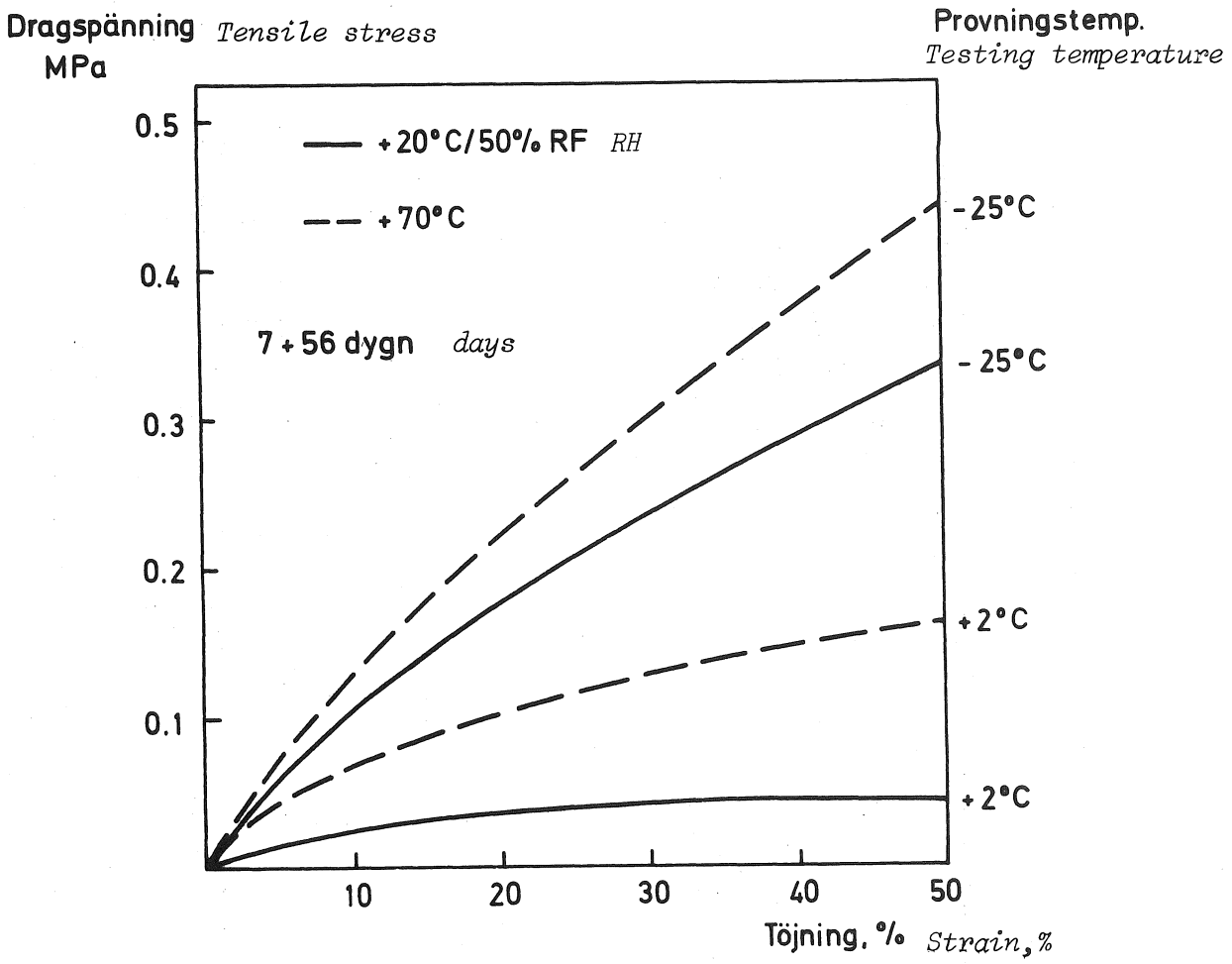


FIG 37 Arbetskurvor för "Material 7" åldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 0.001 mm/min.

Stress-strain curves for "Material No 7" aged at different temperatures. Deformation speed: 0.001 mm/min.

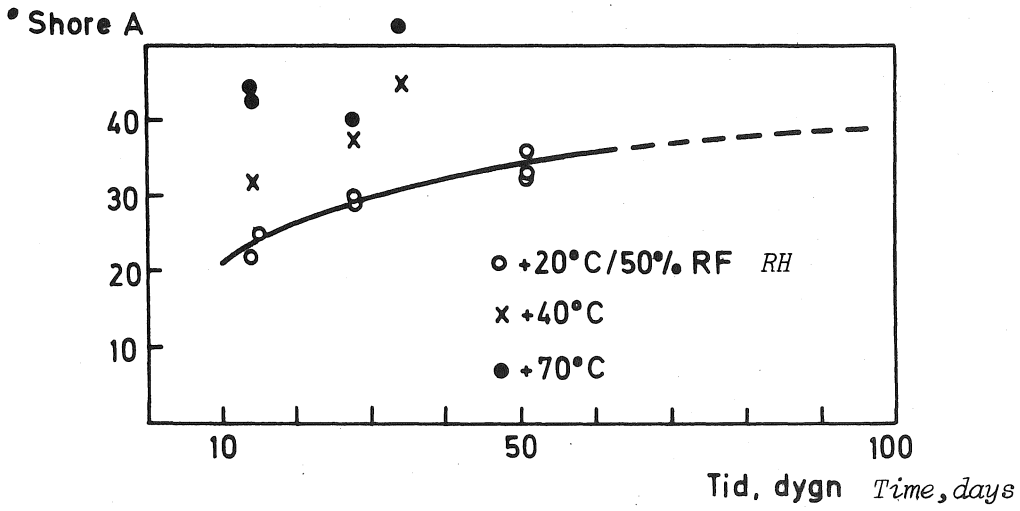


FIG 38 Hårdhet i °Shore A för "Material 7" som funktion av lagringstid i olika temperaturer. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Shore A-hardness for "Material No 7" as a function of storeing time at different temperatures. Initial storeing: 7 days at +20°C/50% RH.

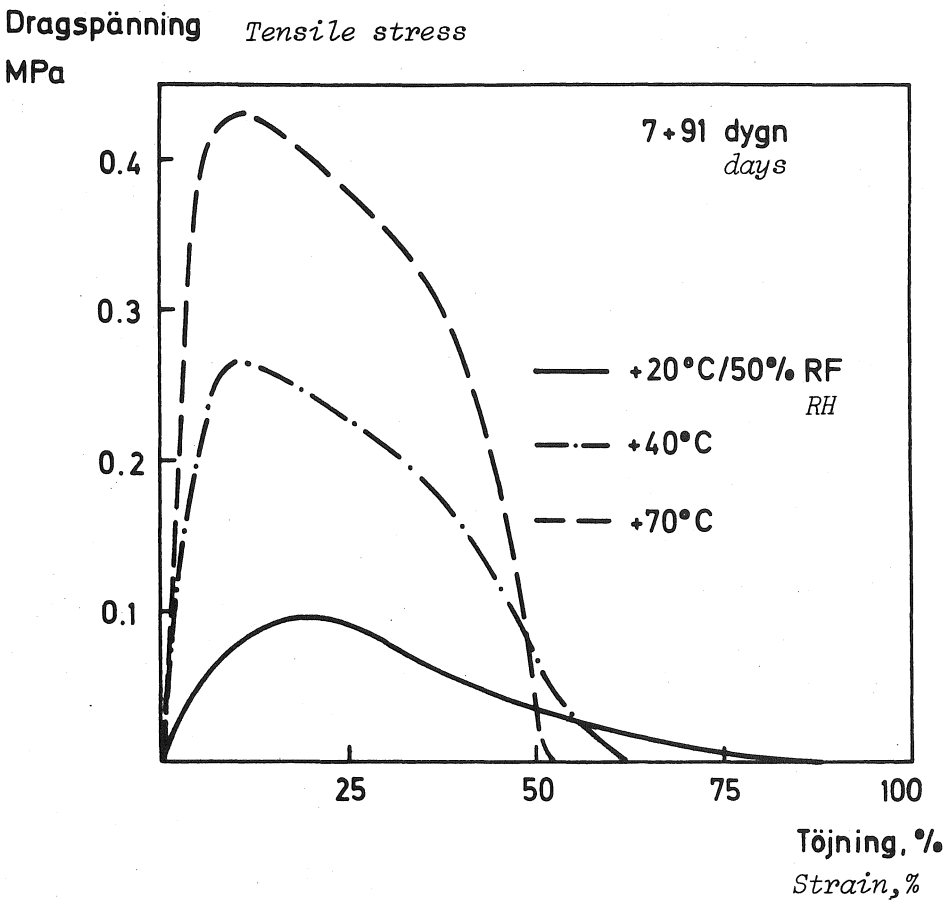


FIG 39 Arbetskurvor för "Material 8" värmeåldrat i olika temperaturer. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 8" heataged at different temperatures. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

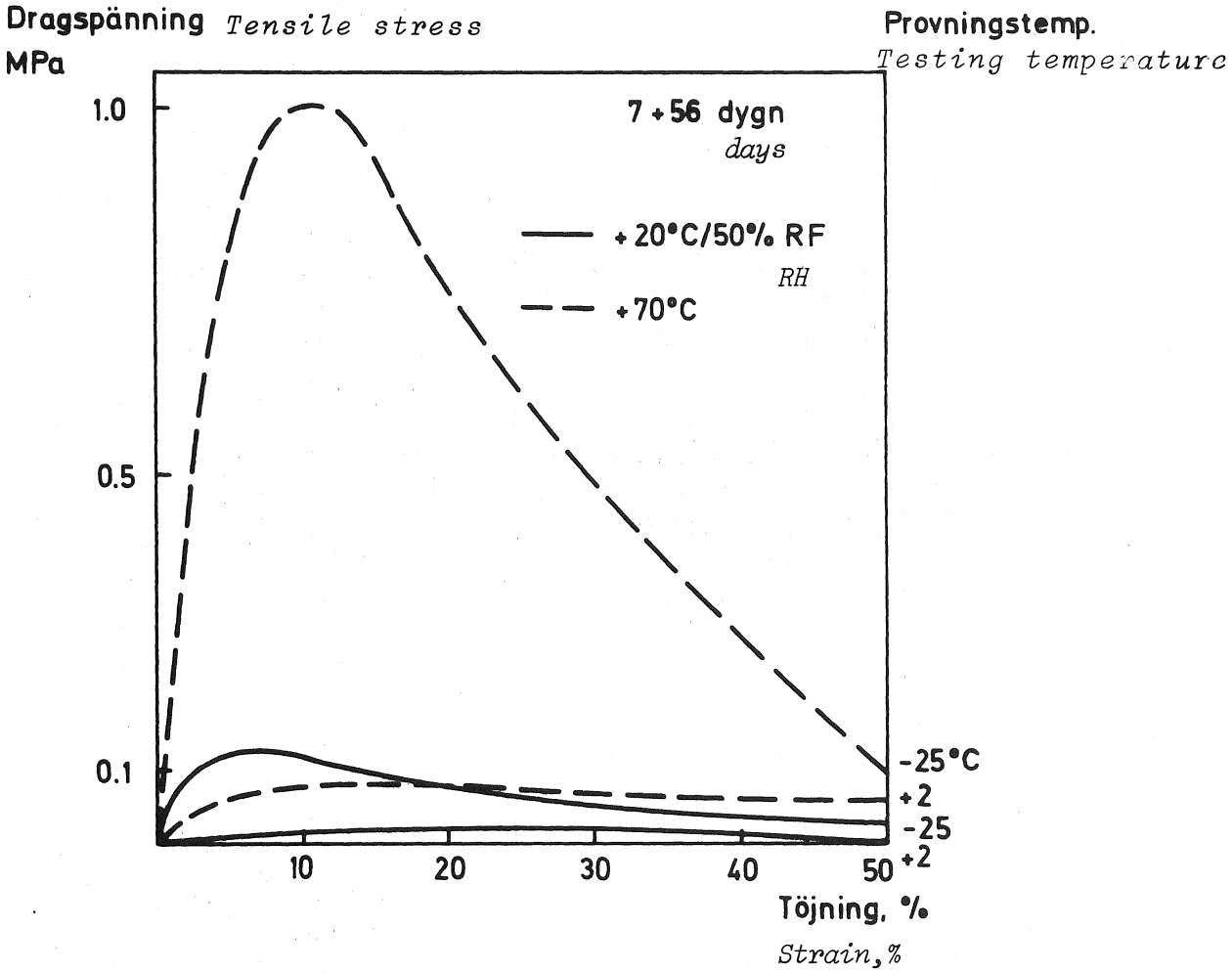


FIG 40 Arbetskurvor för "Material 8" efter värmeåldring. Deformationshastighet: 0.001 mm/min.

Stress-strain curves for "Material No 8" after heat ageing. Deformation speed: 0.001 mm/min.

också en uppfattning om provningstemperaturens inverkan på provningsresultatet.

En oljebaserad fogmassas förmåga att fungera bygger väsentligen på att ytskinnets tjocklekstillväxt ej sker för snabbt samtidigt som den bildade huden besitter viss töjbarhet.

Skinnets tjocklek har därför bestämts vid olika tillfällen. Detta har skett efter lagring i varierande klimat. Ett snitt har skurits med en skalpell i fogmassan. Detta snitt har betraktats med en lupp. Med hjälp av den i luppen inbyggda mätskalan har skinntjockleken bestämts med en noggrannhet på 5/100 mm när. Eftersom fasgränsen mellan skinn och kärna är relativt väl definierad har detta ej berett några svårigheter.

Fig 41 visar sambandet mellan skinntjockleken som funktion av tiden. Sambandet beskriver ungefär en rät linje i det dubbellogaritmiska diagrammet. Kurvan gäller för material lagrat i +20°C/50% RF och för material lagrat i normalt laboratorieklimat, ung +22°C/40% RF. I figuren har också inlagts värden för provkroppar som lagrats i UV-kammaren vid +20°C. Även värden för provkroppar lagrade utomhus har inprickats. En punkt avser prov som tagits på en ca 8 år (2920 dygn) gammal fog mellan 2.7 m långa betongelement. Fogen är orienterad mot sydväst. De flesta av dessa värden (utom två UV-lagrade prov) faller väl in i sambandet i figuren.

Vid lagring av provkroppar i förhöjd temperatur sker naturligtvis tjocklekstillväxten av skinnet snabbare än vad sambandet i figuren anger.

Med hjälp av de skinntjocklekar som uppmätts efter lagring i +40 och +70°C har därför de verkliga lagringstiderna i respektive temperatur omräknats till ekvivalenta tider i +20°C/50% RF. Beräkningsgången framgår delvis av exemplet i figuren.

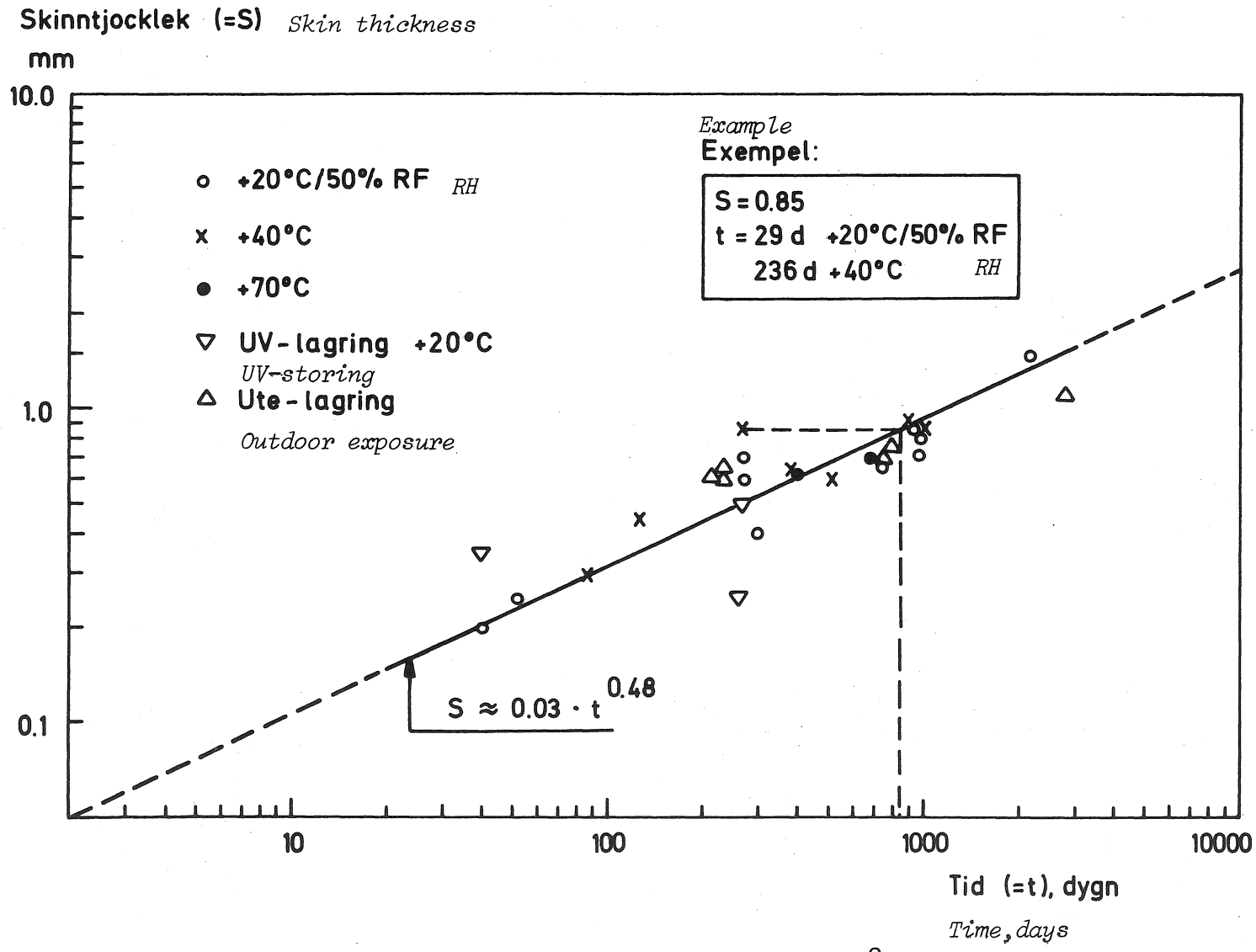


FIG 41 Skinntjockleken som funktion av lagringstiden i +20°C/50% RF för "Material 8". Beräkning av ekvivalent lagringstid i +20°/50% RF för material lagrat i +40°C eller +70°C.

Skin thickness as a function of storeing time at +20°C/50% RH for "Material No 8". Computing of equivalent storeing time at +20°C/50% RH for material stored at +40°C and +70°C.

Punkten S = 0.85 /t = 265 (29 d i +20/50 och 236 d i +40°C) har enligt figuren en ekvivalent härdningstid på ca 850 dygn vid 20/50. Antag att tillväxten av skinnet sker x ggr snabbare i +40°C än i +20°C/50% RF.

$$29 + x \cdot 236 = 850$$

$$x \sim 3.5$$

Medelvärdet för motsvarande beräkningar för ett antal andra punkter blev ca 4.0. Efter att ha räknat om de verkliga tiderna i respektive klimat till ekvivalenta tider har därefter de värmelagrade provkropparnas värden prickats in i figuren. Som synes ligger värdena relativt väl samlade.

Motsvarande beräkningar för material lagrat i +70°C gav en förstoringsfaktor på ca 22.

Man kan alltså säga att en värmelagring i +40°C ger en 4 ggr så snabb åldring som en vid +20°C/50% RF. För värmelagring i +70°C gäller faktorn 22.

Tiden i +70°C måste dock maximeras (∿ < 100 dygn) eftersom denna höga temperatur på längre sikt ger en oxidation och kraftig viskositetsökning av kärnan oberoende av skinnets tjocklekstillväxt. Denna effekt uppstår ej i naturligt klimat.

6.3 Fukt- och alkalipåverkan

Problem uppstod med att hålla de avsedda pH-värdena i fukt- och alkalibaden. Avsedd nivå på pH-värdet vid fuktlagringen var ∿ 4.0. Detta värde försköts dock så småningom mot nivån 6.0. Genom att byta baden relativt ofta kunde baden dock hållas vid pH 4 - 6.

Även vid alkalipåverkan förändrades pH-värdet ganska

snabbt. Avsedd nivå var 11.0 men detta värde gick efter ungefär en veckas tid ned till ∿ 6.5. Även här fick alltså baden bytas ofta. I genomsnitt har pH-värdet för alkalibaden varit av storleksordningen 9 - 10.

Fukt- och alkalipåverkan redovisas nedan parallellt eftersom provningsmetodiken i de olika fallen är mycket snarlika. Dessutom visade det sig att för de flesta material erhölls mycket små skillnader i påverkan vid fukt- eller alkalilagringen.

6.3.1 Material 1

Genom att jämföra arbetskurvorna för provkroppar som lagrats i vatten- och alkalibaden, fig 42, med arbetskurvan för material lagrat i normalklimatet 20/50 kan konstateras att ingen signifikant skillnad finns.

Detsamma gäller om man jämför σ_{50} för andra tidpunkter, fig 43 och fig 20.

6.3.2 Material 2

För detta material gäller samma förhållande som för föregående material. Dessutom har en stor mängd adhesions- och kohesionsbrott stört jämförelserna.

6.3.3 Material 3

Fig 44 och 45 visar att inga signifikanta skillnader finns mellan de vatten- och alkalilagrade provkropparna.

Däremot, om man jämför dessa provkroppar med material som lagrats i 20/50 (fig 44 och 24) finns märkbara skillnader. Om man jämför kurvorna i fig 44 med fig 24 framgår att vattenlagringen medför en betydligt större hårdhetsökning än vad t ex +40°C innebär. Samma sak framgår om fig 45 jämförs med fig 25. Fig 45 visar

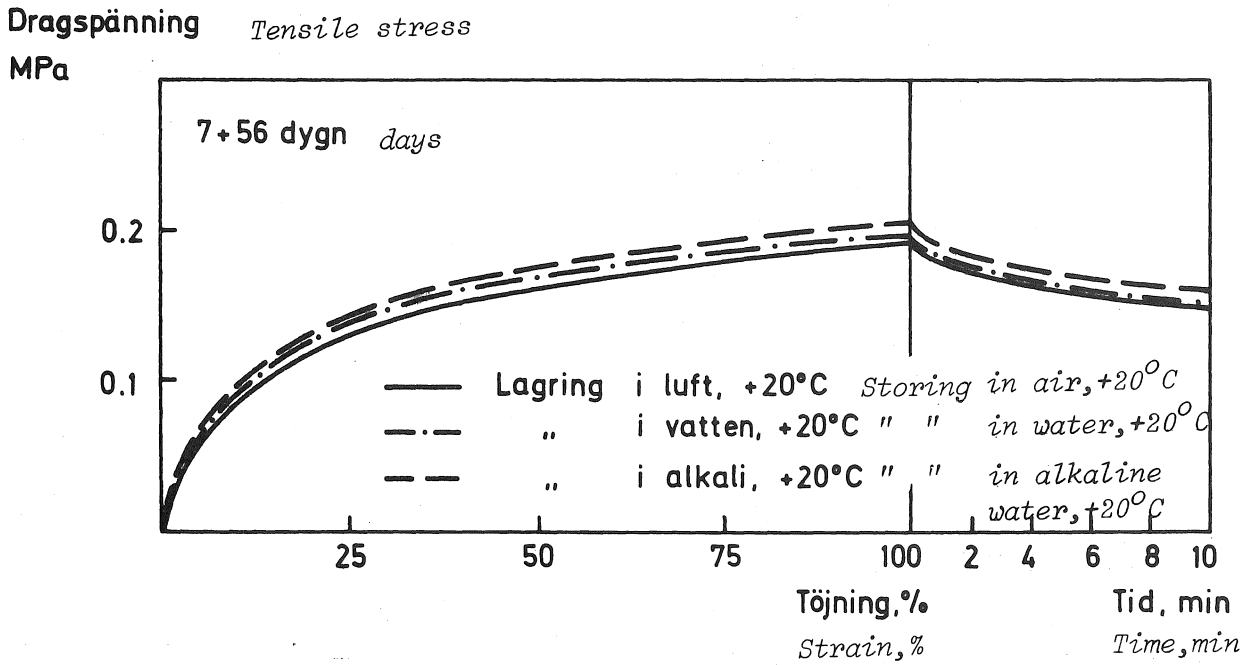


FIG 42 Arbetskurvor för "Material 1" efter lagring i luft, vatten och alkali. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 1" after storeing in air, water and alkaline water. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

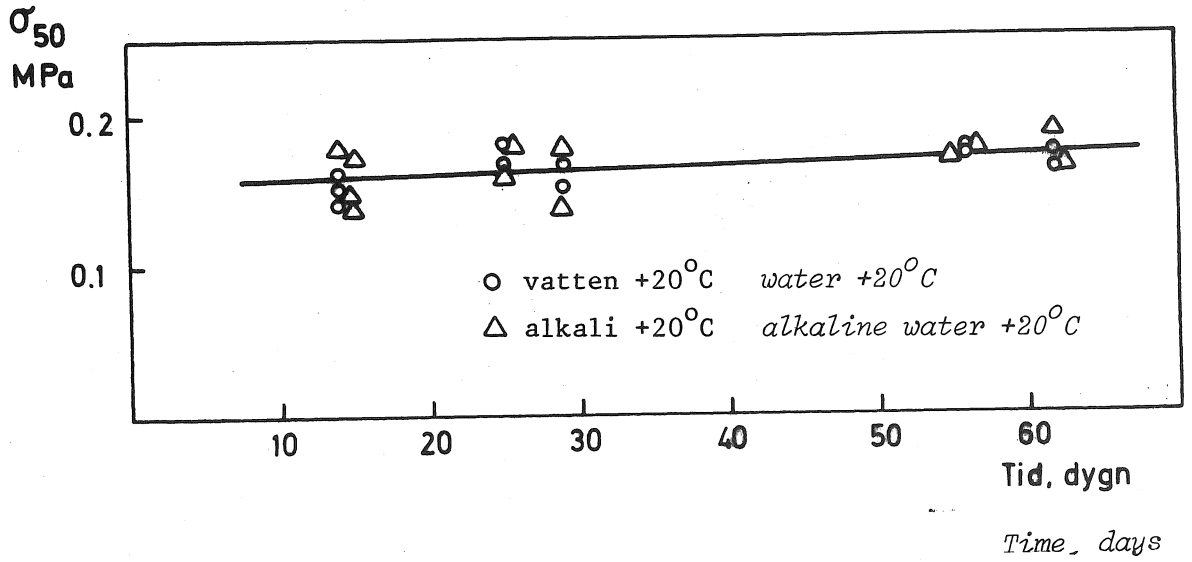


FIG 43 Dragspänning vid 50% töjning (= σ_{50}) för "Material 1" som funktion av lagringstid i vatten och alkali. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Stress at 50% tension (= σ_{50}) for "Material No 1" as a function of storeing time in water and alkaline water. Initial storeing: 7 days at +20°C/50% RH.

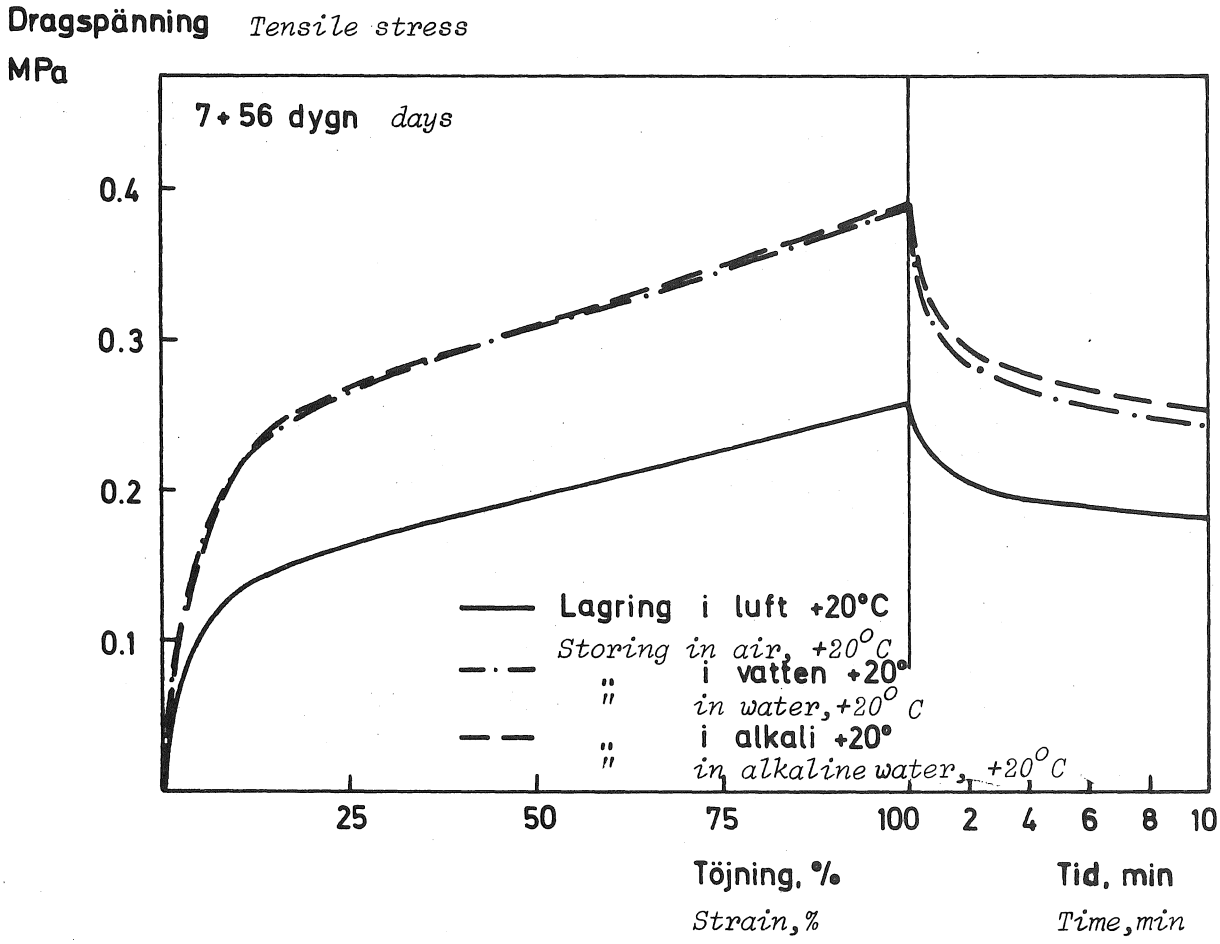


FIG 44 Arbetskurvor för "Material 3" efter lagring i luft, vatten och alkali. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 3" after storeing in air, water and alkaline water. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

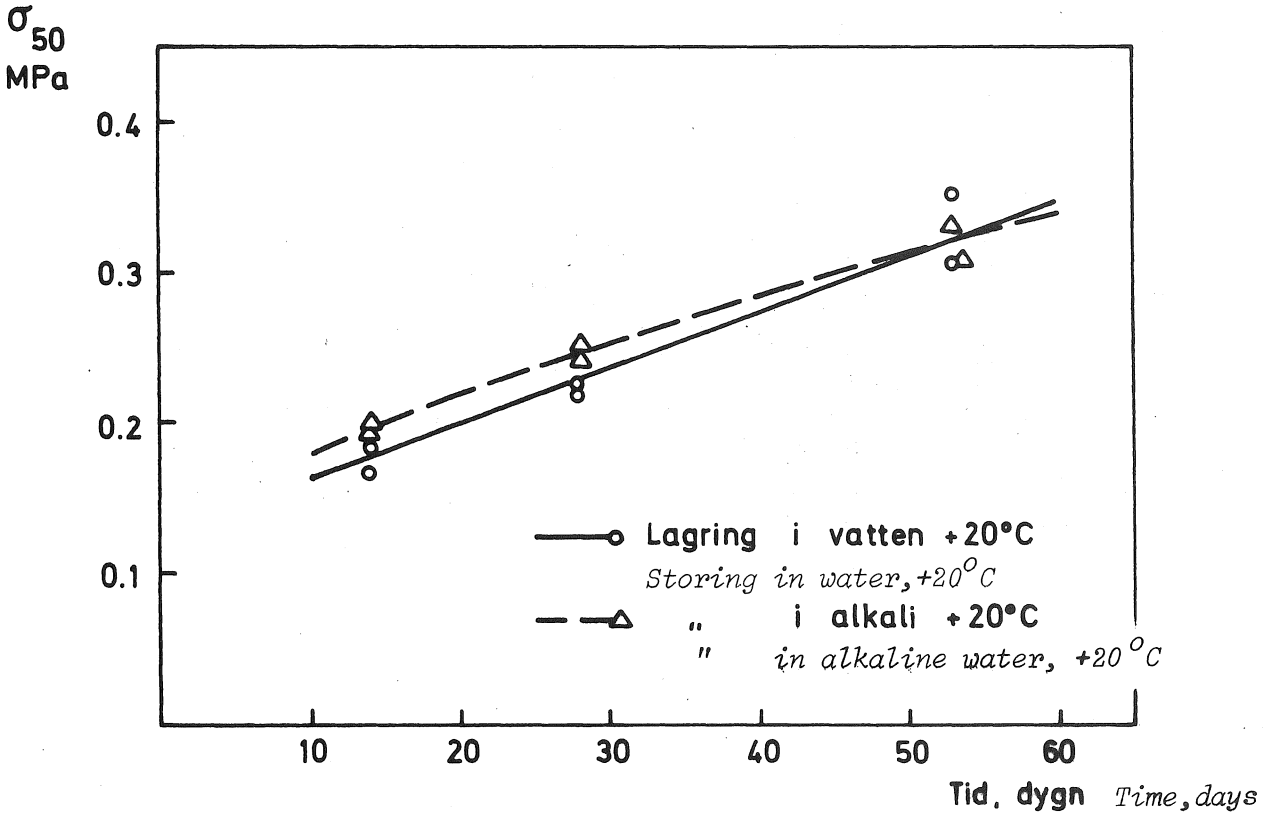


FIG 45 Dragspänning vid 50% töjning (= σ_{50}) för "Material 3" som funktion av lagringstid i vatten och alkali. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Stress at 50% tension (= σ_{50}) for "Material No 3" as a function of storeing time in water and alkaline water. Initial storeing: 7 days at +20°C/ 50% RH.

dessutom att hårdhetsökningen fortfarande pågår efter drygt 50 dygns vattenlagring.

Eftersom material 3 härdar med hjälp av luftfuktigheten är det naturligt att vattenlagringen påskyndar härdningsförloppet. Efter dryga 50 dygn borde dock den "normala" härdningen vara avslutad. Hårdhetsökningen vid denna tidpunkt hänger därför sannolikt samman med andra mekanismer.

6.3.4 Material 4

För material 4 gäller att lagringen i vatten- och alkalibaden ger en viss uppmjukning. Detta avspeglas t ex i fig 46. Detta beror sannolikt på att materialet vid fuktlagringen tar upp viss mängd vatten, jfr kapitel 6.7.

6.3.5 Material 5

Inga arbetskurvor finns att redovisa för material 5. Detta beror på att materialet är så plastiskt och utövar så litet deformationsmotstånd att eventuella skillnader är svåra att kvantifiera på detta sätt. Däremot har krympning och viktminskning bestämts vid vatten- och alkalilagring, se kapitel 6.7.

6.3.6 Material 6

Material 6 är också huvudsakligen plastiskt till sin karaktär men trots detta finns i fig 47 arbetskurvor redovisade efter vatten- och alkalilagringen. Om arbetskurvan bestäms direkt efter vatten- eller alkalilagringen visar det sig att materialet blivit mjukare. Detta beror på att materialet har tagit upp vatten, jfr kapitel 6.7. Det framgår också vid en okulärbesiktning eftersom fogprofilen har svällt och dessutom har en uppluckring skett av ytan. Detta senare gäller i speciellt hög grad vid alkalilagringen.

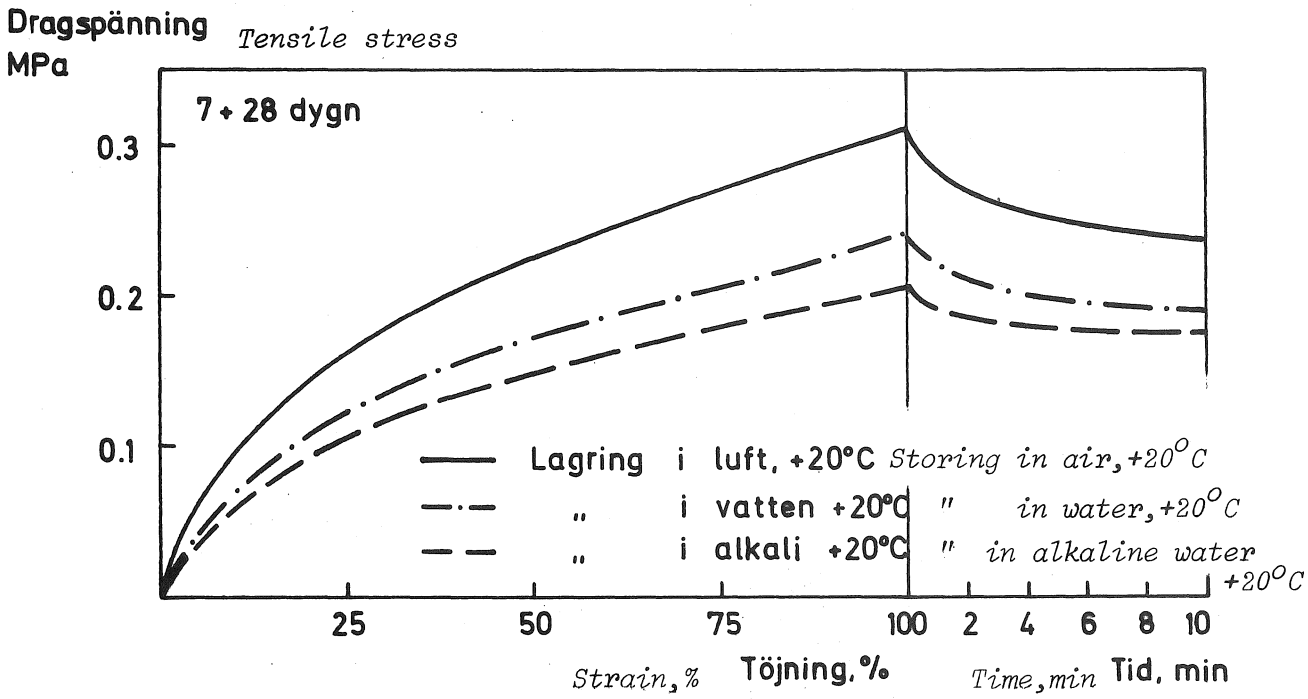


FIG 46 Arbetskurvor för "Material 4" efter lagring i luft, vatten och alkali. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 4" after storeing in air, water and alkaline water. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

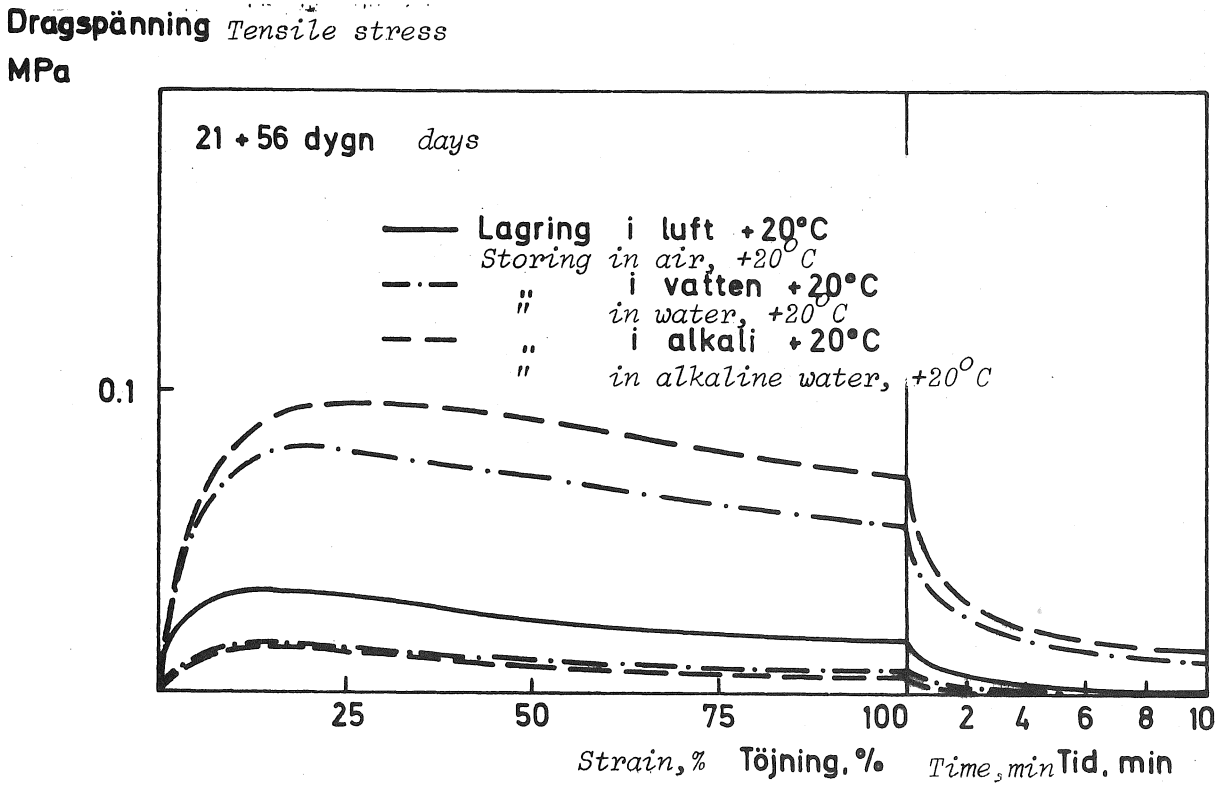


FIG 47 Arbetskurvor för "Material 6" efter lagring i luft, vatten och alkali. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 6" after storeing in air, water and alkaline water. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

Om provkropparna efter fukt- resp alkalilagringen tillåts torka ut så har effekten i stället blivit en ökning av hårdheten hos materialet, fig 47.

6.3.7 Material 7

Inga arbetskurvor efter fukt- och alkalilagring finns att redovisa för material 7. Däremot har krympning- och viktminskningen bestämts vid fukt- och alkalilagring, kapitel 6.7.

6.3.8 Material 8

Samma förhållande gäller för material 8. Detta material är dessutom alltför plastiskt för att det skall kunna vara meningsfullt att redovisa arbetskurvor efter denna form av åldring.

6.4 Påverkan av ultraviolett strålning

Som generellt resultat från bestrålningen med ultraviolett ljus kan sägas att de effekter som framkommit på materialen endast yttrat sig i form av ytlig påverkan. Denna har t ex varit färgförändring, mattering av ytan, veckbildning och i en del fall krackelering.

Som exempel på det senare visas i fig 48 en SEM-bild av en polysulfidbaserad fogmassa som utsatts för UV-bestrålning i ca 21 dygn. Sprickbildningen synes gå djupt in i materialet. Ett snitt genom provet, fig 49, visar dock att effekten av UV-bestrålningen är av ytlig natur. Det är dock både tänkbart och sannolikt att denna effekt på längre sikt bidrar till en ökad sprickbildning då UV-ljuset kombineras med växlande fogrörelser, vilket är fallet utomhus.

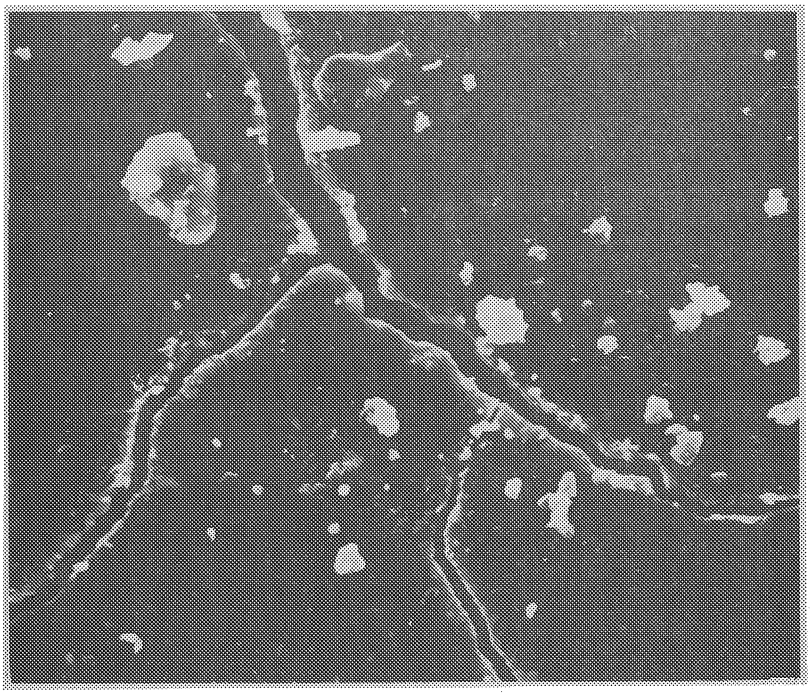


FIG 48 Yta av polysulfidbaserad fogmassa UV-bestrålad 21 dygn. Förstoring: 600x. Foto: Zoologiska institutionen, Lunds universitet.

Surface of a polysulphide based sealant UV-irradiated for 21 days. Enlargement: 600x. Photo: The Zoological institution of Lund Univeristy.

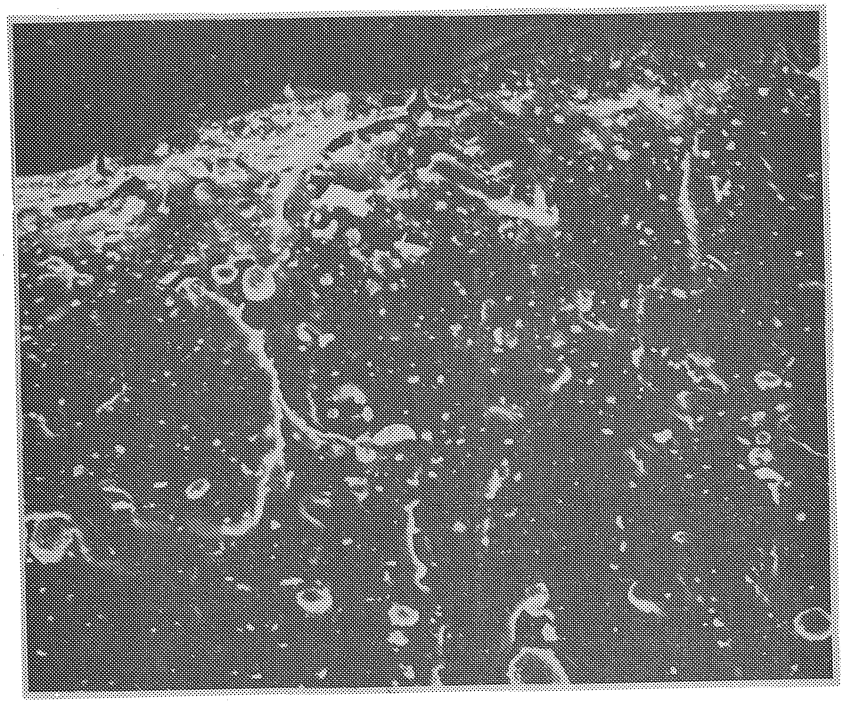


FIG 49 Snitt genom UV-bestrålad polysulfidbaserad fogmassa enligt fig 48. Förstoring: 120x. Foto: Zoologiska institutionen, Lunds universitet.

Cut through a UV-irradiated polysulphide based sealant according to picture 48. Enlargement: 120x. Photo: The Zoological institution of Lund University.

6.4.1 Material 1

Med arbetskurvan som kvantifieringsmetod har material 1 förblivit opåverkat av UV-bestrålningen, fig 50. Fig 51 bör jämföras med fig 20.

Vid en okulärbesiktning av den UV-bestrålade ytan syns dock en fin krackelerng och mattering av ytan. Då materialet töjs spricker denna krackelering men sprickorna är alltför grunda för att märkas på arbetskurvan, jfr också fig 49.

6.4.2 Material 2

Ingen väsentlig påverkan av den ultravioletta bestrålningen på material 2 har kunnat förmärkas. Detta gäller även beträffande ytkrackeleringen som var mycket obetydlig. En viss mattering av ytan förekom dock.

6.4.3 Material 3

Ingen skillnad i arbetskurvans form eller nivå har kunnat iakttagas vid jämförelse mellan normallagrat och UV-bestrålat material (jfr fig 52 och 25).

Däremot gulnade provkropparnas yta ganska väsentligt, sannolikt delvis beroende på att fogmassan ursprungligen var vit. Fenomenet omnämns också av fabrikanten. Viss försprödning av ytan kunde också märkas. I en del fall uppkom dessutom millimeterdjupa sprickor längs kanterna av fogprofilen.

6.4.4 Material 4

Den enda påverkan som kunde märkas på material 4 var en svag färgförändring. Ingen krackelering av ytan eller förändring av arbetskurvan har kunnat detekteras.

6.4.5 Material 5

Materialet har inte utsatts för UV-bestrålning.

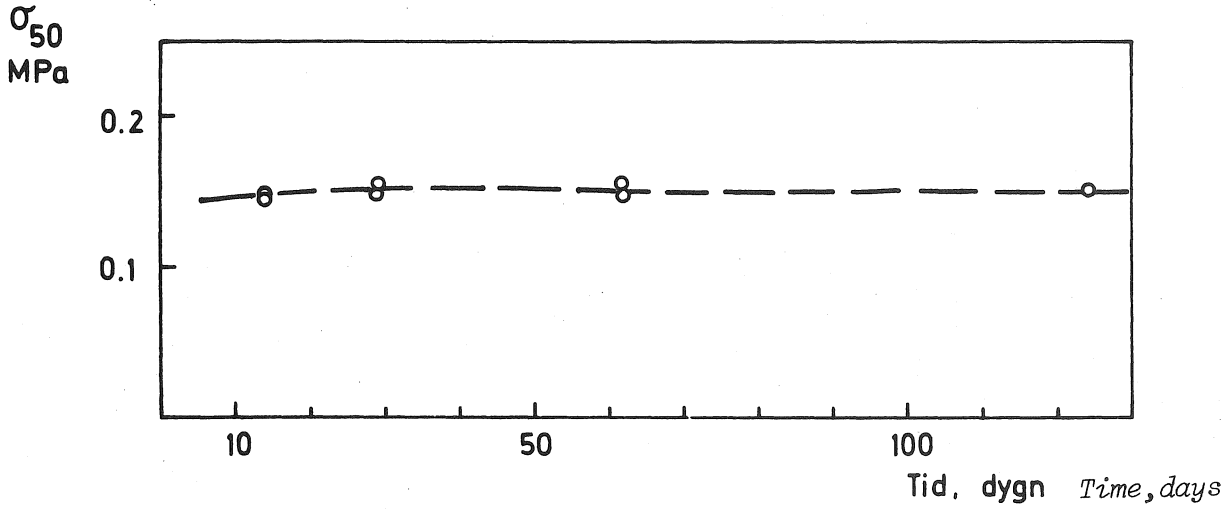


FIG 50 Arbetskurvor för "Material 1" efter lagring i luft och UV-ljus. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 1" after storeing in air and UV-light. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

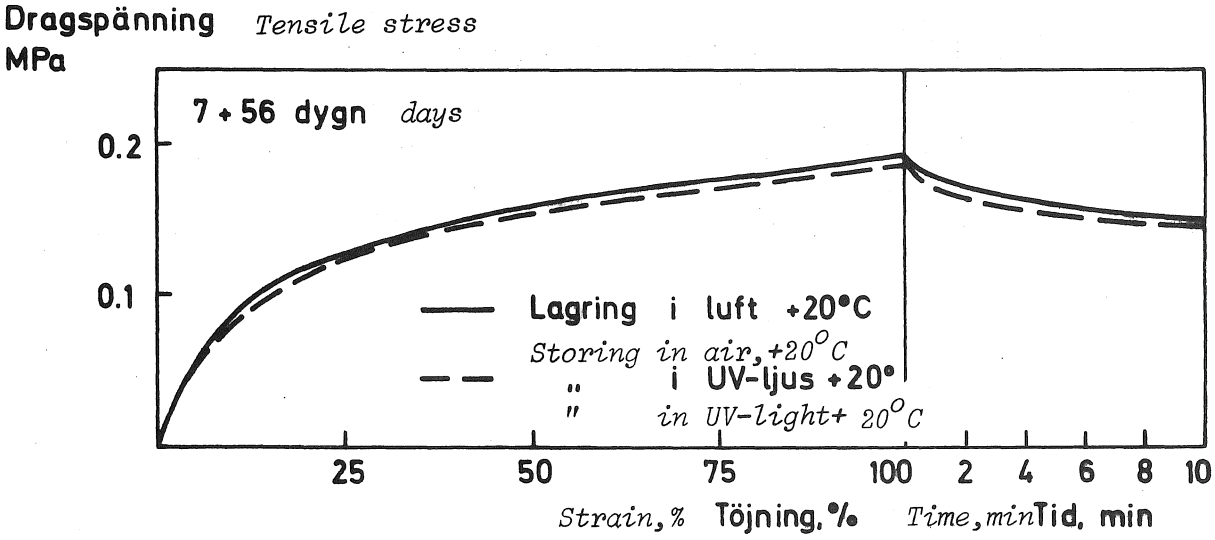


FIG 51 Dragspänning vid 50% töjning (= σ_{50}) för "Material 1" som funktion av lagringstid i UV-ljus. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Stress at 50% tension (= σ_{50}) for "Material No 1" as a function of storeing time in UV-light. Initial storeing: 7 days at +20°C/50% RH.

6.4.6 Material 6

Ingen skillnad har märkts mellan normallagrade och UV-bestrålade provkroppar vad gäller arbetskurvans nivå eller form. Däremot gulnade den från början vita ytan något vid UV-bestrålningen samtidigt som viss veckbildning uppstod. En tunn hud med begränsad töjbarhet bildades, se fig 53.

Absorptionsspektrum inom UV-området har bestämts för material 6 både efter normallagring och efter UV-bestrålning. Materialet hade en absorptionstopp vid ca 296 nm oberoende av åldringsklimat.

6.4.7 Material 7

Materialet har inte utsatts för UV-strålning.

6.4.8 Material 8

Ingen skillnad har uppmätts mellan normallagrade och UV-bestrålade provkroppar vad gäller arbetskurvans nivå eller form. Fogmassans vita yta gulnade dock något vid UV-bestrålningen. Samtidigt blev ytan något veckad. En töjd provkropp visas på fig 54.

UV-bestrålningen har ej heller befunnits öka skinnbildningshastigheten i märkbar grad, jfr fig 41.

6.5 Ozonpåverkan

Samtliga 8 material har utsatts för ozonpåverkan. Någon effekt av ozonet på material som icke förvarats töjda har ej kunnat upptäckas, vare sig vid okulärbesiktning eller vid bestämning av arbetskurvan. Detta gäller material 5, 6 och 8. Samma sak gäller för de provkroppar från de övriga materialen som ej förvarats töjda.

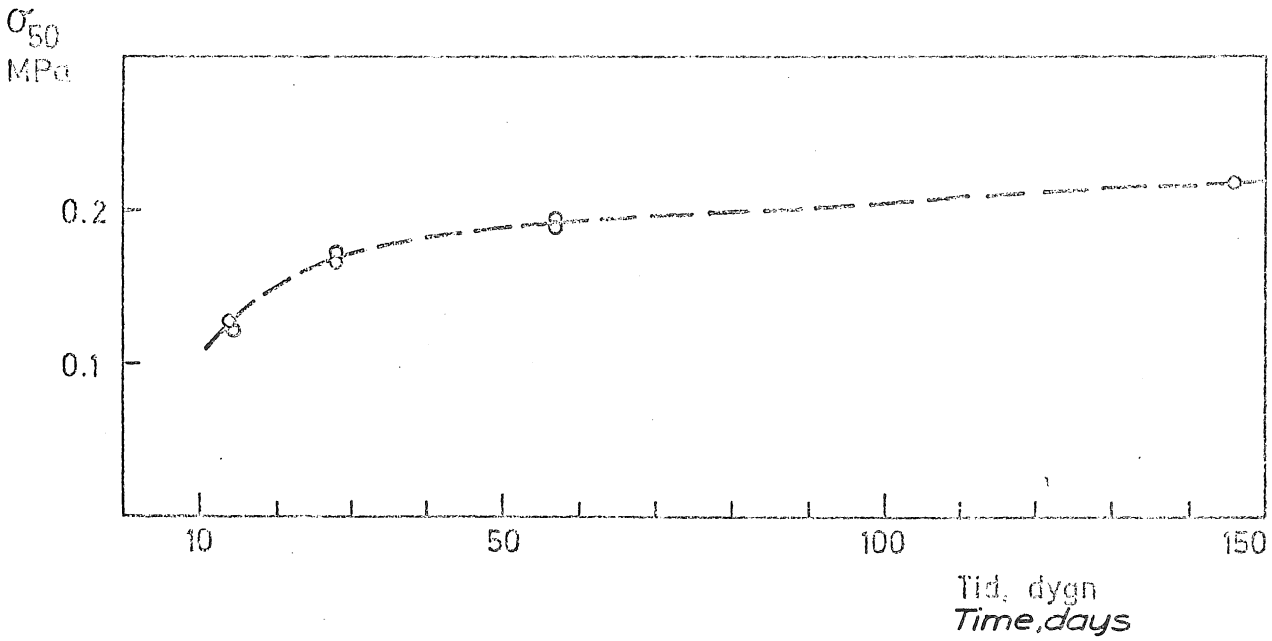


FIG 52 Dragspänning vid 50% töjning (= σ_{50}) för "Material 3" som funktion av lagringstid i UV-ljus. Initiallagring: 7 dygn i +20°C/50% RF.

Stress at 50% tension (= σ_{50}) for "Material No 3" as a function of storeing time in UV-light. Initial storeing: 7 days at +20°C/50% RH.

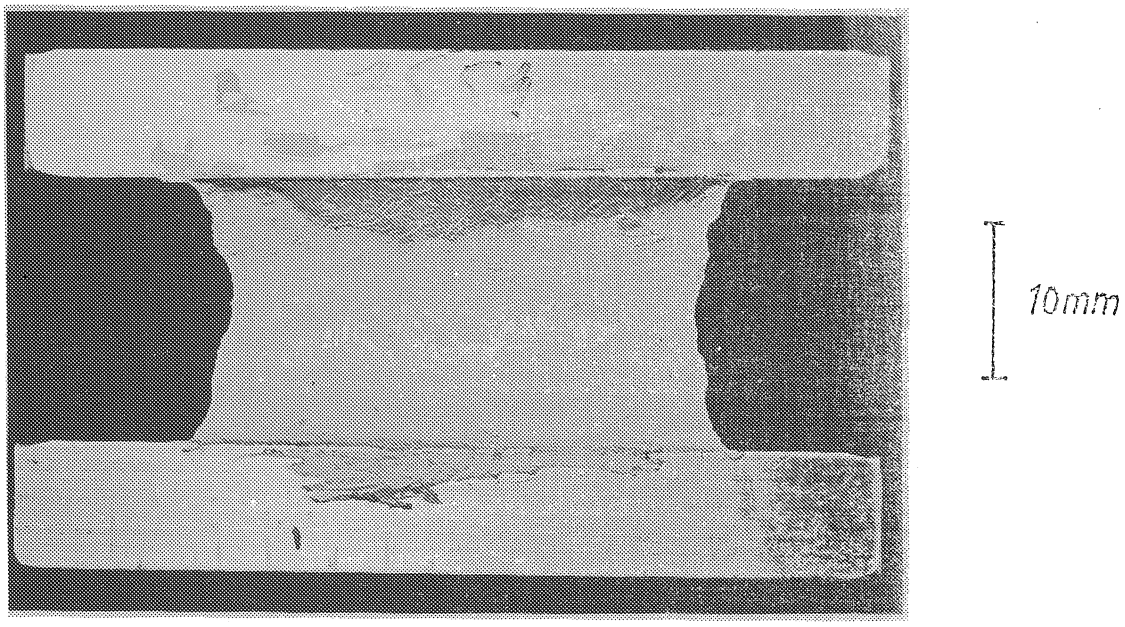
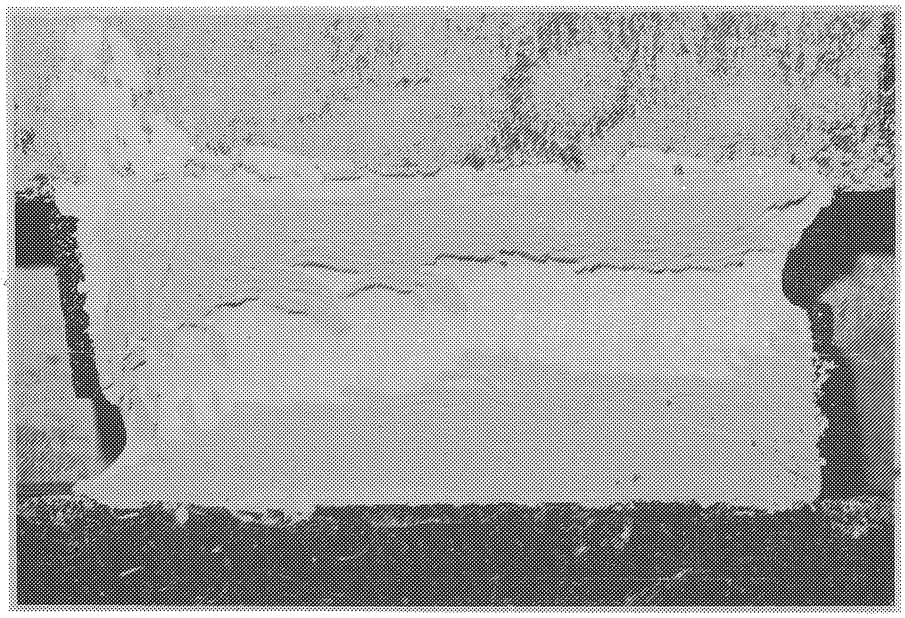


FIG 53 Sprickbildning i ythud som bildats vid UV-lagring av "Material 6".

Crack formation in surface skin formed at the UV-storeing of "Material No 6".



10mm

FIG 54 Sprickbildning i ythud som bildats vid UV-lagring av "Material 8".

Crack formation in surface skin formed at the UV-storeing of "Material No 8".

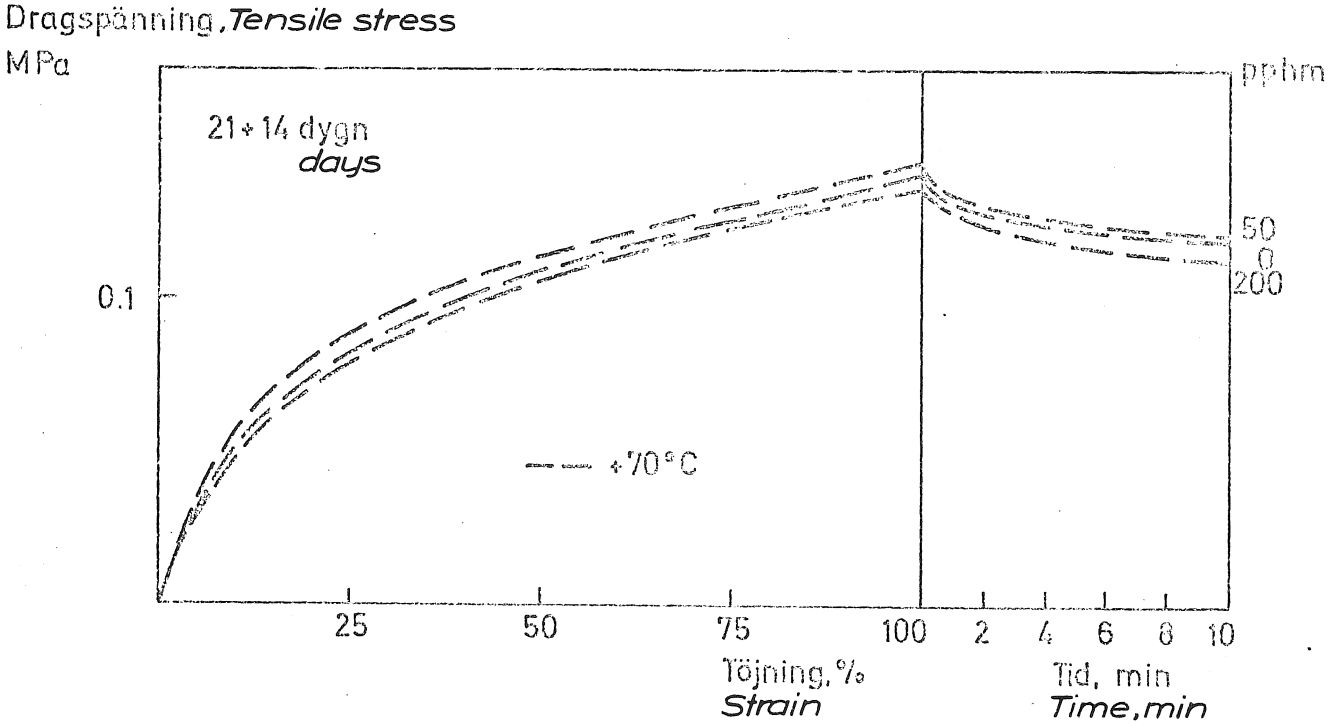


FIG 55 Arbetskurver för "Material 1" efter lagring vid 25% töjning och varierande ozonhalt. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 1" after storeing at 25% tension and different ozon level. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

Eftersom av praktiska skäl en relativt lång tid förflöt mellan det att töjningarna av provkropparna utfördes och ozonexponeringen började (se kapitel 5.4) utfördes först mätningar av relaxationens storlek. Nivån på denna för de olika materialen framgår av tabell 4. Tabellen visar att för vissa material har en mycket stor del av den ursprungliga spänningen hunnit att relaxera då ozonexponeringen startar efter ungefär 65 timmar.

6.5.1 Material 1

En stor mängd adhesionsbrott har ibland försvårat jämförelserna. Adhesionsbrotten uppstod dels vid bestämning av arbetskurvorna och dels då provkropparna förvarades töjda i ozonkammaren.

Fig 55, som gäller för provkroppar som förvarats med 25% töjning, visar att ingen signifikant skillnad i påverkan finns mellan de olika ozonhalterna.

Fig 56, gällande för provkroppar med 50% töjning, visar en viss sänkning av deformationsmotståndet för den högsta ozonhalten. Orsaken till detta visas i fig 57. Provet visar typiska ozonsprickor orienterade vinkelrätt mot töjningsriktningen. Fig 57 och 58 visar tillsammans dels effekten av ozonhalten och dels av töjningsgraden. Töjningen 50% i ozonhalten 50 pphm ger sålunda inga sprickor, däremot ger töjningen 25% i 200 pphm vissa antydningar till sprickbildning.

6.5.2 Material 2

På grund av både adhesions- och kohesionsbrott, dels vid töjningen och dels vid förvaringen i ozonkammaren, finns inga säkra jämförelser att göra utgående från arbetskurvorna.

Fig 59 visar dock att ozonsprickor uppstod både vid 25

Tabell 4. Spänningsrelaxationens storlek vid ca +22°C och olika deformations- och härdningsgrader.

Material nr	Dragspänning vid 25% töjning = σ_{25} MPa		Dragspänning vid 50% töjning = σ_{50} MPa		Restspänning efter t timmar σ_{25t} MPa		Restspänning efter t timmar σ_{50t} MPa	
	+20°C/ 50% RF	värme-åldrat mat.	+20°C/ 50% RF	värme-åldrat mat.	20/50	åldrat material	20/50	åldrat material
1	adhe-sions-brott	0.074	adhe-sions-brott	0.095	-	0.034(t=25)	-	0.049(t=65)
2	adh. brott	0.338	adh. brott	0.455	-	0.195(t=46)	-	kohesions-brott
3	0.096	0.267	0.145	0.292	0.050(t=61)	0.088(t=17)	0.071(t=53) 0.067(t=143)	0.121(t=42)
4	0.091	0.136	0.150	0.161	0.056(t=60)	0.060(t=20)	0.081(t=50) 0.075(t=143)	0.083(t=43)
7	0.052	0.216	0.116	0.338	0.010(t=61)	0.033 (t=17)	0.020(t=53) 0.016(t=143)	0.054(t=42)

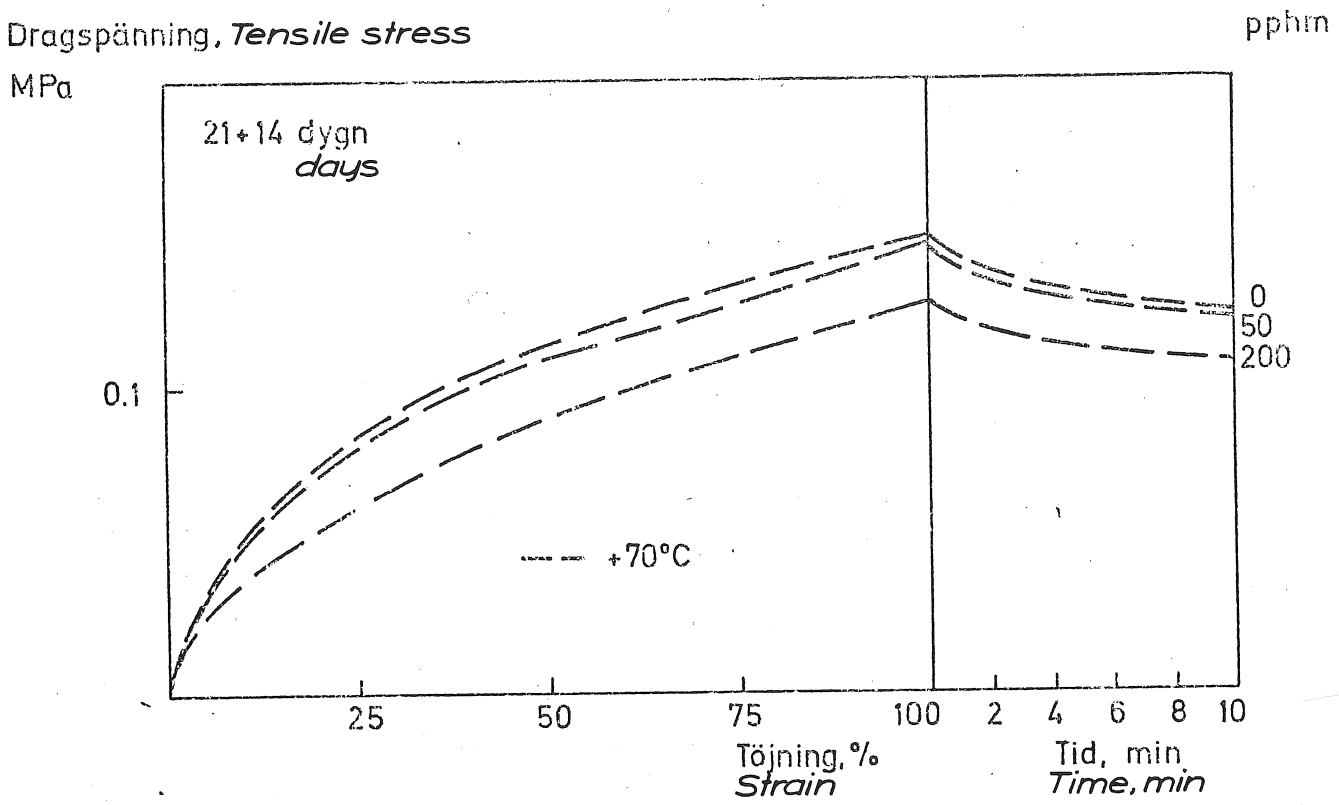


FIG 56 Arbetskurvor för "Material 1" efter lagring vid 50% töjning och varierande ozonhalt. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 1" after storeing at 50% tension and different ozon level. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

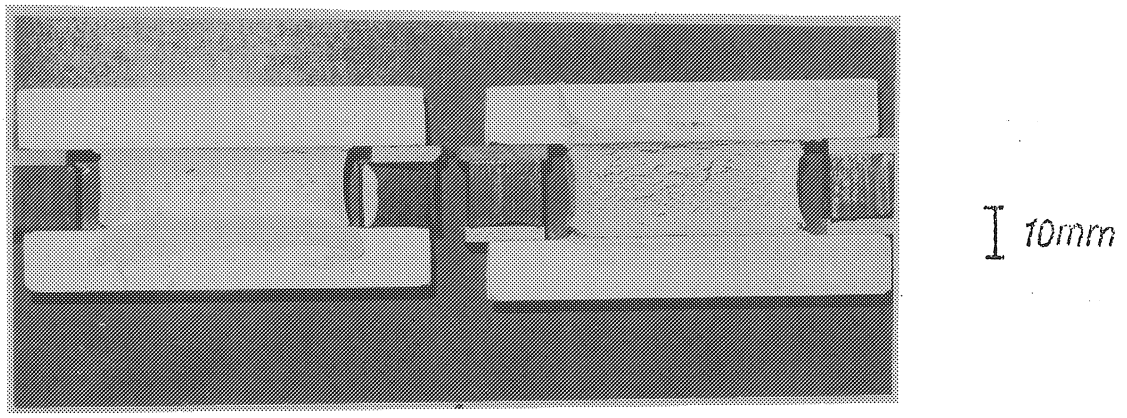
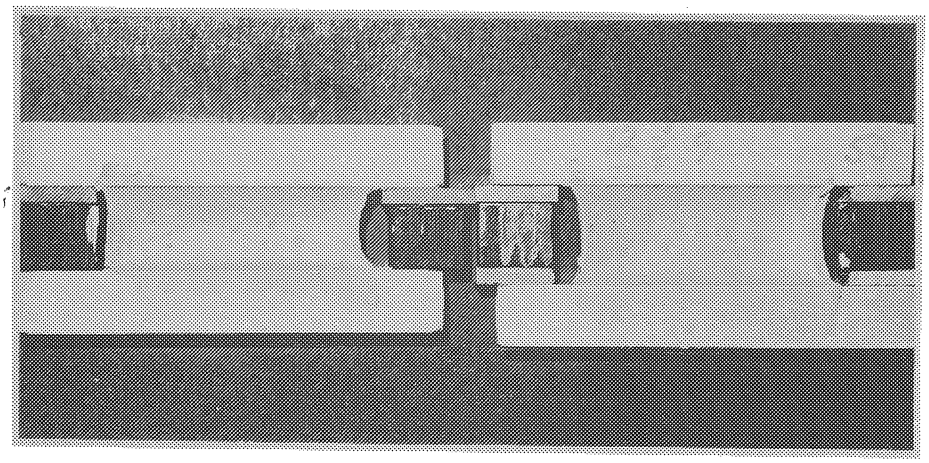


FIG 57 Värmeåldrade provkroppar av "Material 1" efter ozonlagring i 200 pphm. Vänster töjning 25% och höger provkropp töjning 50% vid ozonlagring.

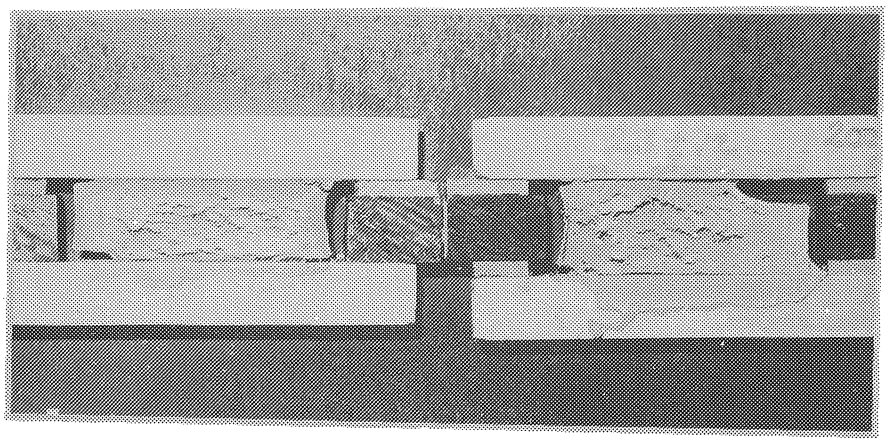
Heat aged specimens of "Material No 1" after storeing in ozon of 200 pphm. The specimen to the left extended to 25% and the specimen to the right extended to 50% during the ozon exposition.



10mm

FIG 58 Värmeåldrade provkroppar av "Material 1" efter ozonlagring i 50 pphm. Vänster töjning 25% och höger töjning 50% vid ozonlagringen.

Heat aged specimens of "Material No 1" after storeing in ozon of 50 pphm. The specimen to the left extended to 25% and the specimen to the right extended to 50% during the ozon exposition.



10mm

FIG 59 Värmeåldrade provkroppar av "Material 2" efter ozonlagring i 200 pphm. Vänster töjning 25% och höger töjning 50% vid ozonlagringen.

Heat aged specimens of "Material No 2" after storeing in ozon of 200 pphm. The specimen to the left extended to 25% and the specimen to the right extended to 50% during the ozon exposition.

och 50% töjning i 200 pphm. Material 2 är sålunda något känsligare mot ozonpåverkan än det närbesläktade materialet 1. Detta har dock sannolikt sin förklaring i det faktum att material 2 är hårdare, d v s utövar ett högre deformationsmotstånd vid en töjning. Detta innebär att spänningen är högre i material 2 än i material 1 vid ozonexponeringen (tabell 4).

6.5.3 Material 3

Ingen signifikant påverkan av ozonexponeringen har kunnat påvisas. Detta trots relativt stora spänningar i materialet vid exponeringen (tabell 4).

6.5.4 Material 4

Samma förhållande gäller här som för material 3.

6.5.5 Material 7

Ingen signifikant påverkan av ozonexponeringen har kunnat påvisas. Den kvarstående spänningen vid exponeringen har sannolikt varit blygsam (tabell 4).

6.6 Utomhusexponering av provfogar

Nedan redovisas resultat från bestämningar av arbetskurvor på provkroppar som under olika lång tid varit inkopplade i utrustningen för utomhusexponering av provfogar (jfr kapitel 4.5). Av varje material finns dessutom fortfarande 3 provkroppar inspända. Dessa skall provas efter ytterligare en tids utomhusexponering.

Vidare redovisas nedan i viss utsträckning de resultat som erhållits vid registrering av fogbreddsvariationer och temperaturer.

6.6.1 Registrering av fogbreddsvariationer

I fig 60 visas exempel på uppmätta fogbreddsvariationer under en solig dag med stora temperaturvariationer. Den registrerade fogrörelsen gäller den maximala fogbreddsvariationen på konstruktionen, d v s i den ände där aluminiumstegen är upplagd på rullager.

Fogens bredd har denna dag ändrats 3.35 mm. Av figuren framgår att en ändring av aluminiumstegens yttemperatur direkt ger en ändring av fogbredden. Hastigheten på fogrörelsen är enligt figuren av storleksordningen 10^{-3} - 10^{-2} mm/min. Under viss tid är även fogbredden ungefär konstant.

Ändringen av temperaturen mitt inne i det 250 mm tjocka gasbetongelementet sker naturligtvis långsammare. Den maximala lufttemperaturen inträder i detta fallet ung kl 12 medan den högsta temperaturen i gasbetongen uppträder ungefär 6 timmar senare. Den successivt ökande temperaturen inne i gasbetongen medför sålunda att fogbredden förändras efterhand trots att stegtemperaturen ungefär ligger kvar på samma höga nivå.

Fig 61 visar motsvarande förlopp för en dag med mindre temperaturvariationer. Den maximala fogbreddsvariationen över dygnet är 1.55 mm.

De uppmätta snabba temperaturförändringarna i aluminiumkonstruktionen och de på samma sätt uppmätta långsamma förändringarna i gasbetongen har stor betydelse i praktiken. Detta innebär nämligen att fogmassor mellan aluminiumkonstruktioner kommer att utsättas för ett stort antal fogbreddsvariationer med förhållandevis hög deformationshastighet. Fogens bredd kommer t ex att förändras i takt med att solen tillfälligt skyms bakom moln. För fogmassor mellan t ex betong- eller gasbetongelement gäller däremot, att dessa i huvudsak kommer att utsättas för en ganska regelbunden, approximativt sinusformad dygnsvarierande fogrörelse.

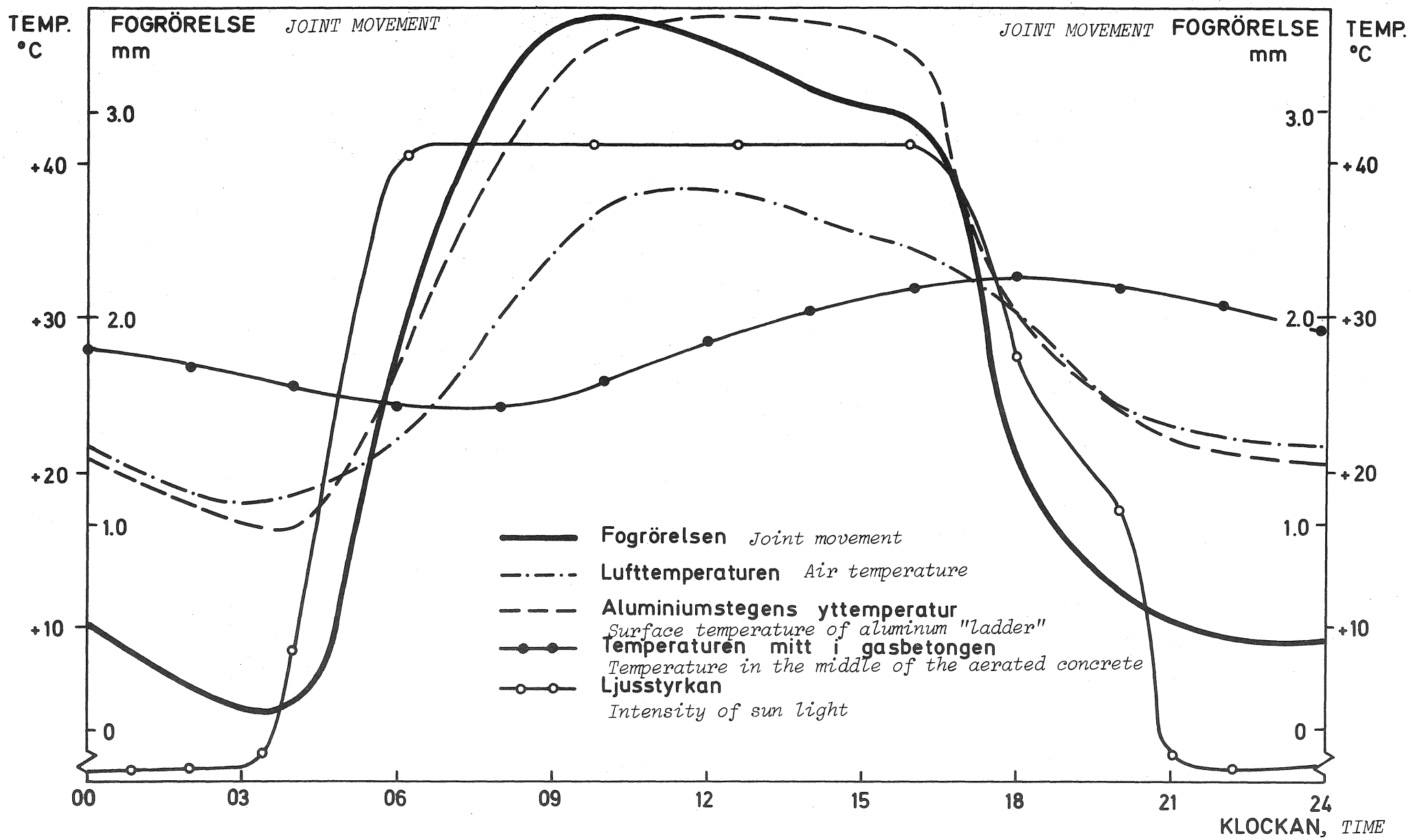


FIG 60 Exempel på ett dygn (750809) med stora uppmätta temperaturvariationer och därmed sammanhängande fogrörelser i utomhusutrustning för exponering av provkroppar.

An example of a day (750809) with large measured temperature variations and in connection to that joint movements in the outdoor equipment for exposition of specimens.

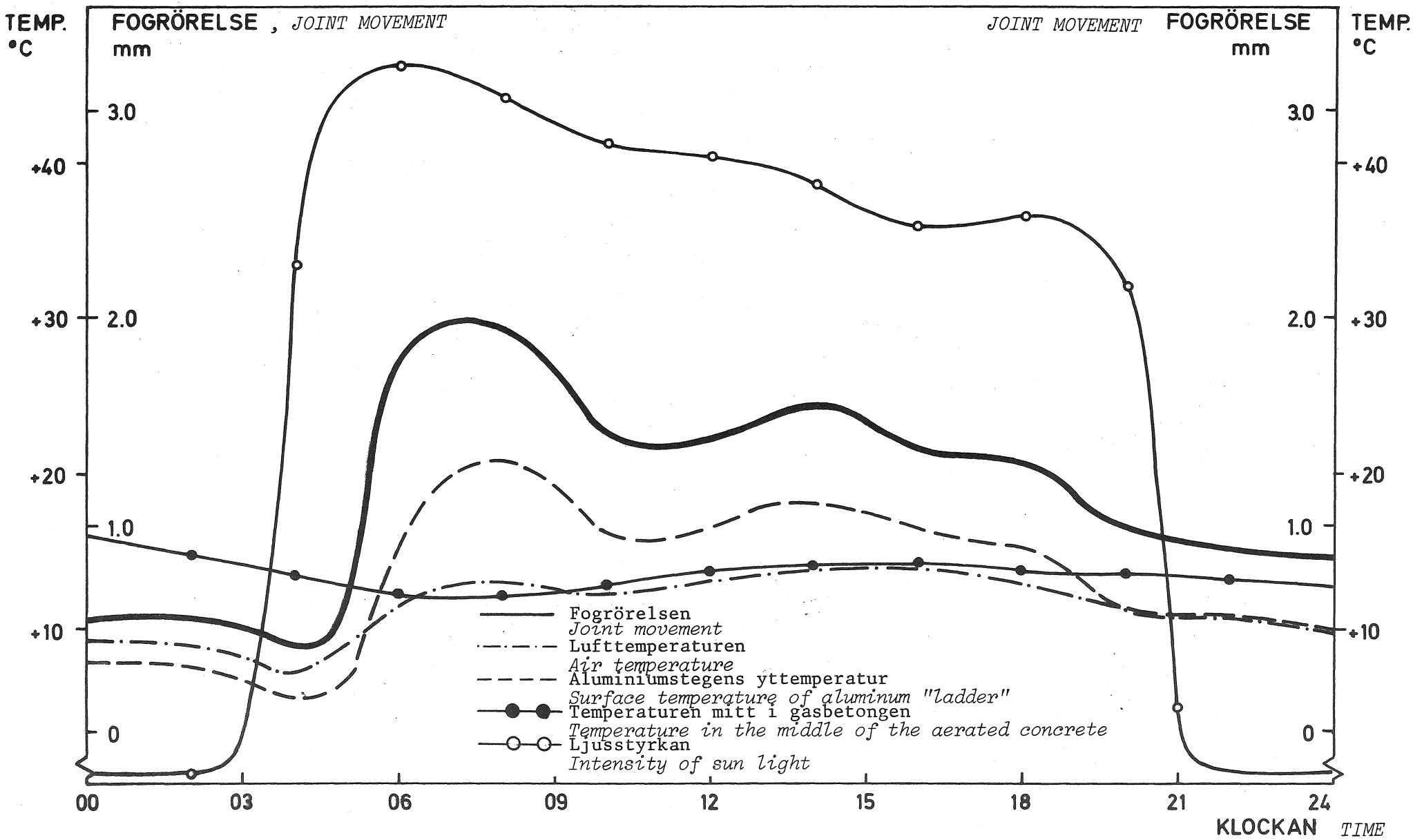


FIG 61 Exempel på ett dygn (760605) med små uppmätta temperaturvariationer i utomhusutrustning för exponering av provkroppar.

An example of a day (760605) with small measured temperature variations in the outdoor equipment for exposition of specimens.

I tabell 5 har för en provningsperiod de maximala fogbreddsvariationerna för varje provkropp sammanställts. Under denna mätperiod har den maximala töjande rörelsen varit 1.57 mm (räknat från det läge då provkropparna inspändes). Stegtemperaturen var vid detta tillfälle -10.3°C. Den maximala komprimerande rörelsen har varit 3.63 mm. Stegtemperaturen var då +45.7°C. Utgående från respektive provkropps läge längs konstruktionen har rörelsen för varje prov beräknats under antagandet av att deformationen avtar linjärt mot noll där aluminiumstegen är fixerad i gasbetongen.

Den uppmätta fördelningen av rörelsen innebär att provkropparna blir i huvudsak komprimerade under mätperioden. Detta var också avsikten. Det finns nämligen indikationer som tyder på att komprimerande rörelser utgör en större påfrestning på en fogmassa än motsvarande töjande rörelse, Hasselblad och Andersson (1972), Burström (1973), Hockman (1975). Detta beror dels på att vid en komprimering uppstår lokalt stora deformationer, dels är spänningsrelaxationen större vid högre temperatur (som i allmänhet råder när en fog är tryckt).

I tabell 5 redovisas också de av respektive fabrikant i datablad angivna maximala tillåtna rörelsen i fogen. Dessa angivelser är ej helt enhetligt utformade. Ibland ges en uppgift om fördelning av rörelsen, t ex ± 20%, men oftast anges enbart en totalt maximerad rörelse utan begränsningar gällande fördelningen.

Tabell 5 innehåller även noteringar gjorda vid okulärbesiktning av provkropparna.

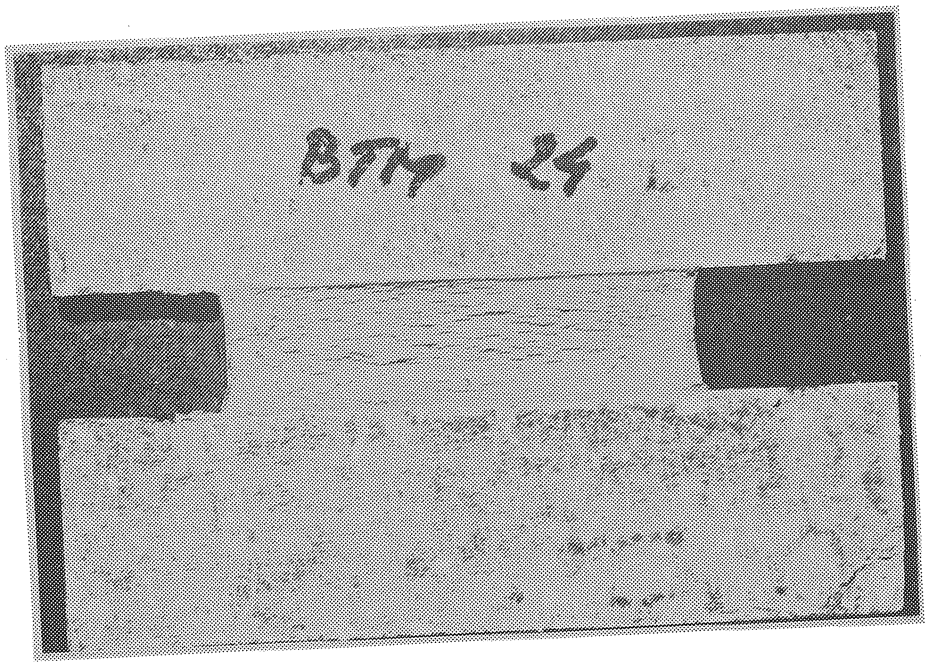
Samtliga provkroppar av material 1 uppvisar tydlig ytkrackelering. Denna typ av krackelering är ganska vanlig på polysulfidbaserade fogmassor. Fig 62 visar en provkropp som också exponerats ca 7 mån men med någon övervikt för töjande fogrörelser. Dessutom har provet exponerats längre tid under den varma årstiden. Detta

Tabell 5. Uppmätta maximala deformationer efter 7 mån utomhusexponering.

Material nr	Provkropp nr	Max drag %	Max tryck %	Σ deform. %	Max deform. enl. fabrikanten	Anm.
1	1261-62	8.9	20.6	29.5	33	Ytkrackeleringar. Begynnande adhesionsbrott (1262)
	1263-64	3.5	8.0	11.5		"
	1266	8.9	20.6	29.5		"
	1267-68	3.5	8.0	11.5		"
2	2361-62	8.3	19.2	27.5	30	∿20% adhesionsbrott (2361) 100% adhesionsbrott (2362)
	2363-64	2.8	6.6	9.4		
	2366	8.3	19.2	27.5		100% adhesionsbrott
	2367-68	2.8	6.6	9.4		
3	3261-62	10.1	23.4	33.5	±20	Ytkrackelering. Synligt med lupp.
	3263-64	5.3	12.3	17.6		"
	3266	10.1	23.4	33.5		"
	3267-68	5.3	12.3	17.6		"
4	5561-62	11.9	27.7	39.6	50	
	5563-64	6.5	15.1	21.6		
	5566	11.9	27.7	39.6		
	5567-68	6.5	15.1	21.6		
5	6261-62	7.2	16.6	23.8	Uppgift saknas	Veckbildning, smutsad yta
	6263-64	1.7	3.9	5.6		"
	6266	7.2	16.6	23.8		"
	6267-68	1.7	3.9	5.6		"
6	7561-62	10.8	25.0	35.8	50	Veckad, smutsad yta Fig 63
	7563-64	5.9	13.8	19.7		Små veck i mitten, smutsad yta
	7566	10.8	25.0	35.8		Veckad, smutsad yta
	7567-68	5.9	13.8	19.7		Små veck i mitten, smutsad yta.

Tabell 5. (fortsättning)

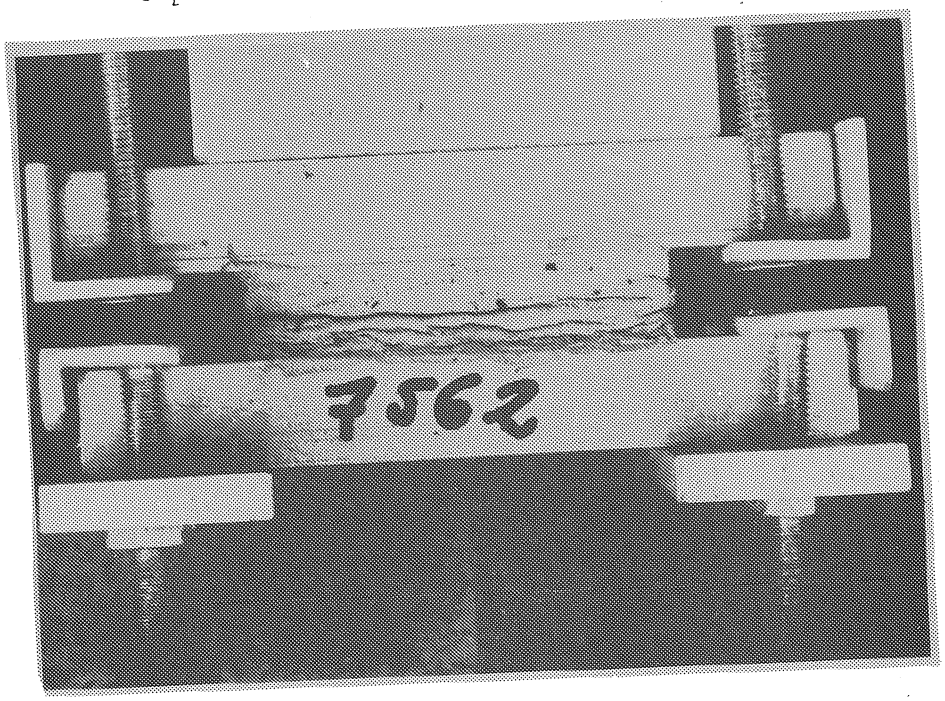
Material nr	Provkropp nr	Max drag %	Max tryck %	Σ deform. %	Max deform. enl. fabrikanten	Anm.
7	8261-62	7.7	17.8	25.5	15	Smutsad yta
	8263-64	2.3	5.2	7.5		"
	8266	7.7	17.8	25.5		Smutsad yta, veckbildning, Fig 64
	8267-68	2.3	5.2	7.5		Smutsad yta
8	9561-62	9.4	21.7	31.1	35	Veckbildning
	9563-64	4.1	9.4	13.5		Svag veckbildning
	9566	9.2	21.3	30.5		∿5% adhesionsbrott vid randen. Veckbildning.
	9567-68	4.1	9.4	13.5		Svag veckbildning.



10mm

FIG 62 Provkropp av "Material 1" som utomhus-exponerats ca 7 månader.

Specimen of "Material No 1" outdoor exposed for about 7 months.



10mm

FIG 63 Provkropp av "Material 6" som utomhus-exponerats ca 7 månader. Max drag 10.8%, max tryck 25.0%.

Specimen of "Material No 6" outdoor exposed for about 7 months. Maximum tension 10.8%, maximum compression 25.0%.

har medfört att krackeleringen i samband med de upprepade rörelserna har nått relativt djupt i provet.

Den tidigare nämnda ibland bristfälliga adhesionen hos material 2 med tillhörande primer bekräftas åter av de utomhusexponerade provfogarna. En av orsakerna till de många adhesionsbrotten är naturligtvis detta materials höga kohesion (stort töjningsmotstånd).

Även material 3 visar en tendens till ytkrackelering. Denna är dock svår att urskilja med blotta ögat men framträder klart om man betraktar provfogens yta med lupp.

Framför allt materialen 5, 6 och 7 men även i någon mån material 8 är så pass termoplastiska till sin karaktär att dessa blivit relativt hårt nedsmutsade.

Den typiska ytveckningen hos en huvudsakligen plastisk fogmassa framgår av fig 63, material 6.

Material 7 är mer elastiskt men har trots detta erhållit en viss veckbildning, fig 64.

6.6.2 Temperaturer i olikfärgade fogmassor vid utomhusexponering

För att utröna vilka temperaturer som kan uppkomma i fogmassor av olika kulör mättes temperaturen i fyra olika typer av fogmassor. Följande fyra material/färger användes:

Material	Färg
Silikonbaserad fogmassa	Blank svart
Silikonbaserad fogmassa	Blank vit
Material 7	Matt svart. Provets yta hårt smutsat efter ca 7 mån utomhusexponering.
Material 6	Matt vit. Materialet ursprungligen vitt. Ytan dock något smutsad efter 7 mån utomhusexponering.

Temperaturen är väsentlig att känna till när man skall värmeåldra en fogmassa (så att värmeåldringen ej drivs för hårt), när man skall bestämma deformationsmotstånd, spänningsrelaxation, rinningstendens osv. Alla dessa egenskaper är nämligen för de allra flesta fogmassor klart temperaturberoende.

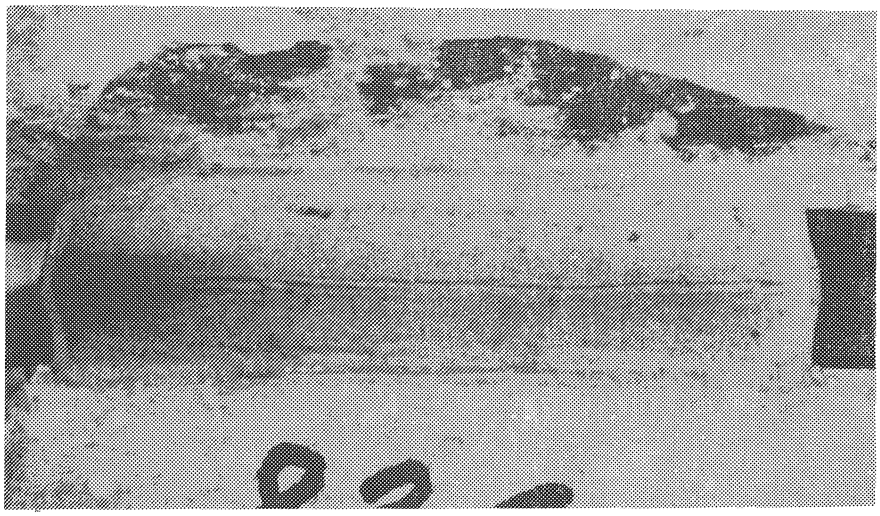
Ett termoelement anbringades i varje fogmassa så att spetsen befann sig omedelbart under fogytan, fig 65. Därefter fixerades provkropparna på en vertikal ställning. Fogytorna orienterades i rakt sydlig riktning.

Exempel på uppmätta temperaturer framgår av tabell 6.

Tabell 6. Exempel på uppmätta temperaturer (^{o}C) i olikfärgade fogmassor.

K u l ö r				Lufttemp. (i skuggan)	Molnighet
Blank svart	Blank vit	Matt svart	Matt grå-vit		
42.3	40.0	44.3	41.3	30.0	
37.1	34.6	38.0	35.5	27.1	
34.8	32.3	36.6	33.7	24.3	
40.0	37.0	41.0	38.1	28.3	
28.0	25.7	29.0	26.3	17.4	
36.7	33.8	38.0	35.3	24.3	

Som väntat uppnår det matta, svarta materialet de högsta temperaturerna. Skillnaden i temperatur mellan blanka och matta ytor är av storleksordningen 1.5^{o}C. Största skillnaden i temperatur erhålles naturligtvis mellan den matta, svarta ytan och den blanka, vita ytan. Denna skillnad är i genomsnitt ca 4°C.



10mm

FIG 64 Provkropp av "Material 7" som utomhus-exponerats ca 7 månader. Max drag 7.7%, max tryck 17.8%.

Specimen of "Material No 7" outdoor exposed for about 7 months. Maximum tension 7.7%, maximum compression 17.8%.

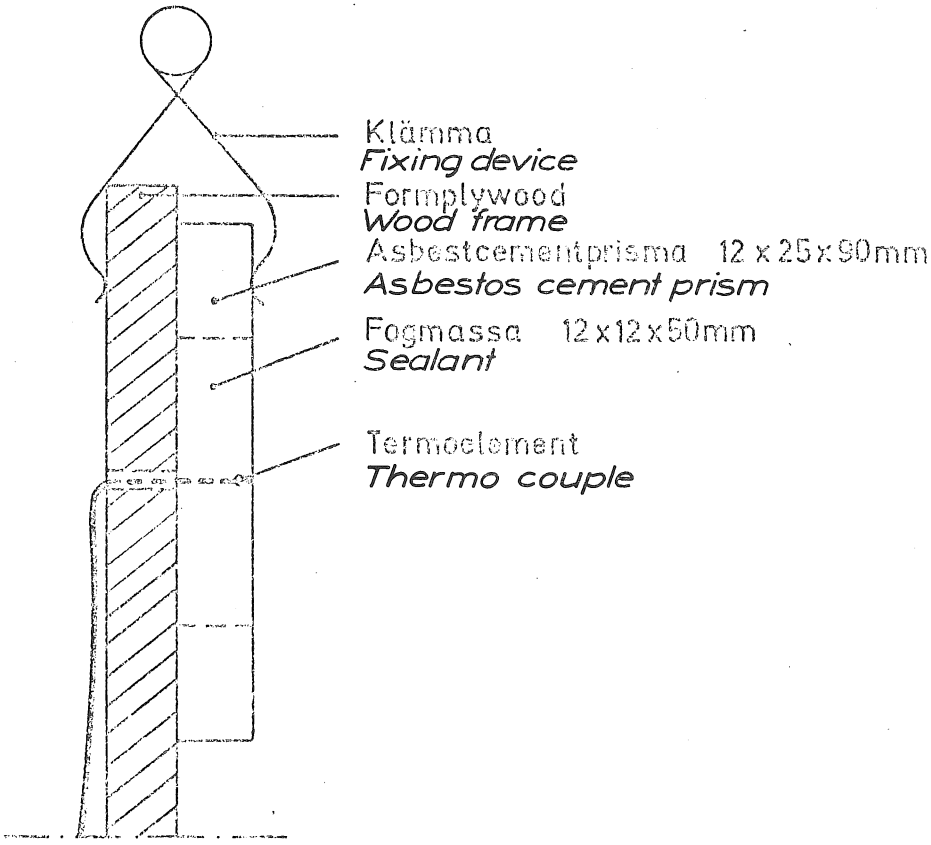


FIG 65 Mätning av temperaturer i olikfärgade fogmasser vid utomhusexponering.

Measuring the temperatures in sealants of different colours when outdoor exposed.

6.6.3 Arbetskurvor för material 1

Fig 66 visar arbetskurvor bestämda för material 1 efter varierande grad av utomhusexponering. I den skrafferade ytan döljs kurvor med exponeringstider från 7 mån till ca 1 år. Ingen signifikant skillnad märks mellan provkroppar utsatta för olika stora deformationer vid exponeringen, ej heller mellan elementmaterialets typ (asbestcement eller aluminium). Den streckade kurvan gäller material som exponerats enbart 4 månader, huvudsakligen under den kalla årstiden. Arbetskurvans form avviker ganska väsentligt från de övriga, sannolikt beroende på att härdningen ännu ej är avslutad.

Vid jämförelse med fig 19 framgår att kurvan för normalklimatlagring förvånansvärt väl överensstämmer med kurvskaran i fig 66.

Här måste också noteras att vid losskopplingen av provkropparna var dessa väsentligen spänningslösa, d v s fogmassan hade undergått plastiska deformationer och anpassat sig till den nya påtvingade fogbredden.

Fogbreddsvariationen kan uppfattas som en årstidsberoende del och en på denna överlagrad dygnsvarierande rörelse. De resultat som erhållits från utomhusexponeringen av provfogar och från undersökningar av spänningsrelaxationens storlek, kapitel 6.5 och Nimmermark & Olsson (1976), visar: Material 1 fungerar sannolikt som ett plastiskt material vad de årstidsberoende rörelserna beträffar och som ett huvudsakligen elastiskt material för dygnsrörelserna!

6.6.4 Arbetskurvor för material 2

I fig 67 redovisas arbetskurvor för material 2 efter 4 och 7 månaders utomhusexponering (p g a adhesionsbrott finns ej fler kurvor att redovisa). En hårdhetsökning har ägt rum som sannolikt beror på en fortgående härdning. Arbetskurvan för 7 mån överensstämmer mycket väl med ar-

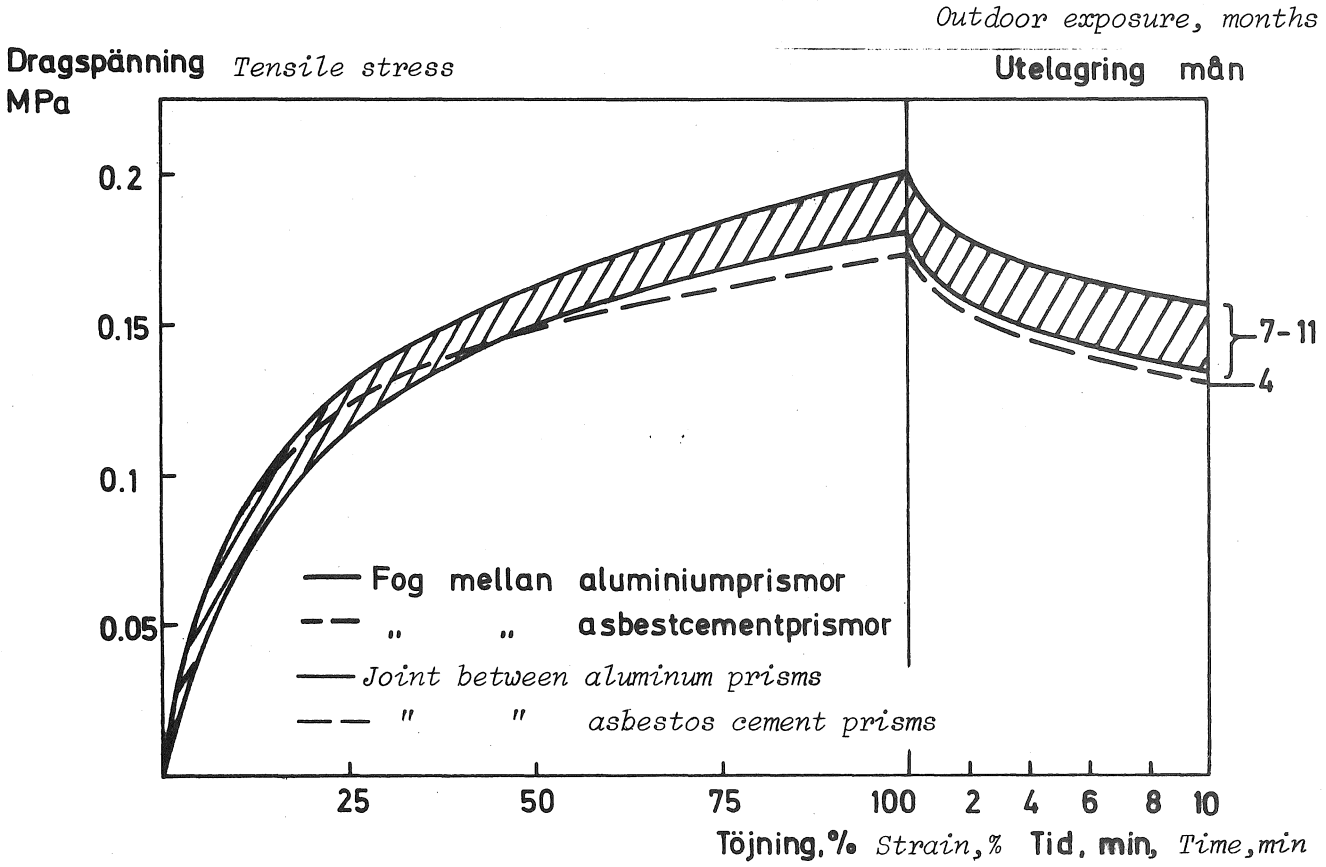


FIG 66 Arbetskurvor för "Material 1" efter olika lång tids utomhusexponering. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 1" after varying time of outdoor exposition. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

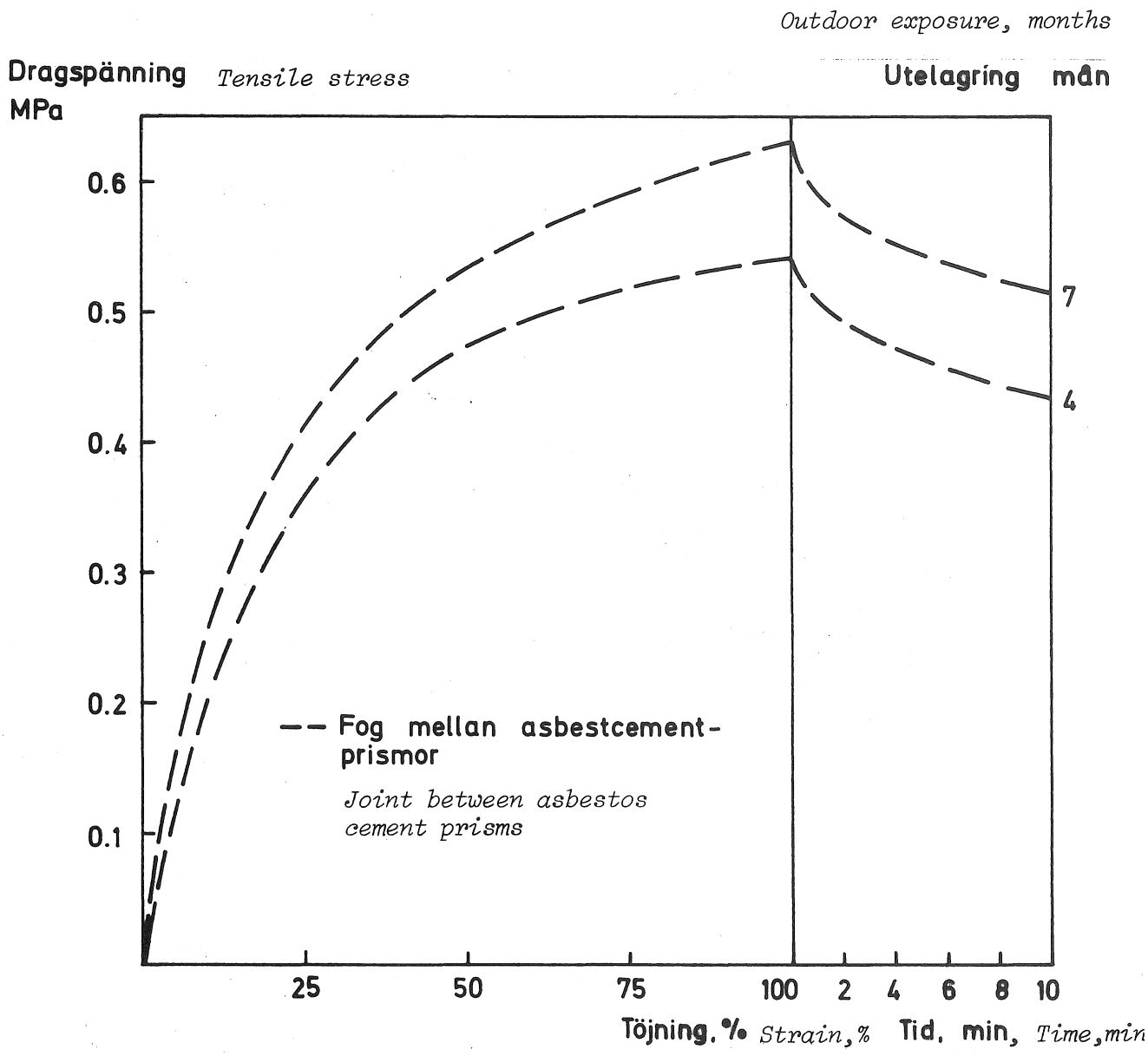


FIG 67 Arbetskurvor för "Material 2" efter olika lång tids utomhusexponering. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 2" after varying time of outdoor exposition. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

betskurvan för normallagrat prov enligt fig 23.

Den plastiska deformationen sammanhängande med då "långa" årstidsberoende fogrörelserna gäller även för material 2!

6.6.5 Arbetskurvor för material 3

Av fig 68 framgår arbetskurvor för material 3. Den skrafferade ytan döljer arbetskurvor för material med en exponeringstid av ca 7 månader men med olika deformationsgrad och olika elementmaterial. Som synes har en fortgående hårdhetsökning ägt rum från 5 till 7 månaders exponering.

Fig 25 visade dock att denna ökning också sker vid lagring i +20°C/50% RF. Hårdhetsökningen har dock varit betydligt snabbare vid utomhuslagringen. Det är t o m så att 7-månaderskurvorna närmar sig den i +70°C värmeåldrade kurvan i fig 25. Värdet på dragspänningen vid 50% töjning (= σ_{50} MPa) i fig 68 blir ca 0.375 MPa. Detta värde svarar i fig 25 ungefär mot 10 dygns värmeåldring i +70°C. Med samma beräkningsmetodik som i kapitel 6.2.8 erhålles att värmelagringen i +70°C på ca 1/20 av tiden ger ungefär samma effekt på deformationsmotståndet som utomhuslagringen ger. Man skall dock observera att kurvan i fig 25 har ett mycket brant förlopp i början varför förstoringsfaktorn måste kontrolleras mot de arbetskurvor som senare skall bestämmas efter ytterligare tids utomhusexponering. Dock är det rimligt att antaga att också hårdhetsökningen hos de utomhus lagrade provkropparna är störst i början. Detta betyder att tills vidare får förstoringsfaktorn 20 gälla som ett bra riktvärde.

Detta värde gäller ej vid tidig ålder. Där synes värmeåldringen vid +40°C ge god överensstämmelse.

Resultaten från utomhusexponeringen och bestämningarna

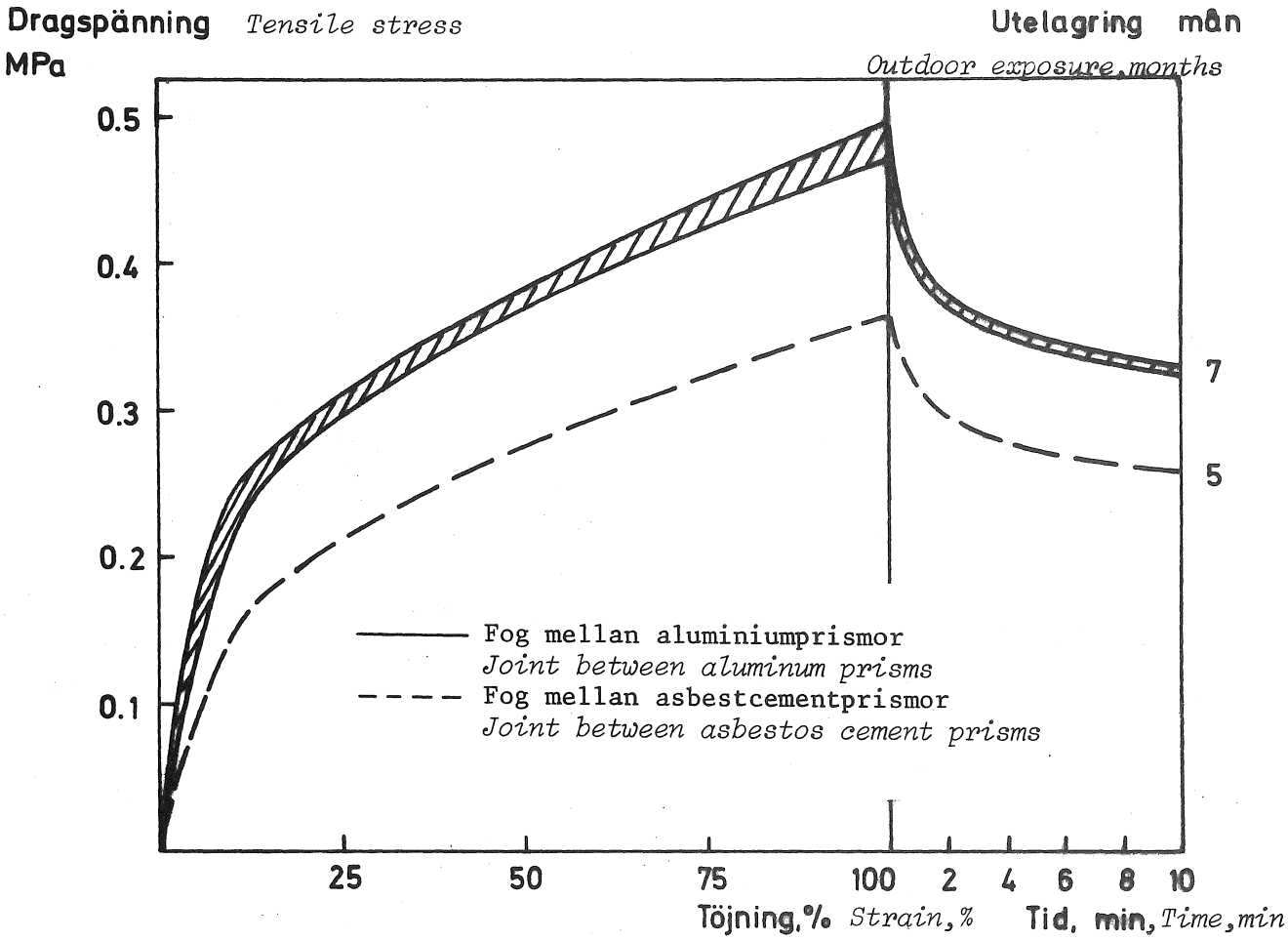


FIG 68 Arbetskurvor för "Material 3" efter olika lång tids utomhusexponering. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 3" after varying time of outdoor exposition. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

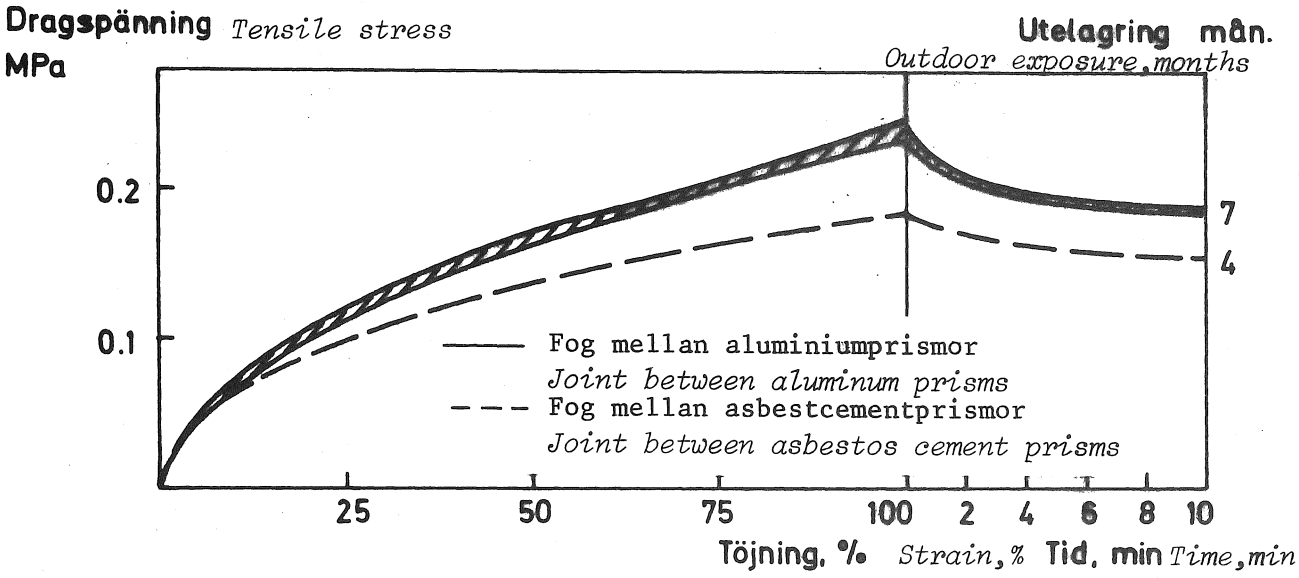


FIG 69 Arbetskurvor för "Material 4" efter olika lång tids utomhusexponering. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 4" after varying time of outdoor exposition. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

av spänningsrelaxationens storlek har hittills visat att material 3 fungerar som ett huvudsakligen elastiskt material sett över hela årets rörelsecykel.

6.6.6 Arbetskurvor för material 4

Arbetskurvorna framgår av fig 69. En viss hårdhetsökning har ägt rum från 4 till 7 månaders exponering. Skillnader mellan varierande deformationsgrad eller olika elementmaterial går ej att påvisa (spridningen efter 7 månaders exponering är mycket liten).

Vid jämförelse med normalklimat- och värmelagrade kurvor i fig 28 framgår att de uteexponerade är väsentligt mjukare! En orsak till detta kan vara ett långsammare härdningsförlopp. Trots detta fungerar material 4 ur deformationssynpunkt som ett huvudsakligen elastiskt material både vad gäller "korta" och "långa" rörelser.

6.6.7 Arbetskurvor för material 5

Material 5 är ett helt plastiskt material. Arbetskurvorna för de utomhusexponerade provkropparna framgår av fig 70. På grund av materialets plasticitet uppvisade fogprofilen ganska djupa veck varför exakta dimensioner är svåra att mäta. Detta har givit upphov till ganska stor spridning i mätresultaten.

Jämförelsen med fig 30 ger vid handen att värmeåldringen i +70°C gett upphov till helt andra effekter än vad som erhållits vid utomhusexponeringen. 56 dygn i +70°C verkar vara en alltför hård åldring.

6.6.8 Arbetskurvor för material 6

Material 6 är ett huvudsakligen plastiskt material. Dess elasticitet ökar dock långsamt med tiden. Dess plastiska karaktär har givit upphov till veckbildningar i fogpro-

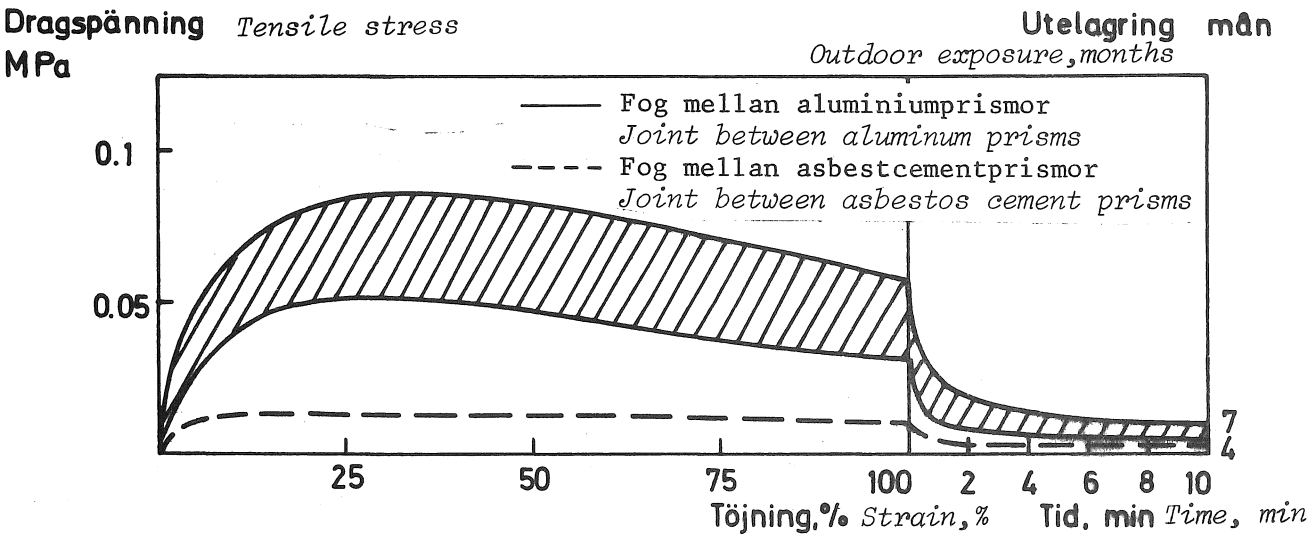


FIG 70 Arbetskurvor för "Material 5" efter olika lång tids utomhusexponering. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 5" after varying time of outdoor exposition. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

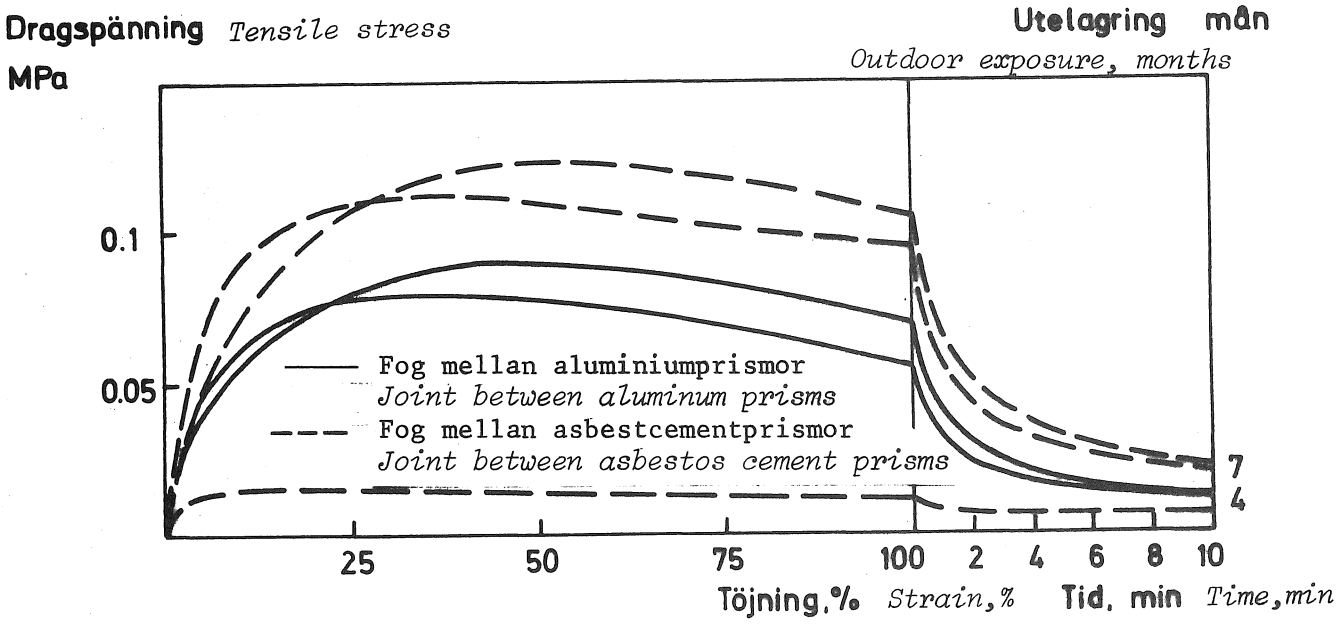


FIG 71 Arbetskurvor för "Material 6" efter olika lång tids utomhusexponering. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 6" after varying time of outdoor exposition. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

filen (fig 63) varför tvärsnitten är något svåra att mäta. Detta förklarar i någon mån spridningen i fig 71 där arbetskurvorna redovisas. Varierande deformationsgrad har hittills ej haft någon avgörande betydelse på materialets deformationsegenskaper. Däremot har alkaliniteten och/eller den högre vattenabsorptionen hos asbestcementprismorna i någon mån ökat hårdheten hos materialet (streckade kurvor). Detta överensstämmer väl med fig 47, där denna tendens också framkom för de efter alkali-/vattenlagringen senare torkade provkropparna.

Fig 33 visar vid jämförelse med fig 71 att värmeåldringen i +70°C ökar materialets deformationsmotstånd högst väsentligt. Denna åldring ger dessutom upphov till en del oönskade effekter, blåsor och sprickor, varför det för material 6 vore lämpligast att i stället driva värmeåldringen vid en lägre temperatur än +70°C.

6.6.9 Arbetskurvor för material 7

För material 7 visas arbetskurvorna efter utomhusexponeringen i fig 72. Arbetskurvorna gäller enbart fogar mellan asbestcementprismor. Mot aluminium har nämligen i samtliga fall erhållits adhesionsbrott vid provningen. Mot asbestcement har däremot adhesionen varit utmärkt. Denna dispersionsbaserade fogmassa kräver tydligen ett något sugande underlag för att bra vidhäftning skall erhållas alternativt primerbehandling.

Genom att mäta hårdheten i ° Shore A kunde dock konstateras att fogmassan mellan asbestcementprismorna hade ett väsentligt högre värde, 50 ° Shore A mot ca 28 för övriga provkroppar. Orsaken till detta är svårfångad. Tänkbart är dock att alkaliniteten i någon mån har påverkat fogmassan.

Fig 72 visar ett ökande deformationsmotstånd med tiden.

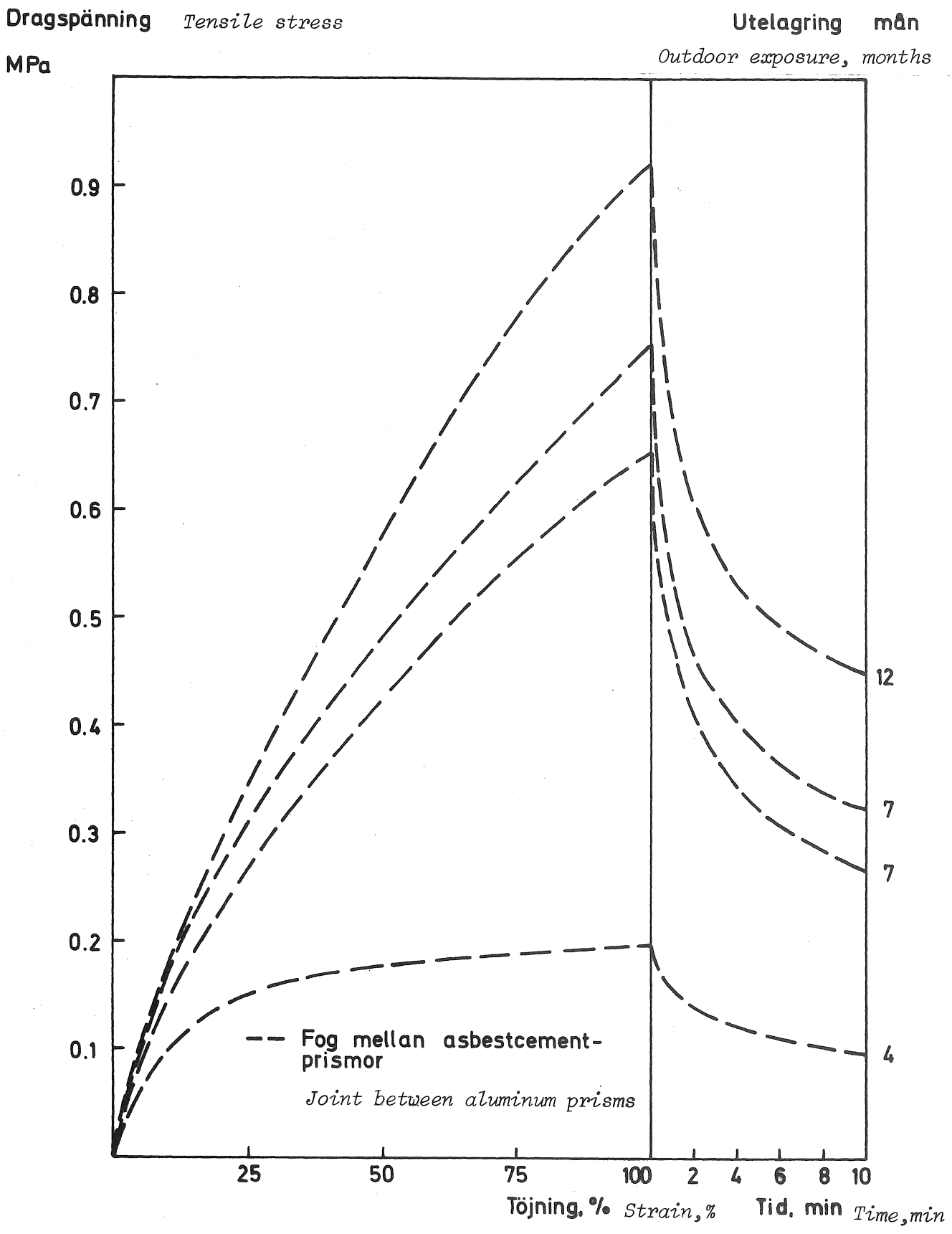


FIG 72 Arbetskurvor för "Material 7" efter olika lång tids utomhusexponering. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 7" after varying time of outdoor exposition. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

Med ett utökat jämförelsematerial borde hårdhetsökningen gå att accelerera via värmeåldring (fig 36).

Storleken på den påtvingade deformationen vid utomhusexponeringen har i någon mån påverkat kurvorna i fig 72. Den lägre av de båda kurvorna för 7 månaders utelagring gäller material som utsatts för den största deformationen, drag 7.7% och tryck 17.8% (detta överstiger också det av fabrikanten angivna värdet på totalt 15%).

Överbelastningen har givit upphov till en veckbildning i fogen och vid bestämningen av arbetskurvan uppstod delvis kohesionsbrott i detta snitt.

Material 7 fungerar plastiskt vad årstidsvarierande rörelser beträffar och delvis elastiskt vad gäller dygnsrörelserna.

6.6.10 Arbetskurvor för material 8

Fig 73 visar arbetskurvorna för material 8. Eftersom dels materialet ur deformationsupptagande synpunkt är plastiskt och dels bibehåller en mycket mjuk konsistens under lång tid blir dimensionerna svåra att mäta och spridningen bland mätresultaten stor. Inga säkra slutsatser kan dragas från kurvskaran i fig 73 t ex beträffande rörelseupptagande förmåga eller alkalikänslighet.

Jämförelsen med de värmeåldrade provkropparna enligt fig 39 visar dock att man borde kunna accelerera åldringen av materialet, t ex via någon form av värmeåldring. Om man dessutom knyter ihop materialets åldrande med skinnets förändring med tiden, och det finns goda grunder för detta, så har ju fig 41 och resonemanget kring denna redan visat kopplingen mellan den accelererade värmeåldringen och den naturliga åldringen.

Från den praktiska användningen av material 8 kan kon-

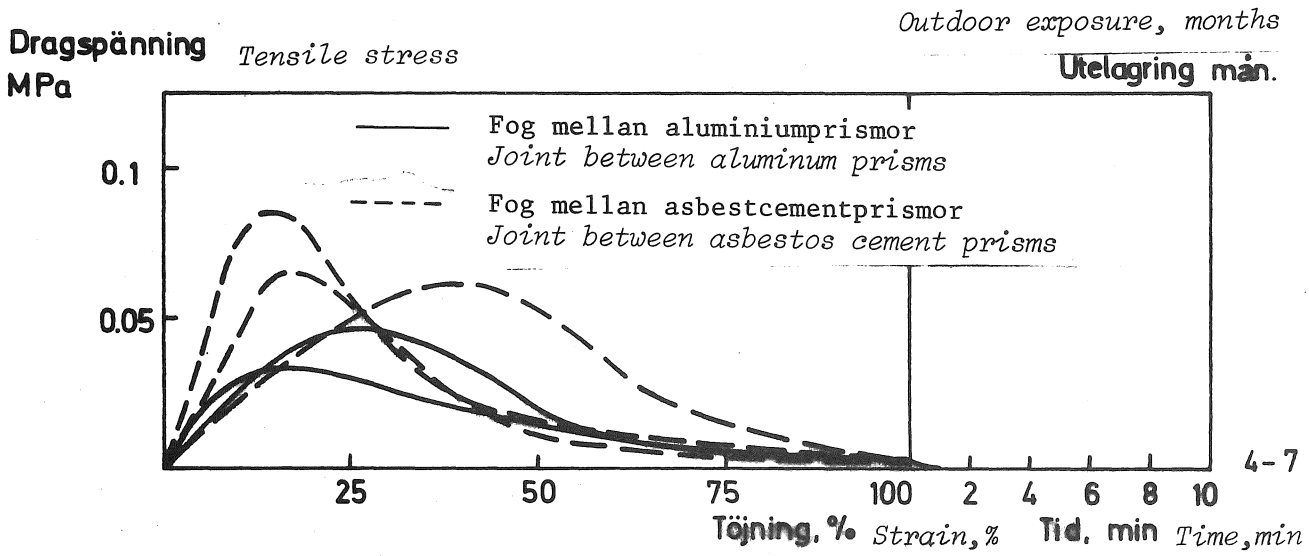


FIG 73 Arbetskurvor för "Material 8" efter olika lång tids utomhusexponering. Deformationshastighet: 1.5 mm/min. Provningstemperatur: +2°C.

Stress-strain curves for "Material No 8" after varying time of outdoor exposition. Deformation speed: 1.5 mm/min. Testing temperature: +2°C.

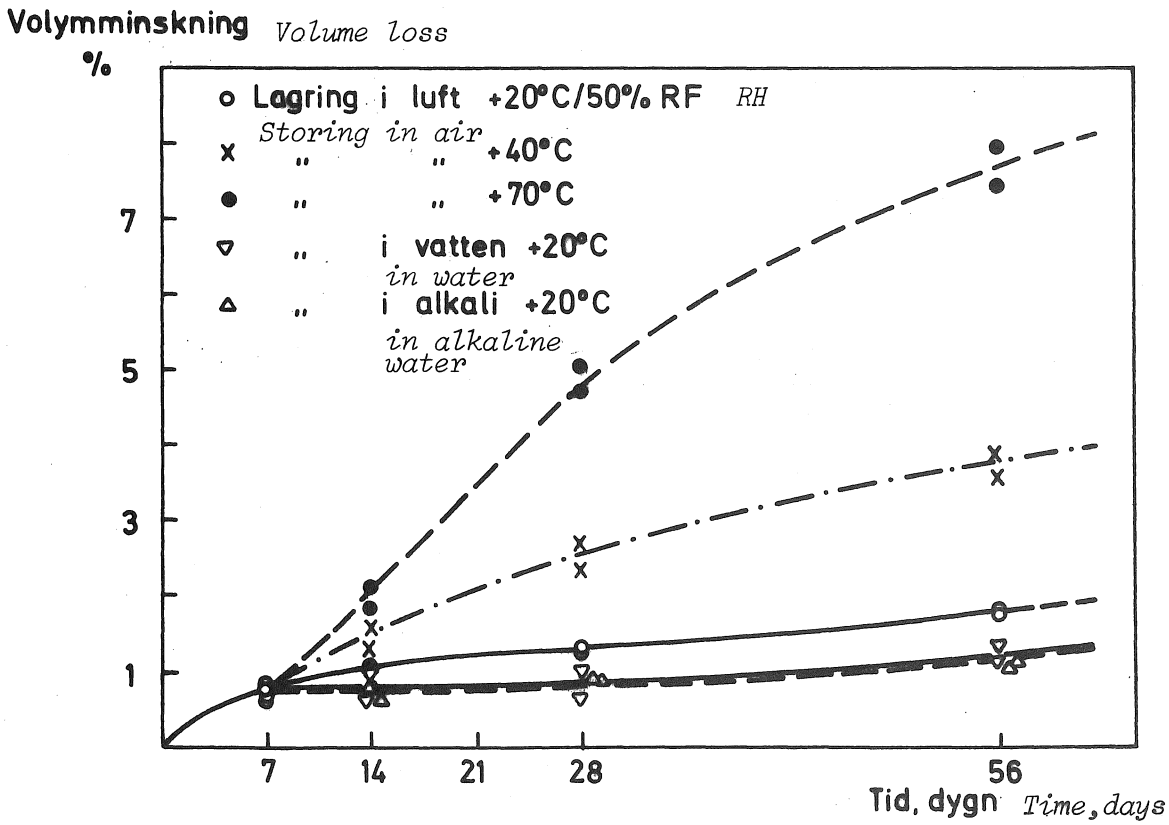


FIG 74 Volymminskning (krympning) som funktion av lagringstid i olika klimat för "Material 1".

Shrinkage as a function of storeing time in different types of climate for "Material No 1".

stateras att förvånansvärt goda erfarenheter föreligger. Ett stort antal arbeten finns utförda sedan mer än 10 år tillbaka i tiden och de allra flesta fogarna fungerar fortfarande alldeles utmärkt. Detta är något förvånande! Erfarenheten av de s k oljebaserade fogmassorna har annars hittills varit att de på relativt kort tid torkade ut och krympte med en otät fog som följd.

Orsaken till varför material 8 trots allt fungerar så bra i praktiken kan antagas vara följande: Fogmassan uppvisar en krympning av storleksordningen 12 - 15 vol-% (kapitel 6.7). Denna krympning ger fogens främre yta en markerad konkav form. Eftersom fogmassans rörelseupptagande förmåga är avhängig av skinnets töjbarhet har denna nya, p g a krympningen, förlängda ytan medfört att fogmassans rörelseupptagande del förlängts. Vid påföljande töjande och komprimerande rörelser kommer den inre, fortfarande mjuka, delen av fogmassan enbart att tjäna som ett stöd för skinnet. På grund av skinnets trots allt huvudsakligen plastiska karaktär kommer i samband med rörelserna viss veckbildning att uppstå.

Ovanstående beskrivning förutsätter att skinnbildningen ej sker alltför snabbt (kan kontrolleras enligt fig 41) samt att skinnet besitter en seghet.

Nackdelarna med den oljebaserade fogmassans funktionssätt är den veckbildning som uppstår (kan verka estetiskt störande ibland) samt den begränsade förmågan att motstå mekaniska angrepp (petning o dyl).

6.7 Bestämning av vikt- och volymminskning vid lagring i olika klimat

Nimmermark & Olsson (1976) har bestämt storleken på krympningen och viktminskningen hos material 1 - 8 vid lagring under olika betingelser (jfr kapitel 4.3). De lagringsbetingelser som använts är:

- +20°C/50% RF
- +40°C
- +70°C
- vatten +20°C
- alkali +20°C pH ∿11
- UV-kammare +20°C

Lagringen i de olika "klimaten" har i allmänhet startat efter 7 dygns lagring i +20°C/50% RF. Värmelagringen i +40 och +70°C har dock också startat efter 21 dygn i normalklimat 20/50.

Några exempel på resultaten skall här redovisas. Fig 74 visar krympningen som funktion av tiden för material 1. Värmelagringen ökar krympningen högst väsentligt jämfört med lagringen i 20/50. Det som åstadkommer krympningen kan t ex vara förlust av lösningsmedel, mjukgörare och vissa icke reagerade grupper av bindemedlet. Även en ökad härdningsgrad p g a värmelagringen kan i viss mån ge upphov till en kontraktion.

Lagringen i vatten och alkali har medfört en vattenupptagning och svällning som i någon mån motverkat den krympning som sker vid 20/50.

Stora olikheter råder mellan olika fabrikat av samma typ av fogmassa (samma bindemedel) vad t ex krympning och termisk stabilitet beträffar. Fig 75 visar värmeåldrade krympprovkroppar av polysulfidbaserade fogmassor. Det vänstra provet är material 1 och det högra är ett material av annat fabrikat.

Fig 76 visar värmelagringens effekt på krympningen för material 3. Även effekten av tidpunkten för värmelagringens start framgår. Krympningen efter 56 dygn blir sålunda större vid lagringen i +70°C först efter 21 dygn i 20/50! Om man dock betraktar viktminskningen som funktion av tiden, fig 77, framgår att denna är beroende av lagringens starttidpunkt. Detta innebär

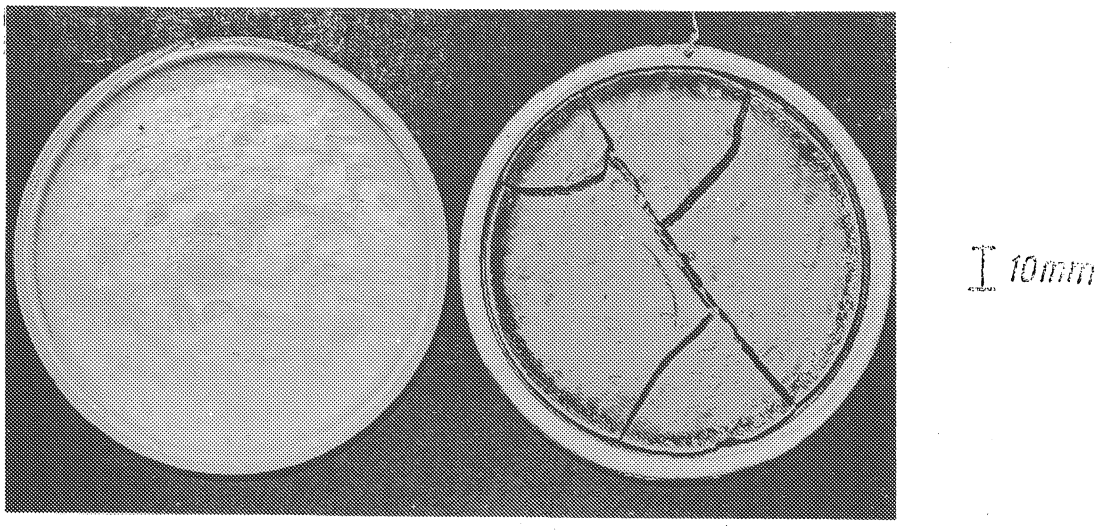


FIG 75 Bestämning av vikt- och volymminskning för två olika polysulfidbaserade fognassor vid lagring i +70°C. Vänster provkropp är "Material 1", den högra av annat fabrikat.

Measuring of weight loss and shrinkage of two different polysulphide based sealants when stored at +70°C. The specimen to the left is "Material No 1", the one to the right of another make.

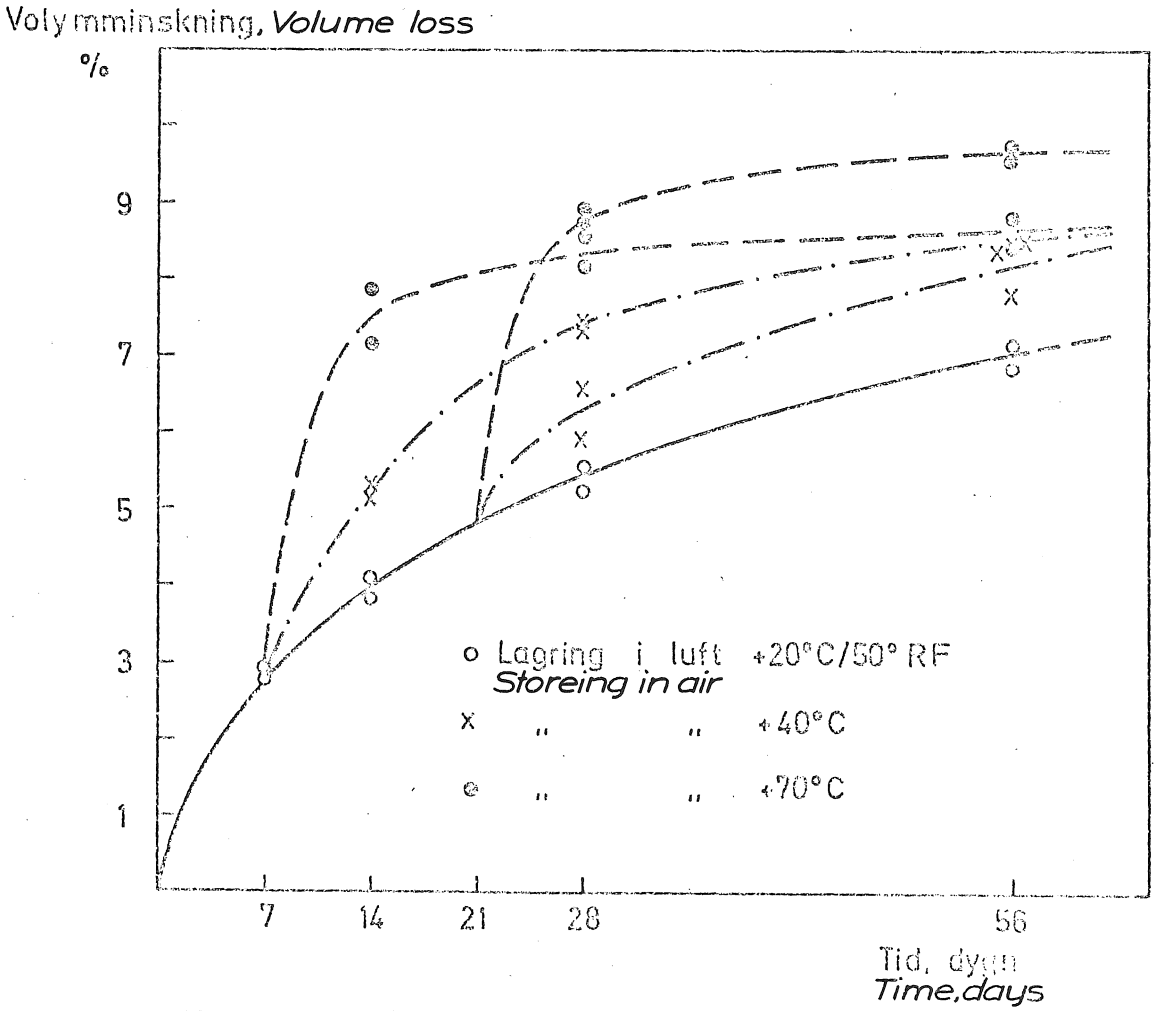


FIG 76 Volymminskning (krympning) som funktion av lagringstid i olika klimat för "Material 3".

Shrinkage as a function of storeing time in different types of climate for "Material No 3".

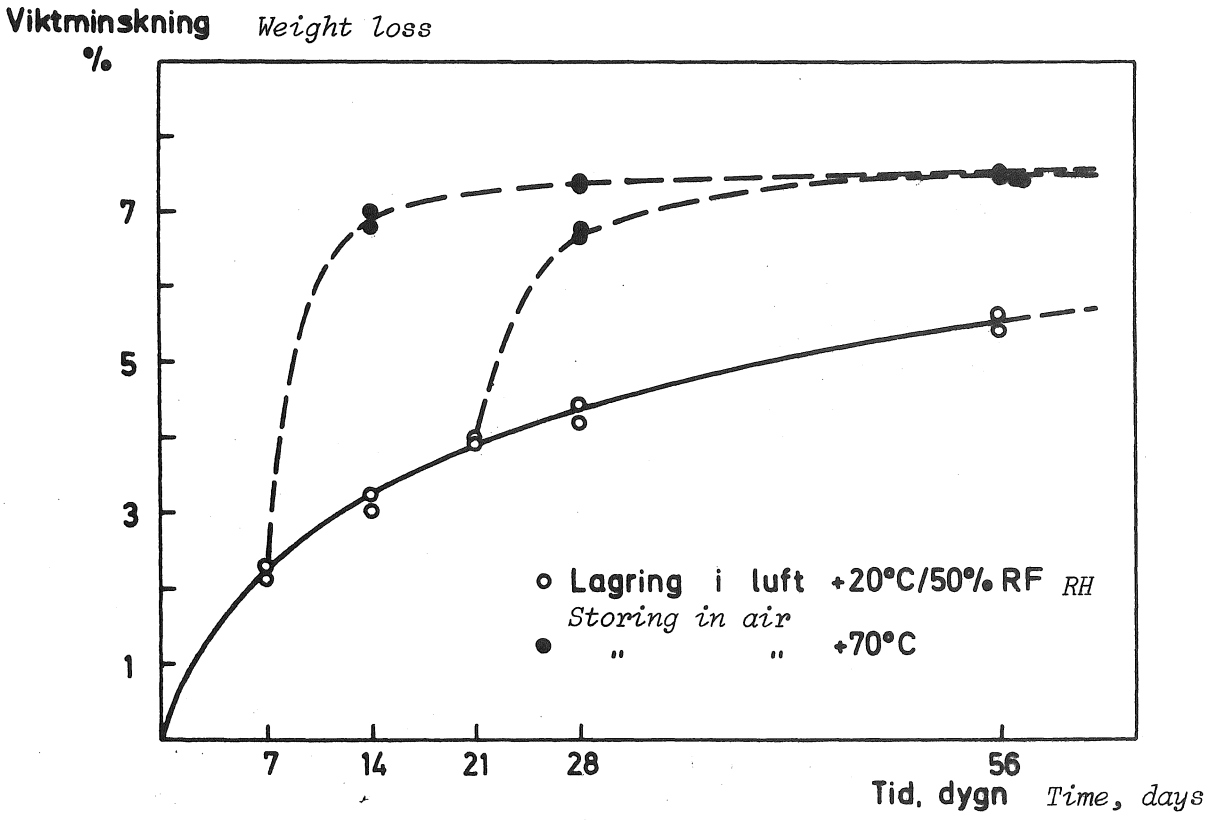


FIG 77 Viktminskning som funktion av lagringstid i olika klimat för "Material 3".

Weight loss as a function of storeing time in different types of climate for "Material No 3".

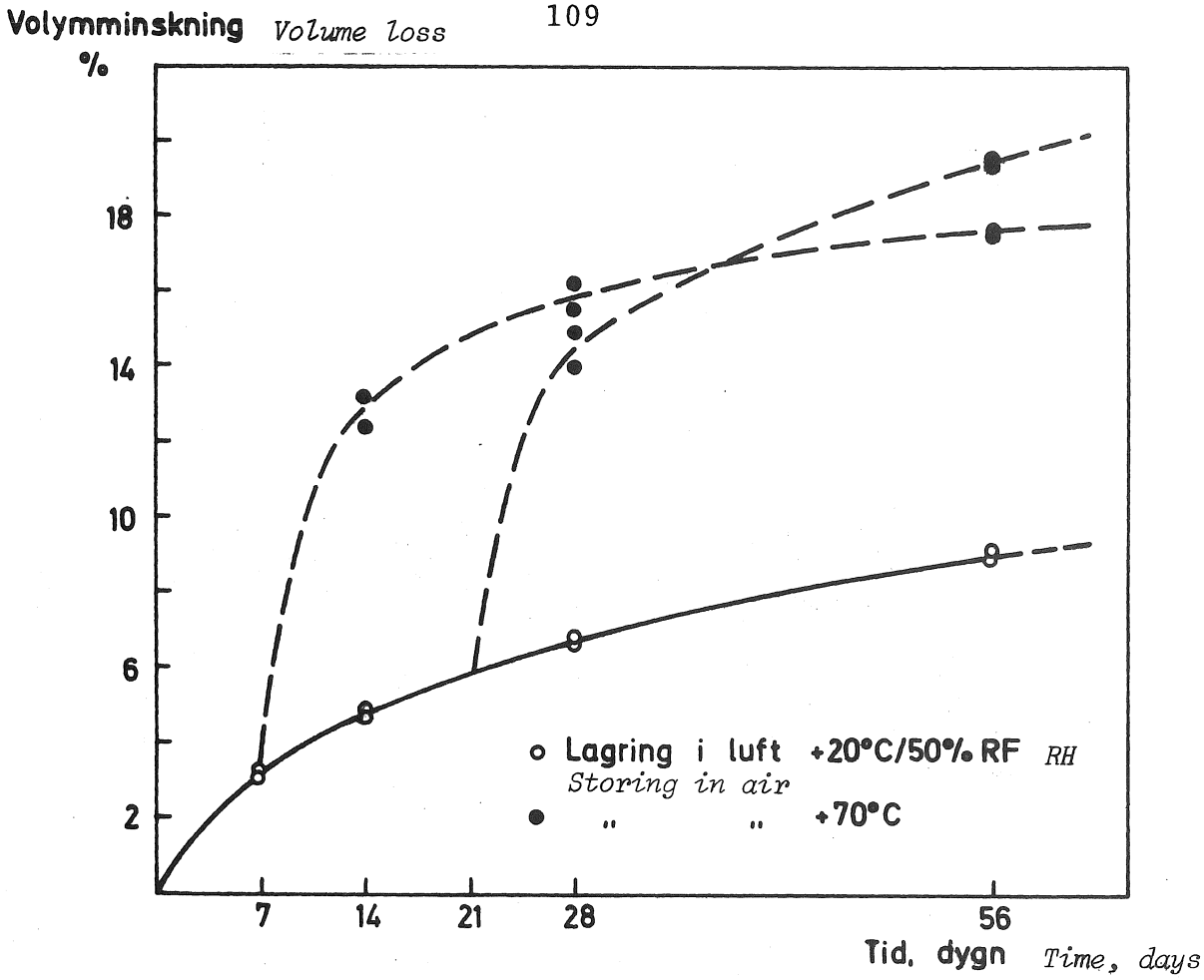


FIG 78 Volymminskning (krympning) som funktion av lagringstid i olika klimat för "Material 6".

Shrinkage as a function of storeing time in different types of climate for "Material No 6".

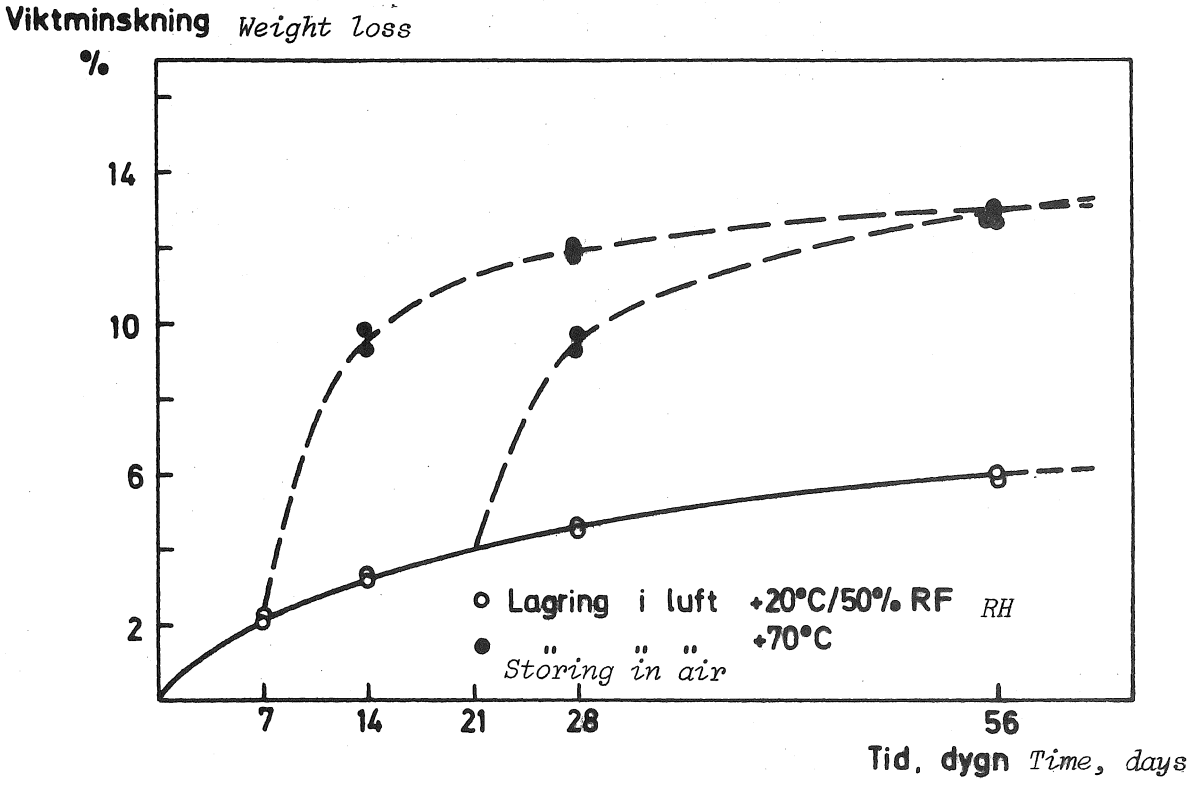


FIG 79 Viktminskning som funktion av lagringstid i olika klimat för "Material 6".

Weight loss as a function of storeing time in different types of climate for "Material No 6".

att vid en tidigt insatt värmeåldring bildas slutna porer i materialet som skenbart ger en mindre krympning. Porbildningen sammanhänger huvudsakligen med en förlust av lösningsmedel.

För material 6 visas i fig 78 - 79 samma förhållande, d v s krympningens storlek är beroende av hur snabbt värmelagringen sätts in.

Tabell 7 och 8 sammanfattar resultaten från bestämningarna av volym- och viktminskningarna för samtliga material. Av tabell 7 framgår också de uppgifter beträffande krympningen som lämnas av respektive fabrikant. Som synes avviker uppgifterna ibland väsentligt från de av Nimmermark & Olsson (1976) funna värdena.

Genom att använda värdena från bestämningarna av vikt- och volymminskningarna kan medeldensiteterna beräknas på det/de ämne(n) som bortgått i de olika fallen. Tabell 9 visar en sammanställning av dessa värden.

Tabell 9. Beräknade densiteter (g/cm^3) på bortfallet material i olika klimat.

Material nr	Klimat			
	56 dygn +20°C/50% RF	7 d 20/50 49 d +40°C	7 d 20/50 49 d +70°C	21 d 20/50 35 d +70°C
1	0.22	0.23	0.24	0.24
2	0.31	0.27	0.64	0.63
3	0.92	0.93	1.02	0.91
4	0.73	0.75	0.59	0.65
5	0.87	0.88	1.13	1.09
6	0.93	0.91	1.04	0.93
7	1.00	0.99	1.07	1.02
8	0.55	0.63	0.82	0.79

Tabell 7. Krympning (vol-%) efter 56 dygn i olika klimat

Material nr	Klimat								Uppgift om krympning enl fabrikanten
	+20°C/ 50% RF	+40°C		+70°C		Vatten +20°C	Alkali +20°C	UV +20°C	
		7 dygn i 20/50	21 d. i 20/50	7 dygn i 20/50	21 d. i 20/50				
1	1.8	3.8	3.4	7.7	7.0	1.2	1.1	1.8	"obetydlig"
2	2.0	4.0	3.4	4.0	3.7	0.9	0.8	1.8	"ingen krympning"
3	7.0	8.6	8.2	8.6	9.7	1.8	3.4	7.7	uppgift saknas
4	4.3	5.9	5.6	8.4	7.8	0	0.2	4.2	7%
5	8.2	13.3	10.1	15.1	15.4	8.6	5.8	8.1	"måttlig"
6	9.1	13.2	13.5	17.6	19.6	2.8	2.8	6.9	10%
7	22.0	23.2	23.4	22.8	24.6	-	-	22.0	uppgift saknas
8	10.4	14.8	14.0	17.5*	17.9	-21.3	-14.2	9.1	15%

* endast 1 provkropp

Tabell 8. Viktminskning (vikt-%) efter 56 dygn i olika klimat

Material nr	Klimat							
	+20°C/ 50% RF	+40°C		+70°C		Vatten +20°C	Alkali +20°C	UV +20°C
		7 dygn i 20/50	21 d. i 20/50	7 dygn i 20/50	21 d. i 20/50			
1	0.3	0.6	0.5	1.2	1.1	-0.3	-0.3	0.3
2	0.4	0.7	0.7	1.7	1.6	-0.4	-0.3	0.4
3	5.5	6.8	6.7	7.5	7.5	1.1	2.4	5.8
4	2.6	3.7	3.6	4.1	4.2	-1.8	-0.9	2.6
5	5.3	8.6	6.6	12.6	12.4	5.2	3.5	4.7
6	6.0	8.5	8.7	13.0	12.8	1.5	2.0	4.2
7	14.7	15.3	15.7	16.3	16.7	-	-	14.2
8	3.8	6.2	5.9	9.5*	9.4	-17.7	12.0	2.8

* endast 1 provkropp

För material 1 och 2 har erhållits mycket låga värden på densiteten. Detta förklaras sannolikt till en del med att den kemiska härdningen åtföljs av en kontraktion.

För material 3 överensstämmer den beräknade densiteten relativt väl med lösningsmedlets densitet. Den tidigt påbörjade värmeåldringen i +70°C har dock givit en porbildning varför densiteten blir för hög. Samma sak gäller för material 5, 6, 7 och i någon mån 8.

6.8 Bestämning av krympspänningar

Som framgår av kapitel 6.7 är krympningens storlek ganska avsevärd för vissa material. En försöksserie har därför genomförts där avsikten varit att mäta de eventuella krympspänningar som uppstår då olika fogmassor härdar/torkar. Material 1, 3, 7 och 8 har undersökts. Temperaturen under mätperioderna har varit +21 - +23°C.

Med hjälp av mätutrustningen enligt fig 15 följdes krympspänningen som längst i 31 dygn. Mätresultaten framgår av tabell 10. Eftersom det här gäller att mäta mycket små spänningar uppstår viss osäkerhet i mätningarna. Mätutrustningen är känslig för temperaturförändringar o dyl. Därför har en uppskattning gjorts av nätnoggrannheten. Detta resulterade i ett generellt tillägg enligt tabell 10 till de avlästa värdena. De värden på krympningen som anges i tabellen har hämtats ur kapitel 6.7 eller från Nimmermark & Olsson (1976).

Tabell 10. Resultat av krympspänningar

Material nr	Tid dygn	Krympning vol-%	Uppmätt spänning MPa	Tillägg p g a mätosäkerhet MPa	Maximal krympspänning MPa
1	12	1	0	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
3	27	5.5	$3 \cdot 10^{-3}$	"	$5 \cdot 10^{-3}$
7	31	21	$2 \cdot 10^{-3}$	"	$4 \cdot 10^{-3}$

Med hjälp av apparaturen enligt fig 5 gjordes samma typ av mätningar för material 3, 7 och 8. Krympningen följdes upp till 46 dygn.

För material 3 blev krympspänningen efter 46 dygn ca $12 \cdot 10^{-3}$ MPa. Krympningen var då ∿6.5 vol-%. Vid 27 dygn var motsvarande värden ungefär $6 \cdot 10^{-3}$ MPa respektive 5.5 vol-%. Det senare värdet överensstämmer således väl med värdet i tabell 10.

För material 7 blev krympspänningen efter 46 dygn $<5 \cdot 10^{-3}$ MPa. Krympningen är då ca 22 vol-%. Detta värde stämmer också väl överens med värdet enligt tabell 10.

Material 8 uppvisade ingen mätbar krympspänning efter 46 dygn. Med mätnoggrannheten som begränsning betyder det att spänningen är mindre än 10^{-4} MPa.

Resultaten av de gjorda mätningarna visar således att de krympspänningar, som uppstår på grund av krympningen, är av mycket blygsam natur. För material 3 kan den uppmätta krympspänningen jämföras med de dragspänningar, som uppstår i materialet vid en mycket långsam töjning (fig 27). Vid ∿1.5% deformation uppstår dragspänningen $12 \cdot 10^{-3}$ MPa för det värmeåldrade materialet i fig 27.

Motsvarande jämförelser för material 1 och 7, fig 22 respektive fig 37, ger ännu mindre deformationer.

Orsaken till att så små krympspänningar uppstår är att materialen fortfarande är alltför plastiska när den största delen av krympningen äger rum.

LITTERATUR

Agri, O och Holmlund, U, 1973, Fogar i yttervägg. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad B 12:1973. Stockholm.

Building Research Station Digest 36. Jointing with Mastics and Gaskets -1. Garston 1967.

Burström, P G, 1973, Klassificering av fogmassor. STU-rapport 71-651/U 541.

ER-nämndens Rapport nr 1:1971, Provningsmetoder för fogmassor NM Bygg F1 - 13. Stockholm.

Friberg, G, 1970, Material och miljö 1 - 4. Plastvärlden 2 - 4 1970, 9 1970.

Gjelsvik, T, 1975, Uteklimaets innflytelse på fasadematerialer og konstruktioner. Norges byggforskningsinstitutt særtrykk 234.

Grunau, E, 1976, Lebenserwartung von Dichtstoffen im Hochbau. Das Baugewerbe, Heft 5/76.

Hasselblad, V och Andersson, K A, 1972, Fogar i betongelementfasader. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport R42:1972. Stockholm.

Hockenberger, L & Soyka, M, 1969, Zur Frage der Sicherheit beim Verfugen. Beton 11-1969.

Hockman, A, 1975, Arbetsmaterial och information vid personlig kontakt.

Höjfors, R och Palmgren, H, 1973, Polymerteknik, Materiallära. Ingenjörsförlaget 1973.

Jagfeld, P, 1968, Wechsellagerungsversuche an Fugenmassen für den Betonfertigteilbau (künstliche Alterung.) Betonstein-Zeitung, Heft 2/1968.

Karpati, K K, 1968, Literature Survey of Sealants. Journal of Paint Technology, vol. 40, No. 523, August, p. 337-347.

Künzel et al, 1975, Untersuchungen an Fugendichtungsmassen und Alterungsbeständigkeit von Hart-PVC. Berichte aus der Bauforschung, Heft 98. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1975.

Lerchenthal, H et al, 1972, Changes in some characteristics of polysulphide based joint sealants in accelerated ageing tests. Vol 5 No 29 1972 Matériaux et constructions.

Lucke, H, 1973, Dichtungsmassen - Dichtungsprobleme. Bertelsmann Fachzeitschriften GmbH, Berlin.

Nimmermark, S och Olsson, G, 1976, Krympning, krypning och relaxationsegenskaper hos fogmassor. Examensarbete utfört vid avd byggnadsmateriallära, LTH.

Nylund, P O, 1975, Temperaturrörelser hos fasadskivor. Statens råd för byggnadsforskning. Rapport R60:1975. Stockholm.

Saare, E, 1960, Åldringsbeständighet hos byggnadsmaterial av plast. Teknisk Tidskrift h 32 1960.

Schröderheim, G, 1974, Gummimaterialens härdighet mot kemiska angrepp. Plastvärlden, 1, p. 28-33.

Wright, J, 1972, Outdoor and accelerated weathering of elastomers and plastics: The assessment of an accelerated weathering test chamber. Explosives Research and Development Establishment Waltham Abbey, England, March 1972.