

Hans Wennerholm

Solfångares kvalitet och beständighet i Sverige

Del 2 Konvektionshinder av FEP-film - Skadeutredning

Abstract

Transparent or translucent insulation materials (TIM's) represent a new class of materials with a high potential for increasing the efficiency of solar thermal conversion systems. A large number of materials have been subjected to theoretical and experimental investigation. If all materials that suppress heat losses but are transparent to solar radiation, vacuum, certain gases, convection barriers, etc., can be regarded as TIM's.

Exploratory field and laboratory studies of degraded FEP-film convection barriers in flat plate thermal solar collectors are described. The study related to collectors that had been operating in Sweden for periods of one year to ten years. Both physical, functional (thermal) and chemical aspects of degradation were considered. The report identifies the mistakes made so that they need not be repeated by the solar collector manufacturers in the future.

Keywords

Solar energy, transparent insulation material, convection barrier, FEP-film, degradation.

SP
SP Rapport 1993:17
ISBN 91-7848-401-4
ISSN 0284-5172
Borås 1993

**Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report

Postal address:
Box 857, S-501 15 BORÅS,
Sweden
Telephone + 46 33 16 50 00
Telex 36252 Testing S
Telefax + 46 33 13 55 02

Innehållsförteckning

	Abstract	2
	Sammanfattning	5
1	Inledning	7
2	Projektets bakgrund	11
2.1	Iakttagelser vid besiktningar 1992	11
2.2	SPs problem	12
3	Projektets syfte	13
4	Värmeöverföring	15
4.1	Ledning	15
4.2	Strålning	15
4.3	Konvektion	15
5	Transparenta isoleringar	17
6	Materialegenskaper hos FEP-plastfilm	19
6.1	Allmänt	19
6.2	Typiska värden på materialegenskaper	20
6.3	Rivhållfasthet	20
6.4	Väderbeständighet	20
6.5	Transitioner	21
7	Fältundersökningar	23
7.1	Undersökta anläggningar - provtagning	23
7.2	Montering - fastsättning av filmer	24
7.2.1	Filmtjocklekar, glasningsenheter och svep	24
7.2.2	Trådar, distanser och spänning/sträckning	24
7.2.3	Mekanisk fastsättning i sidokanter och spröjsar	25
7.2.4	Limning	25
7.2.5	Monteringen i Malung	26
7.3	Skadornas utseende och orsaker	27
7.3.1	Bristning och släppning utefter kant	27
7.3.2	Reva som börjar vid kant	27
7.3.3	Reva i glasningsenhets centrum	27
7.3.4	Limfogar som släpper	27
8	Laboratorieundersökningar	29
9	Slutsatser och rekommendationer	31

Referenser	32
Fotografier	33
Bilaga 1: Rapport från PGI	39
Bilaga 50: Typiska värden på materialegenskaper enligt IEA	
Bilaga 51: Mekaniska egenskaper för kommersiella FEP-filmer	
Bilaga 52: Termiska egenskaper för kommersiella FEP-filmer	
Bilaga 53: Optiska egenskaper för kommersiella FEP-filmer	

Sammanfattning

Under första halvåret 1992 besiktigade SP 50 stycken solvärmeanläggningar varvid solfångarna ägnades den största uppmärksamheten. Mer än 3000 solfångare undersöktes med avseende på hållbarhet, tillförlitlighet och beständighet. 27 anläggningar hade konvektionshinder av FEP-film, vilka var mer eller mindre trasiga i 16 anläggningar.

Vid demontering av och provtagning i åtta solfångare med trasiga konvektionshinder, från lika många anläggningar, har konstaterats att skadornas uppkomst kan förklaras med att mekaniska skador uppstått redan vid monteringen, eller strax efteråt. Solfångarnas ålder har varit ett till tio år. Perforerande fästelement, som popnitar, skruvar m m, orsakar (brott)anvisningar i filmerna varifrån revor börjar växa med en hastighet av någon mm per dag. Även vassa kanter på aluminiumlister skadar filmerna varvid anvisningar uppstår. Distansanordningar på absorbatorer eller täckskivornas insida skadar också filmerna med tiden och revor börjar växa.

Laboratorieundersökningar med DMTA och DSC har gjorts på de filmer som uttogs vid provtagningen, vilkas ålder alltså varierar mellan ett och tio år. Resultaten har jämförts med mätningar på spritt nya filmer. Ingen generell åldringspåverkan har säkert kunnat konstateras på filmer som exponerats i solfångare upp till tio år.

Av litteraturdata och tillverkarnas egna tekniska materialspecifikationer framgår att anvisade eller skårade prover av FEP-film generellt har mycket låg rivhållfasthet.

Solfångartillverkare och -leverantörer som önskar P-märka produkter med konvektionshinder av FEP-film, måste övertygande visa för SP att montering och fastsättning av filmerna kan göras utan att mekaniska skador uppstår redan vid solfångartillverkningen. Risk får ej heller finnas att filmerna skadas under drift.

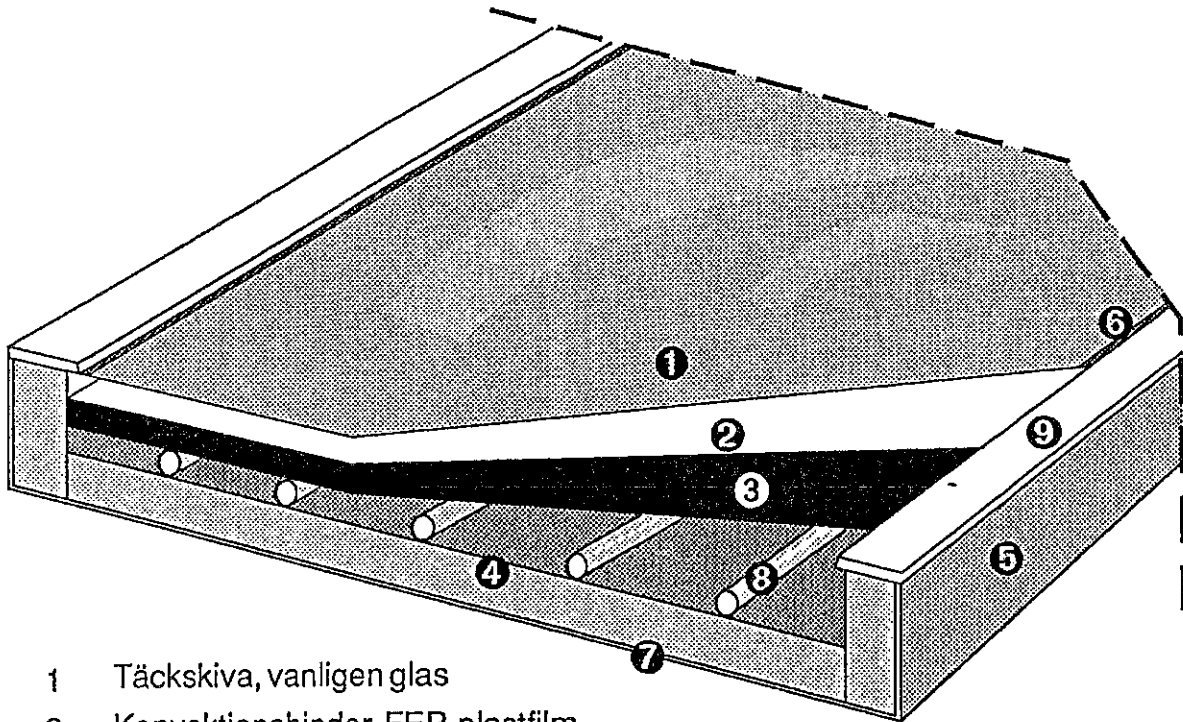
1 Inledning

Uppvärmning av tappvatten, bostäder, fabriker och andra lokaler, dominerar energiförbrukningen i länder på höga latituder. Dessa behov av lågtempererad termisk energi har hittills huvudsakligen täckts med olika bränslen som ger utsläpp, som i sin tur påverkar miljön. På sikt bör alla uppvärmningsbehov kunna täckas av förnybara energikällor. Detta indikerar att det finns en stor potential för termisk solenergi.

En typisk solfångare idag med enkel täckskena och selektiv absorber har en värmeförlustkoefficient på ca $4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ och en optisk effektivitet η_0 på knappt 80%. Med hänsyn till dessa värden är sådana solfångare lämpliga där det krävs arbetstemperaturer på 40-60 °C, t ex tappvarmvattensystem.

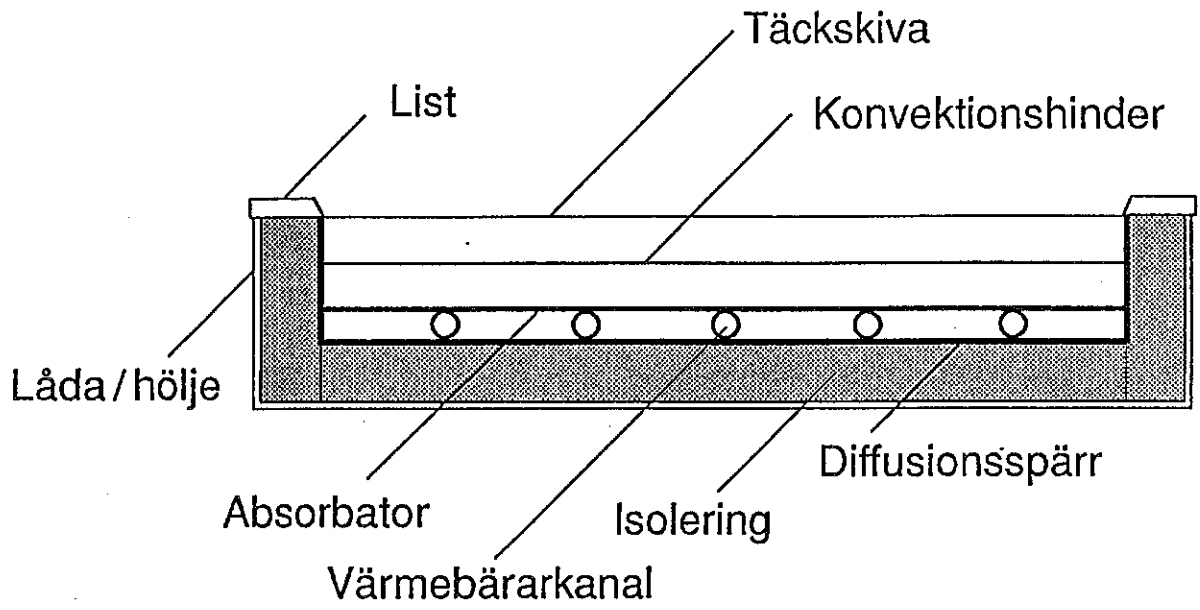
Men många termiska processer kräver arbetstemperaturer på 80-150 °C, som t ex kylsystem, absorptions- och adsorptionsprocesser, steriliseringsanläggningar, avsaltningsanläggningar och system med säsongsvärmelager, vilket Sverige är känt för.

Med hjälp av transparenta isolermaterial (Transparent Insulation Materials, TIM's) kan verkningsgraden hos konventionella solfångare förbättras så att temperaturer över 80 °C kan erhållas. Om man med TIM avser solfångarkomponenter som undertrycker värmeförluster men släpper igenom solstrålning, kan vakuum, gaser (andra än luft) och alla material som är genomskinliga för solstrålning men ogenomskinliga för värmestrålning, betraktas som TIM. Principiell uppbyggnad av solfångare med konvektionshinder framgår av figur 1 och 2.



- 1 Täckskena, vanligen glas
- 2 Konvektionshinder, FEP-plastfilm
- 3 Absorbator
- 4 Isolering med diffusionsspärrskikt
- 5 Ramverk, vanligen aluminium
- 6 Tätningslist, vanligen EPDM-gummi
- 7 Bakstycke, vanligen aluminiumplåt
- 8 Värmebärarkanal
- 9 Metallist, vanligen aluminium

Figur 1. Sprängskiss av solfångare.



Figur 2. Solfångare i genomskärning.

2 Projektets bakgrund

2.1 Iakttagelser vid besiktningar 1992

Vid SPs besiktningar av solvärmesystem runt om i Sverige 1992, konstaterades att av samtliga anläggningar med konvektionshinder som besöktes, hade mer än drygt hälften av anläggningarna mer eller mindre trasiga FEP-filmer. Sedan 1983 har alla större anläggningar konvektionshinder, utom Torvalla. Det har också blivit relativt vanligt i villasystem.

Trasiga konvektionshinder fanns att beskåda i de anläggningar som framgår av tabell 1.

Tabell 1

Anläggning	Solfångartyp	Andel solfångare med trasiga konv.hinder
Stora Wrem	TeknoTerm ST	3/6, d v s 3 solfångare av totalt 6
Udden, Hamburgsund	TeknoTerm ST	1/2
Gunnebovägen, Hamburgsund	TeknoTerm ST	2/3
Ejde, Hamburgsund	TeknoTerm ST	3/3
Hällevadsholm	TeknoTerm ST	1/4
Lilla Edet	TeknoTerm ST	2/2
Malung	Solsam/Wilson	124/240
Strinne	TeknoTerm ST	7/8
Lyckebo	TeknoTerm HT	16/360
Lidingö	Solsam HT2	1/5
Nykvarn I och II	TeknoTerm HT	195/320 och 6/280
Tumba, Södertörn	Solsam HT	72/72
Tumba, Södertörn	Wilson	1/1
Ingelstad	TeknoTerm HT	60/194
Falkenberg	TeknoTerm HT	115/440
Uttervägen, Falkenberg	TeknoTerm ST	3/3
Kärleken, Halmstad	TeknoTerm ST	1/2

Olika typer av skador tycks uppträda:

- Filmer har brustit och lossnat efter kanter (se fotografierna 1, 2 och 3).
- Revor som tycks ha börjat vid kant och som sedan vuxit inåt (se fotografi 4).
- Reva i glasningsenhetens centrum som även tycks ha startat där (se fotografi 5 och 6).
- Veckade filmer som limmats mot täckskivans insida har lossnat (se fotografi 7).

2.2 SPs problem

SPs certifieringssystem (P-märkningssystemet) för termiska solfångare, innefattar idag inget provningsmoment i den inledande kontrollen som specifikt utvärderar transparenta isoleringar, som t ex konvektionshinder. Vid den ettåriga utomhusexponeringen har det dock avslöjats att vissa solfångartyper har brister beträffande konvektionshinder. För SPs provnings- och certifieringsverksamhet måste orsakerna bakom haverierna utredas och klargöras, och detta måste ske snabbt för att inte de tekniska utvärderingarna av nya solfångarkonstruktioner skall försenas eller avstanna.

3 Projektets syfte

När solfångare med enkla eller dubbla konvektionshinder av FEP-film lanserades i mitten på åttiotalet, ansågs det som en betydande innovation på solvärmeområdet. Genom att montera tunna filmer i solfångarna förbättrades termiska prestanda i ett slag med ca 15%. Fluorplasterna hade ett etablerat rykte som supermaterial med extremt goda egenskaper. Väderbeständigheten och temperaturbeständigheten ansågs inte vara något problem. "Det håller hur länge som helst".

Besiktningresultaten 1992 kom som en obehaglig bekräftelse på de rykten som börjat cirkulera inom branschen, att konvektionshinder av fluorplaster var ett problem som borde undersökas, om inte annat för att förhindra att branschen återigen fick dåligt rykte, som i början på åttiotalet. Frågan var också vad som orsakade att filmerna gick sönder. Vågade tillverkarna fortsätta att montera FEP-filmer? Reklamationerna var redan ett problem. SP gjorde tvärstopp i provnings- och certifieringsverksamheten på solfångarområdet: inga ytterligare solfångartyper med konvektionshinder av FEP kunde godkännas. SPs godkännande är en förutsättning för erhållande av investeringsbidrag till solvärmeanläggningar från Boverket eller NUTEK.

En av solfångartillverkare livligt framförd hypotes var att problemen endast beror på infästningstekniken av filmerna. Olika varianter har prövats under åren. Dessutom tycktes filmtjockleken ha betydelse, 0,013 mm har större skadefrekvens än 0,025 mm. En omständighet som skapade ytterligare förvirring var att skadefrekvensen inte kunde relateras till solfångarnas ålder. Lyckebo-anläggningen t ex, som startades 1983 som första större anläggning med konvektionshinder av FEP, hade nästan inga skador.

Om man ser på Nykvarn etapp I, som har solfångare med dubbla filmer, så tycks skadeorsakerna vara temperaturberoende, eftersom det alltid är den undre filmen, närmast absorbatoren, som är trasig.

Projektets syfte har varit att utreda orsakerna till uppkomna skador, med hänsyn till betydelsen av infästningsteknik, filmtjocklek och eventuella åldringsförändringar.

4 Värmeöverföring

En temperaturskillnad mellan två kroppar ger upphov till en utjämnande värmetransport från den varmare till den kallare kroppen. Om ett material placeras mellan kropparna verkar detta isolerande och värmeöverföringen minskar. Det behöver inte nödvändigtvis vara en fast kropp. Ett moln kan t ex avskärma solen ganska effektivt. Man brukar skilja på tre olika sätt för värmetransport, nämligen ledning, strålning och konvektion [11].

4.1 Ledning

I fasta tyngre material, såsom metaller, betong och mark sker värmeöverföringen i huvudsak genom ledning. I de delar av materialet som är varmare rör sig molekylerna snabbare. Rörelseenergin överförs genom stötar eller utbyte av elektroner till de kallare delarna, vilket vi uppfattar som en temperaturökning [11].

4.2 Strålning

Molekylrörelser i en kropp medför att termisk strålning avges i form av elektromagnetisk strålning. Värmestrålning ligger i våglängdsintervallet 10^{-7} till 10^{-4} m, inom vilket det synliga ljuset upptar ett smalt band. Mängden värme som överförs genom strålning mellan två kroppar beror på:

- Kropparnas temperatur
- Kropparnas placering och deras inbördes geometri
- Ytornas emissivitet respektive absorptans

Förhållandet mellan utstrålningen från en verklig yta och den från en svart yta vid samma temperatur kallas emissiviteten (ϵ). Den strålning som emitteras från en svart kropp är den maximalt möjliga. En mattsvart sotad yta har således en emissivitet som ligger mycket nära 1. För de flesta byggnadsmaterial ligger värdet på ca 0.93 medan blanka metaller har liten emissivitet. Vid en given temperatur gäller för strålningen vid en yta att ytans emissivitet ϵ är lika med dess absorptans α [11].

4.3 Konvektion

Värme kan transporteras från en yta till en annan genom rörelser i en vätska eller gas. Värmeöverföringen sker alltid genom ledning i skiktet närmast ytorna. Vätskan eller gasen står nämligen stilla närmast ytorna och hastigheten ökar successivt ju längre från ytan man kommer. Värmeöverföringen genom denna kombinerade process, först ledning sedan rörelser i vätskan eller gasen, kallas konvektion. Rörelserna kan t ex bero på densitetsskillnader hos vätskan eller gasen. Kall luft sjunker nedåt och varm, lättare luft stiger uppåt. Detta kallas naturlig konvektion eller egenkonvektion. Rörelserna kan också bero på yttre påverkan av t ex vind, fläktar eller pumpar. Men då talar man om påtvingad konvektion [11].

5 Transparenta isoleringar

Den fundamentala fysikaliska princip som används i solfångare eller passiva system, som växthus eller fönster, är våglängdsskillnaden mellan den solinstrålning som absorberas av en svart yta (som kan vara en solfångares absorbatör eller en öppning till ett rum) och den termiska strålning som utstrålar från den uppvärmda absorbatören eller rummet. Denna skillnad gör det möjligt att använda selektiva täckskikt av sk transparenta isolermaterial (transparent insulation materials, TIM's) som är genomskinliga för solstrålning och ogenomskinliga för termisk strålning. Som resultat minskar värmeförlusterna från det uppvärmda systemet, som då blir mer effektivt med skikt än utan. Andra förlustfaktorer är värmeledning och konvektion. Speciellt konvektionsförlusterna är av samma storleksordning som strålningsförlusterna. Om man med TIM menar en solfångarkomponent som undertrycker värmeförluster men släpper igenom solenergi, kan även vakuum och gaser (andra än luft) anses fungera som TIM. För att undertrycka konvektionsförluster används konvektionshinder av tunna plastfilmer, av t ex fluoretenpropenplast (FEP), som har hög smältpunkt, vilket är ett krav.

Ett annat viktigt selektivt material i dessa sammanhang är glas, som ganska väl uppfyller de fysikaliska kraven. Därför kan en glasruta betraktas som en enkel typ av TIM. Det finns ett stort antal andra material som är tänkbara som TIM, vilka har olika fysikaliska egenskaper och som kan användas vid olika tillämpningar. Ur fysikalisk synpunkt borde hög transmittans för solstrålning, låg transmittans för värmestrålning och låg värmekonduktivitet vara den bästa kombinationen, men andra egenskaper är också viktiga.

Om man betraktar ett systems termiska effektverkningsgrad finns det två kritiska parametrar:

- infallande solstrålning som kan absorberas (beror av täckskivans transmittans och absorbatörens absorptans)
- andelen producerad värme i systemet som kan lagras och användas (beror huvudsakligen på den termiska isoleringen, U-värdet).

För höga energiutbyten krävs alltid höga solinstrålningstätheter (irradiansnivåer) och höga $\tau\alpha$ -produkter (τ = täckskivans transmittans, α = absorbatörens absorptans). U-värdets betydelse beror mycket av systemets temperaturnivå jämfört med omgivningstemperaturen. Därför måste TIM optimeras för varje användningsområde.

Med hjälp av TIM förbättras alltså verkningsgraden hos konventionella solfångare med enkel täckskiva så att temperaturer över 80 °C kan erhållas. Idag finns TIM som har värmegenomgångskoefficienter mindre än 1 W/(m² K) och diffus hemisfärisk transmittans för solstrålning på ca 70%.

Vid användning av högeffektiva TIM som täckskivematerial, blir värmeförlusterna från solfångarens baksida inte längre försumbara. För en konventionell solfångare med enkel täckskiva och selektiv absorbatör är förhållandet mellan $U(\text{fram}) / U(\text{bak}) = 3,5/0,5 = 7$. För en solfångare med TIM på framsidan blir förhållandet endast $1,0/0,5 = 2$.

Olika materialtyper förekommer som TIM, i utföranden och former som filmer, styva skivor, kapillärstrukturer eller strukturer med olika profil. Bland förekommande material kan nämnas Aerogel (kapillärstruktur av glas), Arel ("honeycomb"-struktur av polykarbonat, PC), Isoflex 1 (korrugerad polyvinylklorid, PVC), Isoflex 2 (profil av cellulosa-acetat-butytrat, CAB), Okalux (kapillärstruktur av PC eller polymetylmetakrylat, PMMA) och filmer av olika fluorplaster. Bland problem som finns idag kan nämnas höga priser, smältpunkterna ligger ofta lägre än normala stagnationstemperaturer, vissa mekaniska hållfasthetsegenskaper är mindre bra, stor termisk utvidgning m m.

6 Materialegenskaper hos FEP-plastfilm

6.1 Allmänt

Genom användning av TIM kan alltså verkningsgraden förbättras hos konventionella plana termiska solfångare så att temperaturer över 80 °C kan erhållas. Detta har utnyttjats i Sverige i stor skala för värmeproduktion i stora solfångarfält, för fjärrvärmeproduktion eller säsons- och årstidslagring. Därvid har enkla eller dubbla filmer av fluoretenpropenplast (FEP) använts som konvektionshinder. FEP förekommer på marknaden under produktnamn som Teflon-FEP (du Pont), Neoflon (Daikin), Korton-FEP (Norton), Hostafon-FEP (Hoechst) m fl.

En fluorplast är baserad på polymerer uppbyggda av monomerer som innehåller en eller flera fluoratomer, eller sampolymerer vilkas fluorhaltiga monomerer utgör största delen av massan [1]. Fluorplaster är högkristallina termoplaster som liknar polyolefinerna (polyeten, -buten, -propen o likn) i kemisk struktur men i stället för väte har en eller flera fluoratomer [2].

Med fluor i högmolekylära föreningar har man lyckats få plaster med i vissa avseenden extrema egenskaper, som t ex kemikalieresistens (motstår i stort sett alla ämnen utom smälta alkalimetaller, och hos vissa typer, en del fluorföreningar) och goda högttemperaturegenskaper (vissa tål upp mot 260 °C kontinuerligt, samtidigt som de kan vara användbara ner mot -200 °C) något som i många fall väger upp deras höga pris. Framställningsmetoderna är relativt dyra och en del typer är svåra att bearbeta och kräver speciella maskiner. De har lägst friktion bland plasterna men å andra sidan en låg nötningsresistens och begränsad lastupptagningsförmåga (den senare kan förbättras med fyllmedel). Hög densitet (uppemot 2 g/cm³). Låg vattenabsorption och elektriska egenskaper som är attraktiva i vissa tillämpningar. Används i kemisk industri till rör, packningar, ytbeläggningar, självmörjande lager, elektriska installationer i flygplan, robotar o likn, beläggning i kokkärl, gängtape m m [2]. Bland förekommande fluorplaster finns t ex följande, se tabell 2 [2].

Tabell 2

Akronym	Systematiskt namn	Egenskaper
PTFE	Tetrafluoretenplast, polytetrafluoreten	Lägst friktionskoefficient, bästa kemikaliebeständighet av alla konstruktionsmaterial
PVF	Vinylfluoridplast, polyvinylfluorid	God utomhusbeständighet
FEP	Perfluoretenpropenplast	Sampolymer av tetrafluoreten och hexafluorpropen. Användningsområde upp till 200 °C. Smältpunkt 275 °C. Densitet 2,15 g/cm ³ . Egenskaper ungefär som PTFE.
PFA	Perfluoralkoxiplast	Användbar upp till 240-260 °C. Densitet 2,1 g/cm ³ . Egenskaper som PTFE.

6.2 Typiska värden på materialegenskaper

I bilaga 2 finns typiska värden för FEP-filmers materialegenskaper enligt en sammanställning som gjorts av IEA "Solar Heating and Cooling Programme".

Värden på mekaniska, termiska och optiska egenskaper för några kommersiella FEP-filmer finns i bilagorna 3, 4 och 5.

6.3 Rivhållfasthet

Rivhållfastheten är ett mått på beständigheten mot rivning hos film, tyg, gummidetaljer m m. Rivhållfastheten mäts bl a som den kraft som erfordras för att ge brott på ett skårat provstycke av standardiserat utseende. Låg rivhållfasthet (mindre än 50 N enligt standardiserat förfarande) kan hos en detalj lätt ge upphov till sprickor och brott vid kontakt med skarpa kanter och liknande. Hög rivhållfasthet har bl a naturgummi.

Rivhållfastheten för FEP-film är 2.5 N, vilket alltså är ett mycket lågt värde (se bilaga 3).

6.4 Väderbeständighet

Egenskaper väderbeständighet är nettoresultatet av de optiska, fysikaliska och kemiska egenskaperna hos ett material, och dessa egenskapers beständighet vid utomhusbruk, d v s vid påverkan av ljus, vatten, luft och temperaturer. Ofta ger kombinationen UV-ljus/luftsyre den största påverkan. Tunna plastfolier och belastade gummimaterial är känsligare än tjockare och obelastade. Skador på polymera material vid utomhusbruk yttrar sig bl a som missfärgning (t ex gulfärgning av klara material), minskad mekanisk styrka samt sprickbildning hos gummi innehållande dubbelbindningar. God väderbeständighet, även opigmenterade, har t ex fluorplaster och vissa akrylplaster (PMMA).

UV-ljus fungerar katalyserande och således påskyndande på den oxidativa nedbrytningen av polymera material. Eftersom angreppet begränsas till det djup i materialet som ljuset nertränger, är tunna och opigmenterade material känsligare. Genom tillsats av antioxidanter, UV-stabilisatorer eller pigment (som absorberar ljuset, t ex kimrök), kan beständigheten förbättras avsevärt.

Fluorplaster har låg vattenabsorption (<0.01%) som annars leder till svällning av materialet och försämrar dess mekaniska, kemiska och elektriska egenskaper.

Väderbeständigheten hos FEP-filmer är utmärkt vilket framgår av resultat från 20 års utomhusexponering av materialprover i Florida [9]. Inga förändringar har påvisats, som missfärgning, UV-sönderfall eller minskad styrka. Resistensen mot fotonedbrytning beror på frånvaron av absorptionsband i våglängdsintervallet 0.3-2 μm , vilket är området för maximal solstrålning.

Från Du Ponts broschyr [4] framgår att nedbrytningen p g a UV-exponering är mycket liten. Ingen missfärgning eller styrkeförlust efter 20 års exponering. Dock sker en liten nedgång i brottöjning mot slutet av exponeringen. Brottöjning är en känsligare parameter för åldring än brottspänning och en liten förändring indikerar en begynnande åldring. Helt opåverkat är alltså inte materialet även om det rör sig om små ändringar.

6.5 Transitioner

Några för utredningen väsentliga uppgifter framgår av PGIs utredning (bilaga 1, punkt 4 "Materialdata"):

FEP-material är ett modifierat teflonmaterial. Från Polymer Handbook fås att materialet har en smältpunkt och tre övriga termiska transitioner som beroende på sammansättningen ligger vid följande temperaturer:

- Smältpunkt	253 - 283 °C
- alfa (T_g 1) ¹	70 - 126 °C
- beta	-70 - -10 °C
- gamma (T_g 2)	-90 °C

FEP saknar däremot den sekundära transition (omlagring) i den kristallina fasen vid 25-30 °C som förekommer hos Teflon-PTFE.

I datablad från Du Pont [4] syns T_g 1 som en minskning i E-modul och brottspänning vid 80-90 °C. Smältpunkten anges till 260-280 °C.

¹ T_g : glasomvandlingstemperatur, glastemperatur, glasövergångstemperatur. Vid T_g övergår en amorf polymer från ett hårt och styvt material till en mer eller mindre formbar smälta. Glasomvandlingen sker inom ett relativt stort intervall (20-30 °C) där T_g anger mitten. Den uppmätta glasomvandlingstemperaturen sänks vid långsam uppvärmnings- och kylhastighet och är sålunda inte någon fixerad materialkonstant. T_g sänks av tillsatser av olika slag. Sampolymerer får ett T_g -värde som oftast med relativt enkla beräkningar kan fås ur de rena polymerernas värden. Enkla (ej kemiska) blandningar av polymerer kan ge plaster med flera T_g -punkter. Många egenskaper såsom elasticitetsmodul, värmeutvidgning, dielektricitetskonstant och brytningsindex, som normalt varierar kontinuerligt med temperaturen, uppvisar diskontinuitet vid glasomvandlingstemperaturen, vilket utnyttjas vid bestämning av denna [2].

7 Fältundersökningar

7.1 Undersökta anläggningar - provtagning

Under oktober månad 1992 besöktes ett antal större anläggningar i Sverige varvid prover togs ut från solfångare vars konvektionshinder var trasiga. Följande anläggningar besöktes och solfångarna har varit i drift sedan det årtal som anges inom parentes:

- | | |
|------------------------|---|
| Falkenberg
(1989) | Solfångare nr BK220, näst sista raden framifrån sett, d v s från vägen, solfångare nr 3 från höger, vänstra glasningsenheten. Solfångarna i Falkenberg har enkel FEP-film. |
| Ingelstad Ic
(1988) | Solfångare tillhörande etapp Ic, bakre raden i nya fältet, längst till vänster. Dessa solfångare har enkel FEP-film. Provet togs ca kl 19 då det var mörkt. När täckskivan lyfts av upptäcktes att filmen hade flera små revor, och var dessutom dammig. Täckskivan måste ha varit krossad och blivit utbytt. Filmen har alltså varit exponerad för väder och vind en viss tid. |
| Kronhjorten,
(1987) | Enkel FEP-film. Första raden, solfångaren längst till höger, vänstra glasningsenheten, övre halvan. |
| Nykvarn 1
(1985) | Dubbla filmer hos solfångarna i etapp 1. Sjunde raden bakifrån, första till höger om mittlinjen, mittersta glasningsenheten, solfångare nr 668. Endast den undre filmen skadad men båda togs med för analys. |
| Tumba
(1985) | Veckad FEP-film som limmats mot täckskivans insida med tre strängar silikonlim. Från en täckskiva (glasningsenhet) togs en film som hade spricka i ett veck, förutom att limfogarna börjat släppa. |
| Lyckebo
(1983) | Dubbla filmer. I en solfångares glasningsenhet togs både övre och undre filmer för analys. |
| Malung
(1987) | Enkel FEP-film i alla solfångare, men två tjocklekar: 0.013 och 0.025 mm. Endast de tunnare filmerna är trasiga. Sådant prov togs för analys. |
| SP Borås
(1991) | Solfångare med enkel FEP-film som stått i stagnation nästan ett år, vars film i en glasningsenhet brustit efter övre kant. |

Dessutom har ett antal spritt nya filmer och plattor funnits att tillgå för jämförande analyser, nämligen:

- Du Pont Teflon-FEP 100A, 2000A och 3000L
- Daikin Neoflon-FEP.

7.2 Montering - fastsättning av FEP-filmer

Att montera en tunn plastfilm i en solfångare, på ett ur prestandasynpunkt optimalt sätt mellan absorbatör och täckskiva, är en knepig uppgift. Vid temperaturstegring expanderar filmen relativt mycket och förlorar därigenom spänning och hänger ned och smetar mot absorbatören. På grund av verkan av statisk elektricitet kan filmen ibland komma att häfta mot täckskivans insida. FEP-film har många utomordentliga egenskaper men rivhållfastheten är direkt dålig, 2.5 N (bilaga 3). Därför måste hantering och montering göras med största varsamhet. Olika varianter har prövats för att bemästra problemen.

Solfångartillverkarna är naturligtvis medvetna om problematiken kring användning av FEP-filmer som konvektionshinder, både vad gäller den termiska utvidgningen och filmernas dåliga rivhållfasthet. Därför finns en del hemlighetsmakeri kring montering och fastsättning av konvektionshinder. Nedan redovisas relativt summariskt de iakttagelser som gjorts vid besiktningar och provtagning. Dessutom redovisas Gunnar Wilsons minnesbilder från monteringen av FEP-filmer i solfångarna i Malung.

7.2.1 Filmtjocklekar, glasningsenheter och svep

FEP-filmtjockleken är 0.025 mm i alla anläggningar i Sverige, utom större delen av solfångarfältet Storbygdet i Malung som har 0.013 mm.

Filmerna monteras antingen på separata ramar som har ungefär samma ytterdimensioner som glasningsenheterna, eller läggs som svep med ungefär samma längd och bredd som solfångarens yttermått. Det förekommer också att två svep läggs bredvid varandra med någon dm överlapp i solfångarens mittlinje.

7.2.2 Trådar, distanser och spänning/sträckning

Försök har gjorts att stödja folien på ett öppet undre metalltrådsnät för att förhindra nedhängning mot absorbatören vid foliens expansion. Även trådar över och under filmen förekommer så att folien inte heller kan komma i kontakt med täckskivan. Tunna metalltrådar kan emellertid skada filmen med tiden på grund av termiska rörelser och dessutom fungerar trådarna som köldbryggor vilket orsakar värmeförluster.

Ett annat sätt som används är smala rör som löper i utrymmet mellan absorbatör och täckskiva och som folien vilar på. En variant på samma tema är tunna stödlister som monteras fast på absorbatören och som löper mellan absorbatör och täckskiva.

Om solfångaren har flera glasningsenheter, med spröjsar emellan, kan ett foliesvep som är lika långt som hela solfångaren, klämmas fast under varje spröjs på en parallellt löpande list. Om spänningen i folien är tillräcklig, och om glasningsenheterna inte är för stora, kan ofta kontakt folie/täckskiva eller folie/absorbatör undvikas. Men inte alltid.

Gummiproppar har limmats fast på täckskivans insida för att undvika kontakt mellan folie och täckskiva. Dessa proppar har skadat folien i många fall.

Det förekommer patenterade varianter bestående av ramar, av samma storlek som glasningsenheterna, som är uppbyggda av fjädrande element. Konstruktionen

kännetecknas av att den tunna folien är monterad på ramen som har åtminstone ett fjädrande element, där det fjädrande elementet är deformerat, så att det ger folien spänning och upprätthåller denna spänning, även om folien expanderar termiskt. Förfarandet är patenterat enligt European Patent Specification, Int Cl E06B 3/66 F24J 2/50.

7.2.3 Mekanisk fastsättning i sidokanter och spröjsar

Det vanligaste sättet för montering är att filmen kläms eller nypas fast mellan aluminiumlister, eller mellan aluminiumlist och något underlag. I båda fallen förseglas förbandet med popnitar som perforerar film och list/lister. Blir förbandet för starkt, d v s trycket för hårt, kan filmen nypas av utefter en sträcka varvid en spricka/revå uppstår som växer med tiden. Men även om trycket och därmed friktionen är lämplig, kan sprickor växa ut från perforeringarna eftersom dessa utgör (brott)anvisningar. Blir förbandet för löst blir filmen, helt eller delvis, hängande i popnitarna. Filmen brister då vid perforeringarna och lossnar. Huvudorsaken till ovanstående skador är FEP-filmers generellt dåliga rivhållfasthet.

En annan vanlig metod är att klämma fast filmen i ett spår, i en extruderad aluminiumprofil, med en gummilist som har samma profil som spåret. Men filmen skadas då ofta vid monteringen. Varje liten mekanisk skada utgör en anvisning varifrån en revå kan börja växa på FEP-materialets dåliga rivhållfasthet.

7.2.4 Limning

Limning är en relativt enkel metod att sammanfoga plaster med varandra och andra, helt skilda material. Limfogar kan göras starka men styrkan är i mycket hög grad beroende av fogens utformning, limmet och limningens utförande. Beträffande limfogens utformning gäller att man bör eftersträva att belastningen sker i rät vinkel eller tangentiellt mot fogytan, d v s en jämn belastning av hela ytan. Brytande krafter skapar farliga punktbelastningar. I förhållande till kraftriktningen vid skjutande (tangentiell) belastning är en bred fog hållbarare än en lång med samma yta. Ytorna skall vara rena (fettfria) och gärna något stråva. Limning av fluorplaster kräver att ytan etsas först genom dehalogenering (2).

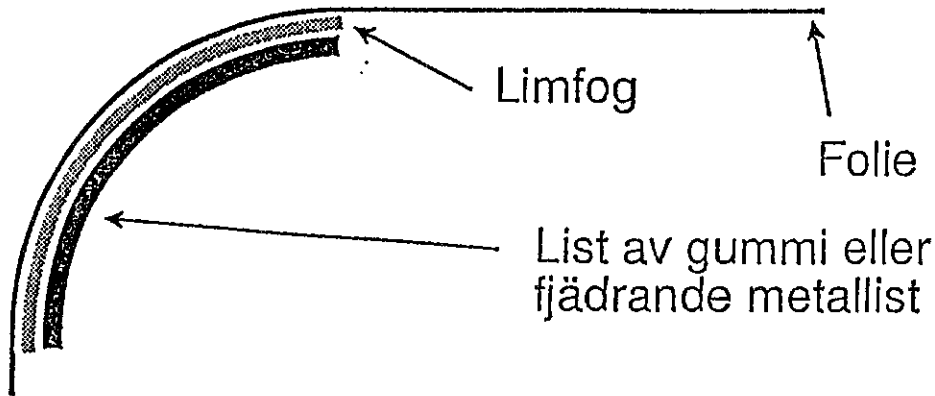
Fluorplaster limmas med kemiskt stelnde lim, t ex epoxilim. Kemiskt stelnde (hårdande) lim stelnar genom en kemisk process (ofta en förnätning). Vanliga är tvåkomponentlimmen som har en begränsad hållbarhet efter blandning (den användbara tiden brukar benämnas "pot life"). Hårdande lim är i regel lösningsmedelsfria men kan dock innehålla kemiskt reaktiva lösningsmedel (2).

Genom att använda veckade filmer, som limmas mot täckskivans insida, säkerställs att filmen inte kommer i kontakt med absorbatoren, om limfogen håller. Etsad och veckad film har limmats med silikonlim i några solfångartyper, men där släpper ibland fogen mellan FEP-film och silikon. Orsaken är troligen att filmytan inte är absolut ren (fettfri) före limning.

Generellt gäller att det är utomordentligt svårt att limma mot FEP-material. Den utomordentliga resistensen gör att lösningsbaserade lim ej kan användas. Det krävs att ytan skadas på något sätt, t ex genom dehalogenering.

Gunnar Wilson, som bland många insatser på solvärmeområdet även medverkat vid konstruktionen av egna och vissa av Solsams solfångare, har erfarenheten att

klämlister ger hög skadefrekvens på filmerna. Däremot är erfarenheterna goda från limning, med ett silikonlim (General Electric PSA 529) som behåller sin klubbighet sedan lösningsmedlet (toluen) avdunstat. Limningen utförs så att foliens spänning (sträckning) överförs i limfogen som en skjuvning² (se figur 3). Förfarandet är patenterat enligt European Patent Specification, Int Cl E06B 3/66 F24J 2/50.



Figur 3. Limning av FEP-film mot list.

7.2.5 Monteringen i Malung

Enligt brev från Gunnar Wilson, daterat 8 november 1992, gick monteringen av FEP-film till enligt följande: "Folien limmades på gummilisten med ett silikonlim som späddes med toluen för att underlätta limpåstrykningen. Sedan toluenet avdunstat behöll limmet sin klubbighet som gjorde det möjligt att eftersträcka folien för att avlägsna alla rynkor. För att undvika att kondensvatten samlades mellan glaset och folien gjordes ett litet hål i foliens underkant några cm från kanten. Folien var mycket för bred (ca 1350 mm) vilket gjorde att när man skulle skruva fast klämlisten för att hålla glaset på plats, fastnade folien i skruven, lindades upp runt denna och skadades. Ett annat fel berodde på att några solfångarlängder blev liggande på grund av semester. Det tog lång tid (3-4 veckor) innan solfångarna restes från horisontellt läge till 45° lutning. Regnvatten samlades på glaset och läckte in mellan glas och folie och skadade folien genom kraftig sträckning. Vidare fanns i varje glasningsenhet tre st gummiproppar som skulle limmas fast mellan folien och glaset. Dessa lossnade på grund av ett felaktigt lim. Ett silikonlim som från början var planerat byttes mot ett kontaktlim för att förkorta montagetiden. Dessa gummiproppar som sedermera visade sig onödiga orsakade en del skador på folien.

Jag har följt skadorna och konstaterat att de flesta uppträdde redan första månaden men många har förstörats genom åren. Anläggningens utseende störs idag mycket av det trasiga teflonet. De åtta sista glasningsenheterna i nordöstra hörnet är dock intakta vilket jag konstaterade vid inspektion för några dagar sedan. Dessa åtta sista glasningsenheter har film med tjocklek 0.025 mm, anläggningen i övrigt 0.013 mm".

² skjuvning; ändring av en ursprungligt rät vinkel (Hållfasthetsordlista, TNC 68).

7.3 Skadornas utseende

Vid provtagningen lossades alla lister (av metall eller gummi eller båggedera) runt den glasningsenhet som hade trasigt konvektionshinder. Täcks kivan lyftes av med glaslyftare varvid kantskador och monteringsdetaljer frilades. Skadornas utseende varierar och är av olika typ. Grovt kan följande skadetyper urskiljas:

7.3.1 Bristning och släppning utefter kant

Filmerna är vanligen fastspända mellan aluminiumlister eller mellan aluminiumlist och något underlag. Ofta har övre listernas kapade ändar vassa kanter som river sönder filmerna med tiden (se fotografi 3). Förbandet hålls ihop med popnitar som perforerar film och list/lister. Filmen kan också skadas av någon list redan vid monteringen varvid en anvisning uppstått som sedan växer till en allt större reva. Om filmen inte kläms fast ordentligt blir den hängande i popnitarna. Filmen brister då vid perforeringarna och lossnar (se fotografierna 1 och 2). Skadetypens förlopp har kunnat studeras i solfångare som utomhusexponerats vid SP-VVS under stagnation i ett år.

Filmer som kläms fast i ett spår i en extruderad aluminiumlist av en profilerad gummilist, nyps ibland sönder utefter en sträcka vid monteringen. Filmen ser ut att sitta perfekt men den kan vara avklippt utefter en lång sträcka under listan. Den sitter kvar en tid på grund av friktionen, men glider sedan ut och lossnar snart från hela kanten. Eventuellt oskadade sträckor rivs av mer och mer. Även denna skadetyps förlopp har kunnat studeras i solfångare som utomhusexponerats vid SP-VVS under stagnation i ett år.

7.3.2 Reva som börjar vid kant

Om anvisning oavsiktligt uppstått vid fastsättningen till kant eller av perforerande popnitar, utvecklas och växer en spricka/reva vidare in mot glasningsenhetens centrum med en hastighet av någon mm per dag (se fotografi 4). Skadetypens förlopp har kunnat studeras i solfångare som utomhusexponerats vid SP-VVS under stagnation ett år.

7.3.3 Reva i glasningsenhetens centrum

Denna skada orsakas av distansmuffar på absorbatoren eller annan mekanisk åverkan (se fotografierna 5 och 6). Om täcks kiv av härdat glas krossas så skadas filmen på många ställen. Vid glasbyte är det lika bra att byta film/filmer också, eftersom även små hål i filmen snart växer till stora revor.

7.3.4 Limfogar som släpper

Veckade och etsade filmer limmas mot täcks kivans insida (härdat glas) med silikonsträngar, men ibland släpper fogen mellan FEP och silikon mer och mer utefter vissa sträckor (se fotografi 7). Påfrestningen på denna typ av limfog är fläkning (eng peeling). Orsaken till att limfogen släpper kan vara otillräcklig etsning i kombination med förekomst av fukt, fingeravtryck m m. Före limning måste både film- och glasyta vara avfettade, absolut rena och torra.

8 Laboratorieundersökningar

Metoder, utförande och resultat från laboratorieundersökningar som gjorts av Plast- och Gummitekniska Institutet (PGI) under ledning av Tekn Dr Per Albihn, framgår av bilaga 1. Sammanfattningen lyder enligt följande:

"Revor på konvektionshinder av FEP-film har uppkommit vid drift i ett stort antal solfångare. På uppdrag av Statens Provningsanstalt, enheten för Energiteknik har PGI undersökt om någon form av åldersförändringar kan detekteras på skadade filmer. Filmer från följande installationer har jämförts med ny film: Ingelstad, Kronhjorten (Växjö), Falkenberg, Lyckebo (Uppsala), Tumba och SP-Borås (solfångare som utomhusexponerats under stagnation i ett år). Materialet är FEP (polytetrafluoretenhexafluorpropen) från Du Pont i de flesta installationer och veckad FEP-film tillverkad av Daikin från solfångare i Tumba.

Filmerna har undersökts med dynamisk-mekanisk termoanalys (DMTA) och differentiell svepkalorimetri (DSC).

Ingen generell åldringspåverkan har säkert kunnat konstateras. Vissa skillnader mellan ny och skadad film från solfångare har dock observerats. Film från Ingelstad avviker i såväl smältpunkt som smältvärme från övriga filmer. Den har även ett något lägre T_g vid några mätningar. Film från Nykvarn har något högre T_g än övriga filmer. Även film tillverkad av Daikin har ett något högre T_g . Skillnaderna är små utom för filmen från Ingelstad. Denna har även varit utsatt för väder och vind under ett par veckor, sedan glaset krossats.

Som referens har använts ny film från Du Pont. Resultaten tyder inte på någon skillnad mellan äldre och nytillverkat material.

Normalt utförs åldringsprovning på obelastade prover. En pålagd mekanisk belastning kan påskynda åldring och ge upphov till andra åldringsfenomen. FEP-filmen är tunn och deformeras lokalt vid mycket liten last. Temperaturvariationerna i en solfångare är större än vid Du Pont's provning i Florida [9]. På materialets längdutvidgning tillkommer en mekanisk belastning på provet.

Den övervägande delen av skadorna har utgått från infästningen mot ramen. FEP-filmen är duktil och har hög brottöjning. Rivhållfastheten för (brott)anvisade prover är dock klart lägre än för andra plaster. Då skadorna är av typen revor rekommenderas att prov med anvisade filmer utförs. Provningsen kan utföras som dragprov för att detektera eventuella andra skillnader mellan nya och skadade filmer. För att verifiera materialet i denna applikation rekommenderas även ett krypprov vid låg belastning på anvisade prover och oskadat material. Proven bör utföras vid aktuella drifts- och stilleståndstemperaturer och om möjligt med en temperaturcykling".

9 Slutsatser och rekommendationer

Under första halvåret 1992 undersökte SP 50 stycken solvärmeanläggningar med avseende på komponenten solfångare. 27 anläggningar hade konvektionshinder av FEP-film vilka var mer eller mindre trasiga i 16 anläggningar.

Vid demontering av och provtagning i åtta solfångare med trasiga konvektionshinder har konstaterats att skadornas uppkomst kan förklaras med att mekaniska skador uppstått redan vid monteringen, eller strax efteråt. Solfångarnas ålder har varit ett till tio år. Perforerande fästelement, som popnitar m m, orsakar anvisningar i filmerna varifrån revor börjar växa med en hastighet av någon mm per dag. Vassa kanter på aluminiumlister skadar filmerna och nya anvisningar uppstår. Olika distansanordningar kan skada filmerna med tiden varefter revor börjar växa.

Laboratorieundersökningar har utförts med DMTA- och DSC-teknik på de trasiga och upp till tio år gamla filmerna. Resultaten har jämförts med mätningar på spritt nya filmer. Ingen generell åldringpåverkan har säkert kunnat konstateras hos undersökta filmer.

Av litteraturdata och tillverkarnas egna tekniska materialspecifikationer framgår att anvisade (skårade) prover av FEP-film generellt har mycket låg rivhållfasthet.

Från Du Ponts broschyr [4] framgår att nedbrytningen p g a UV-exponering är mycket liten. Ingen missfärgning eller styrkeförlust efter 20 års exponering. Dock sker en liten nedgång i brottöjning mot slutet av exponeringen. Brottöjning är en känsligare parameter för åldring än brottspänning och en liten förändring indikerar en begynnande åldring. Helt opåverkat är alltså inte materialet även om det rör sig om små ändringar.

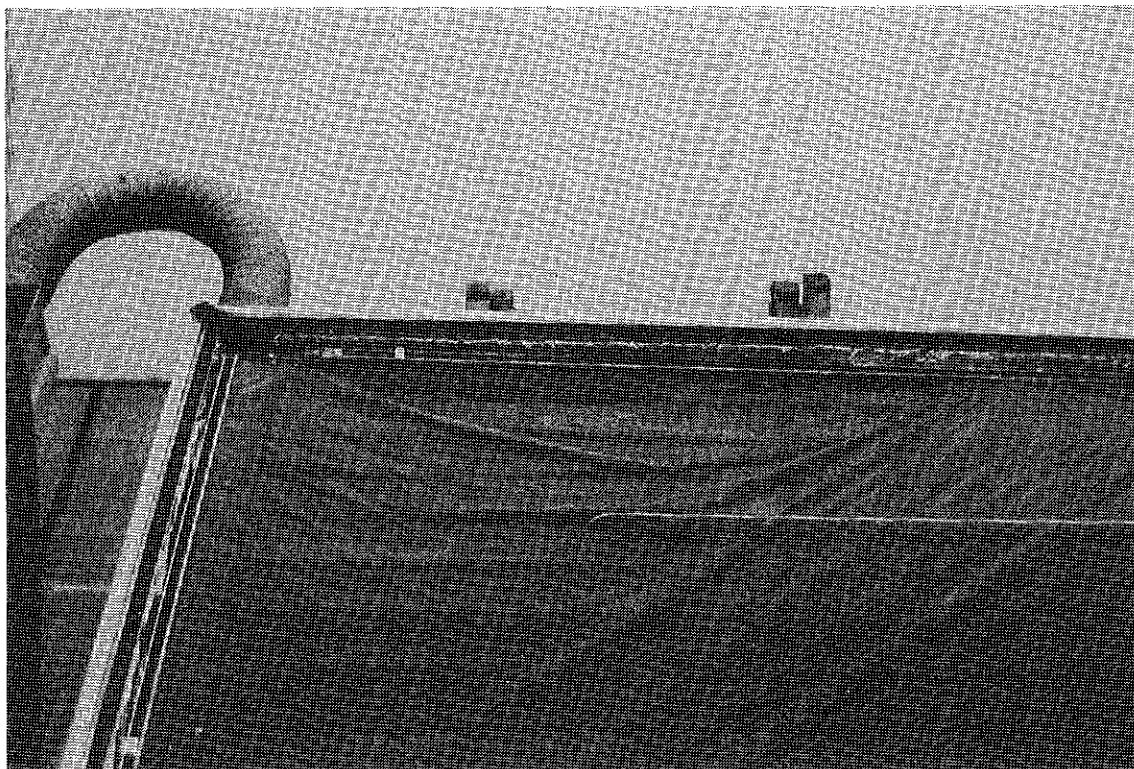
Generellt gäller att det är utomordentligt svårt att limma mot FEP-material. Den utomordentliga resistensen gör att lösningsbaserade lim ej kan användas. Det krävs att ytan skadas på något sätt, t ex genom dehalogenering.

Den övervägande delen av skadorna har utgått från infästningen mot ramen. FEP-filmen är duktil och har hög brottöjning. Rivhållfastheten för (brott)anvisade prover är dock klart lägre än för andra plaster. Då skadorna är av typen revor rekommenderas att prov med anvisade filmer utförs. Provningsen kan utföras som dragprov för att detektera eventuella andra skillnader mellan nya och skadade filmer. För att verifiera materialet i denna applikation rekommenderas även ett krypprov vid låg belastning på anvisade prover och oskadat material. Proven bör utföras vid aktuella drifts- och stilleståndstemperaturer och om möjligt med en temperaturcykling.

Solfångartillverkare och -leverantörer som önskar P-märka produkter med konvektionshinder av FEP-film, måste övertygande visa för SP att montering och fastsättning av filmerna kan göras utan att mekaniska skador uppstår redan vid solfångartillverkningen. P g a att små mekaniska skador är svåra att både definiera och identifiera, bör metod utarbetas för provning av konvektionshinder i solfångare.

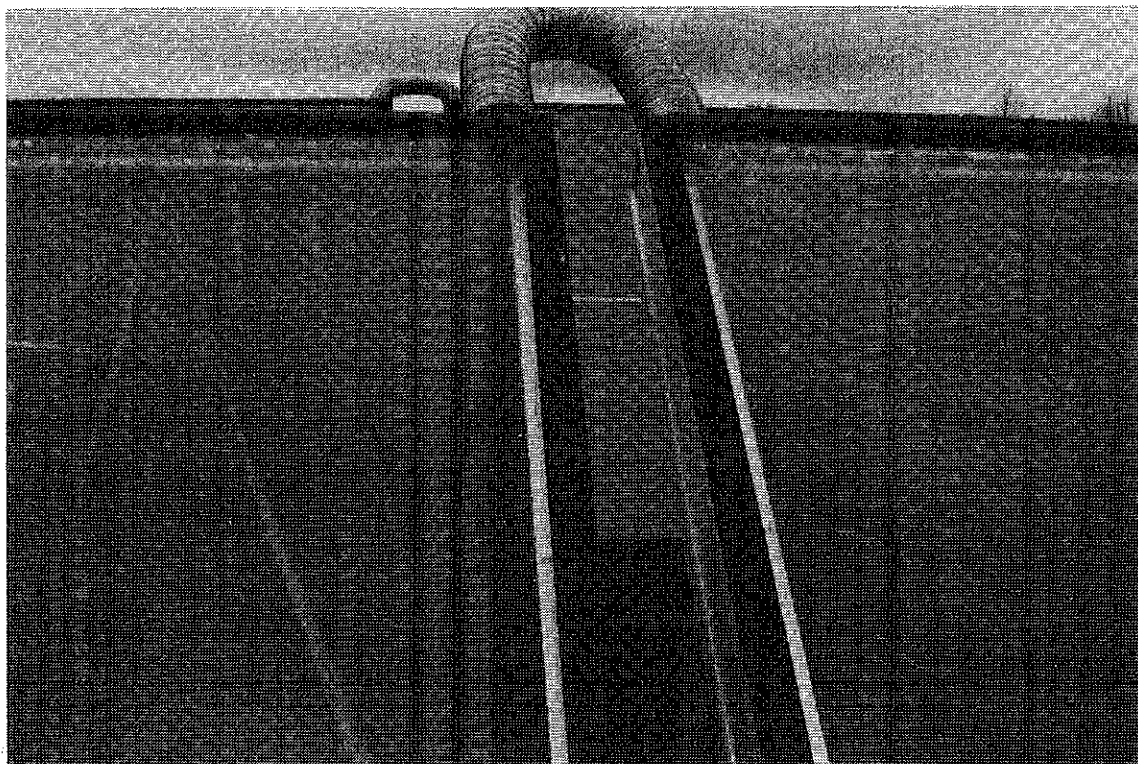
Referenser

- 1 Plast- och gummiteknisk ordlista. Svensk Standard SS 16 01 00, utgåva 3, 1986. TNC 84.
- 2 Plast & Gummilexikon. ECPrint AB, 1981.
- 3 Database Solar Materials, Working Document Subtask A, Performance Criteria for New Solar Materials. Task X, Solar Materials Research and Development. May 1991.
- 4 Teflon Film, FEP Fluorocarbon Resin. Product Info, Du Pont Electronics, 1985.
- 5 W Platzer, V Wittwer, Transparent Insulation Materials. Materials Science for Solar Energy Conversion Systems, Pergamon Press, ISBN 0-08-040937-7.
- 6 M Rommel, A Wagner, Application of Transparent Insulation Materials in Improved Flat-Plate Collectors and Integrated Collector Storages. Solar Energy, Volume 49, Number 5, November 1992.
- 7 A Goetzberger et al., A New Transparently Insulated Bifacially Irradiated Solar Flat-Plate Collector. Solar Energy, Volume 49, Number 5, November 1992.
- 8 J J Weeks, I C Sanchez, R K Eby, Order-disorder transitions in polytetrafluoroethylene. Polymer, 1980, Vol 21, March.
- 9 D R Snyder, Retention of tensile strength and elongation of Teflon fluorocarbon resins after 20 years of exposure. Technical Report, Number CTR-2, 2/17/82, Du Pont.
- 10 Teknisk information från Norton Pampus GmbH. Korton FEP Fluorocarbon Film.
- 11 Produktinformation Teknisk Isolering, Gullfiber.



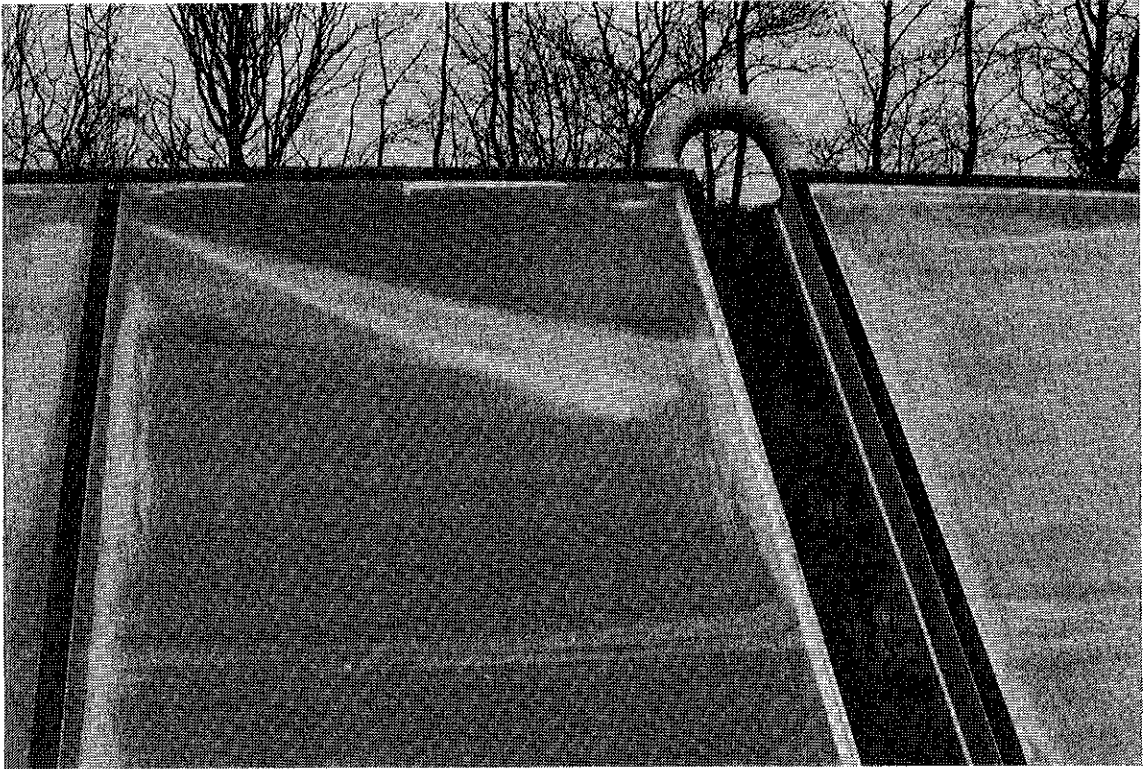
Fotografi 1

Anläggning Kronhjorten, Växjö. Solfångare där täckskivan lyfts av. Reva eller bristning efter kant. Filmen är fastklämd mellan aluminiumlister varefter popnitar drivits igenom lister och film. I detta fall tycks inte listerna ha klämt fast filmen ordentligt. Filmen har hängt kvar en tid i popnitarna innan filmen rivs sönder vid perforeringarna varvid filmen släpper mer och mer efter kanten. Se avsnitt 6.2.3.



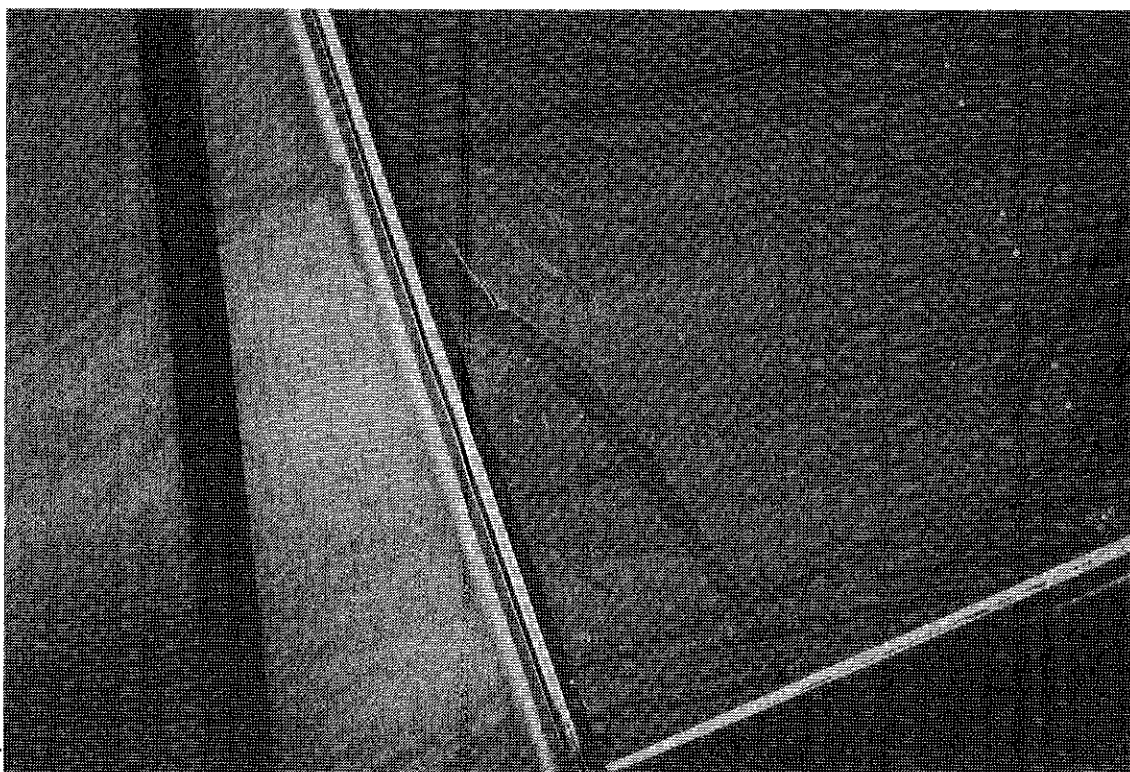
Fotografi 2

Anläggning Ingelstad Ib. Filmen har skadats redan vid monteringen utefter den nedåtgående kortsidan. Filmen har varit fastklämd mellan aluminiumlister varefter popnitar drivits igenom lister och film. I detta fall tycks inte listerna ha klämt fast filmen ordentligt, utan filmen har hängt kvar en kort tid, mest tack vare popnitarna, innan den brustit och släppt. Se avsnitt 6.2.3.



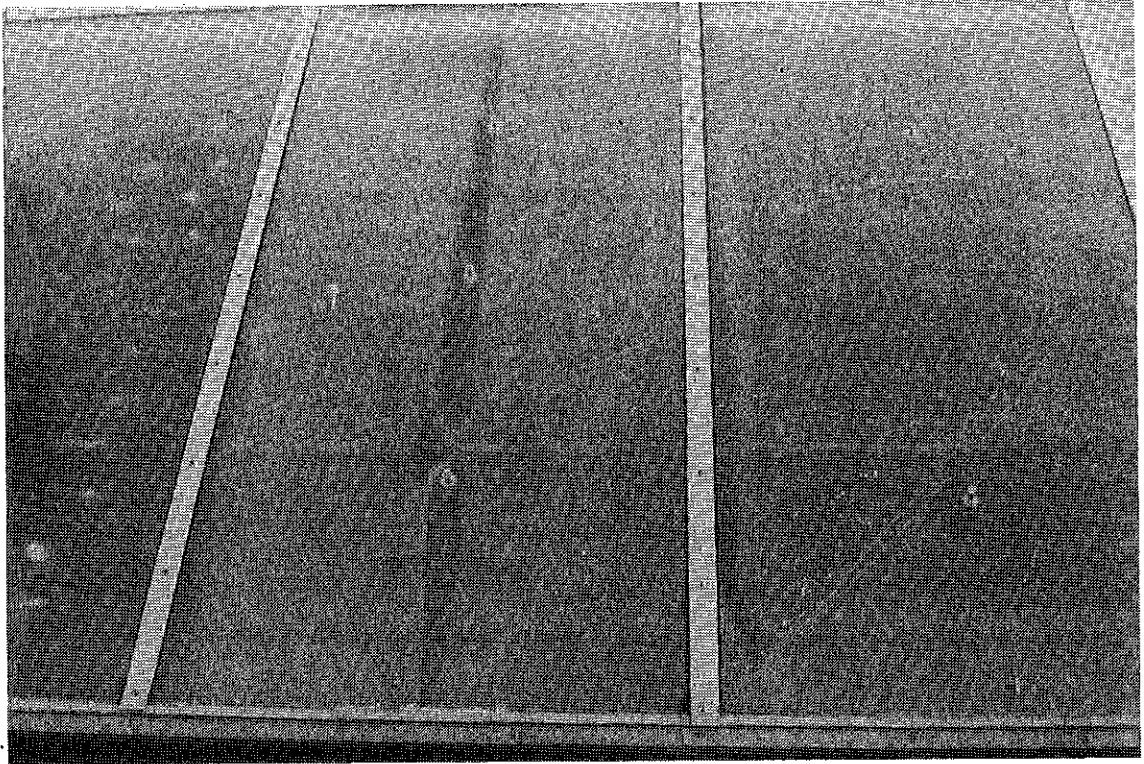
Fotografi 3

Anläggning Falkenberg. Solfångare med ett skikt FEP-film som konvektionshinder. Filmen har initialt brustit vid eller intill hörnet där det finns vassa kanter. Denna skadetyp har kunnat följas på en utomhusexponerad solfångare på SP. Filmen brister och rivs av efter kanterna med någon mm per dag. Se avsnitt 6.2.3.



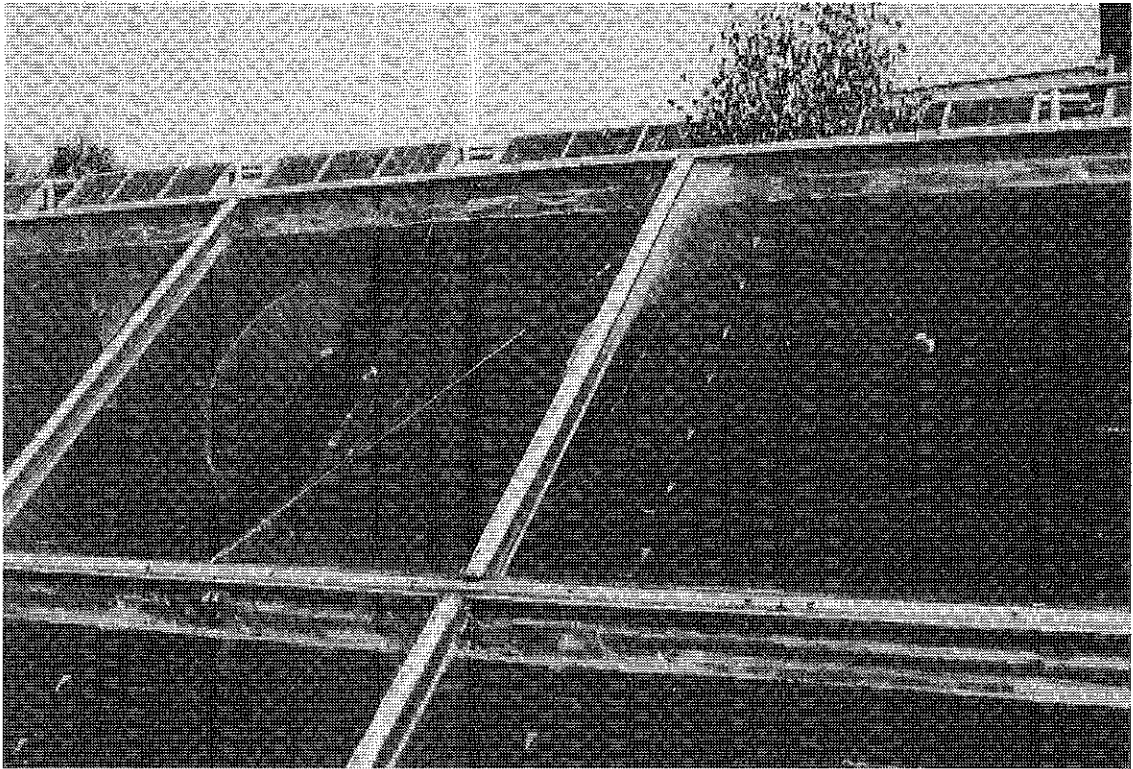
Fotografi 4

Anläggning Nykvarn 1. Solfångare med dubbla skikt av FEP-filmer där den övre (oskadade) filmen har avlägsnats. Denna undre film är fastklämd mellan aluminium-lister som hålls ihop med genomgående popnitar. Filmen har alltså skadats initialt vid listan uppe till vänster, där revan har börjat. Den har sedan fortsatt neråt med någon mm per dag.



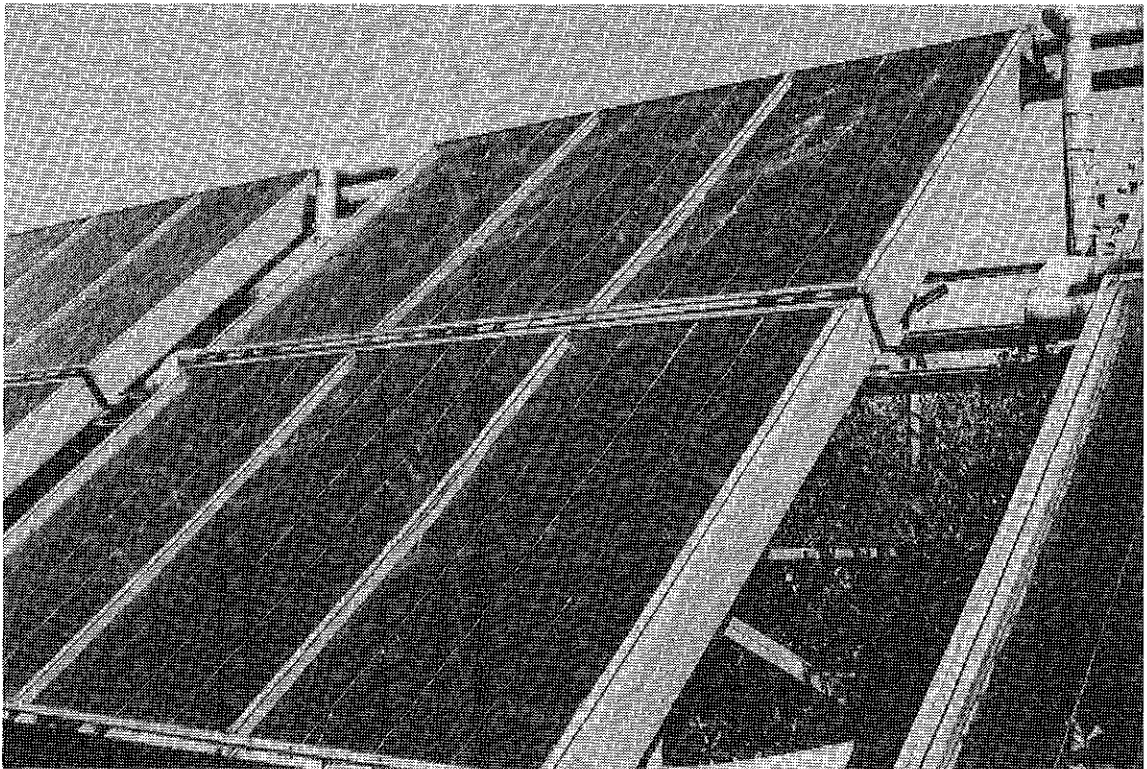
Fotografi 5

Anläggning Storbygärdet, Malung. FEP-filmer av tunn variant, 0.0125 mm. Filmerna har skadats i ett tidigt skede av de tre distansmuffar som limmats på absorbatoren. Senare har det visats att dessa muffar egentligen inte behövdes.



Fotografi 6

Anläggning Tumba. FEP-filmer av den tunnast förekommande varianten (0.0125 mm) som brister lite varstans. Filmen i glasningsenheten längst upp till vänster har nog initialt skadats av en distansmuff mitt på absorbatoren.



Fotografi 7

Anläggning Tumba. Solfångare med veckade FEP-filmer som limmats med fyra silikonsträngar mot respektive täckskivas insida. Limfogarna börjar släppa och en film har brutit i ett veck.

Bilaga 1

Plast- och Gummitekniska Institutet
Swedish Plastics and Rubber Institute

Uppdragsrapport

Skador på FEP-film som används som konvektionshinder i solfångare

Uppdragsgivare:
Hans Wennerholm, SP, Energiteknik, Box 857, 50115 Borås

Sammanfattning

Revor på konvektionshinder av FEP-film har uppkommit vid drift i ett stort antal solfångare. På uppdrag av Statens Provningsanstalt, enheten för Energiteknik har PGI undersökt om någon form av åldersförändringar kan detekteras på skadade filmer. Filmer från följande installationer har jämförts med ny film: Ingelstad, Kronhjorten (Växjö), Falkenberg, Lyckebo (Uppsala), Tumba och SP-Borås (solfångare som utomhusexponerats under stagnation i ett år). Materialet är FEP (polytetrafluoretenhexafluorpropen) från Du Pont i de flesta installationer och veckad FEP-film tillverkad av Daikin från solfångare i Tumba.

Filmerna har undersökts med dynamisk-mekanisk termoanalys (DMTA) och differentiell svepkalorimetri (DSC).

Ingen generell åldringpåverkan har säkert kunnat konstateras. Vissa skillnader mellan ny och skadad film från solfångare har dock observerats. Film från Ingelstad avviker i såväl smältpunkt som smältvärme från övriga filmer. Den har även ett något lägre T_g vid några mätningar. Film från Nykvarn har något högre T_g än övriga filmer. Även film tillverkad av Daikin har ett något högre T_g . Skillnaderna är små utom för filmen från Ingelstad. Denna har även varit utsatt för väder och vind under ett par veckor, sedan glaset krossats.

Som referens har använts ny film från Du Pont. Resultaten tyder inte på någon skillnad mellan äldre och nytillverkat material.

Normalt utförs åldringsprovning på obelastade prover. En pålagd mekanisk belastning kan påskynda åldring och ge upphov till andra åldringsfenomen. FEP-filmen är tunn och deformeras lokalt vid mycket liten last. Temperaturvariationerna i en solfångare är större än vid Du Pont's provning i Florida [9]. På materialets längdutvidgning tillkommer en mekanisk belastning på provet.

Den övervägande delen av skadorna har utgått från infästningen mot ramen. FEP-filmen är duktil och har hög brottöjning. Rivhållfastheten för (brott)anvisade prover är dock klart lägre än för andra plaster. Då skadorna är av typen revor rekommenderas att prov med anvisade filmer utförs. Provningsen kan utföras som dragprov för att detektera eventuella andra skillnader mellan nya och skadade filmer. För att verifiera materialet i denna applikation rekommenderas även ett krypprov vid låg belastning på anvisade prover och oskadat material. Proven bör utföras vid aktuella drifts- och stilleståndstemperaturer och om möjligt med en temperaturcykling.

1 Bakgrund

Skador har uppstått på FEP-film vid drift i kommersiella solfångare. Filmen sitter spänd ovanför absorbatoren i solfångaren och fungerar som konvektionshinder. Filmen sitter under glaset i solfångaren och utsätts för filtrerat solljus, samt värme vid drift av solfångaren. Vid normal drift uppnås ca 70 °C men om värmebäraren slutar cirkulera (s k stagnation) kan temperaturer på 180 °C förekomma.

Skador i form av revor i filmen har uppstått på ett stort antal solfångare. Revorna utgår i de flesta fall från inspänningen av filmen mot ramen.

2 Uppdrag

PGI har uppdragits att undersöka om någon form av åldersförändringar har skett på havererade filmer.

3 Material

PGI har erhållit upplindad skadad FEP-film från följande solfångarinstallationer:

- Provininstallation på SP
- Ingelstad
- Kronhjorten (Växjö)
- Falkenberg
- Lyckebo
- Södertörn

Referensprov i form av ny film FEP 100A och nya plattor FEP 2000A och 3000L har erhållits från Fluortek. Materialet är FEP (polytetrafluoretenhexafluorpropen) tillverkad av Du Pont, i de flesta installationer, och film tillverkad av Daikin.

4 Materialdata

FEP-materialet är ett modifierat teflonmaterial. Från Polymer Handbook fås att materialet har en smältpunkt och tre övriga transitioner, som beroende på sammansättningen ligger vid följande temperaturer:

smältpunkt	253-283 °C
alfa (T_g 1)	70-126 °C, 0-15 mol%
beta	-70 - -10 °C
gamma (T_g 2)	-90 °C

FEP saknar däremot den sekundära transition (omlagring i den kristallina fasen vid 25-30 °C som förekommer hos Teflon PTFE.

I datablad från Du Pont syns T_g 1 som en minskning av E-modul och brottspänning vid ca 80-90 °C. Smältpunkt anges till 260-280 °C.

5 Provning

För att detektera förändringar av materialet har prov utförts med DMTA (dynamisk-mekanisk termoanalys) och DSC (differentiell svepkalorimetri).

6 Provförfarande

DMTA-provningen har utförts dels som temperatursvep från -80 °C till 150 °C, dels som temperatursvep runt transitionerna vid -50 och +90 °C.

FEP 100A filmen är så tunn (0.025 mm) att den måste vikas ett antal (4-12) gånger för att ge tillräcklig mätsignal. De tjockare plattorna FEP 2000A och 3000L har därför använts som referens. Filmen spänns in i provhållaren vid RT. I de fall där provningen utförts vid låg temperatur spänns provet om efter avslutad nedkyllning.

Provparametrar

Uppvärmningshastighet	4 °C/min
Frekvens	1 Hz
Inspänningstyp	single cantilever
Töjningsamplitud	strain 4, 64 µm
Provorientering	12 lager tvärs.

DSC-provningen har utförts dels som temperatursvep från 50 till 280 °C, för att studera smälttemperatur och kristallisationsvärme, dels vid lågtemperatur från -80 till +100 °C för att detektera andra förändringar.

Lågtemperatur-DSC utfördes för att verifiera en transition vid 0 °C som SP Materialteknik rapporterat vid tidigare provning. Provningen utfördes på prover tagna från samma som SP tidigare provat och benämns SP 1-3.

Provparametrar

Temperaturintervall	40 till 280 °C
Uppvärmningshastighet	10 °/min
Temperaturintervall	-80 till 100 °C
Uppvärmningshastighet	10 och 40 °/min
Värmebärare	helium.

7 Resultatsammanställning

Totalt har 44 prov utförts med DMTA och 12 med DSC. En del prov har utförts för att verifiera inspänning för olika provprogram. Detta redovisas inte här.

Tabell 1
DMTA - Referensprov på materialen

Material	β -trans °C	T _g °C	Temp. intervall °C	Anmärkning	Bil. nr
FEP 100A		88	RT-150		1
FEP 100A		89	RT-150		2
FEP 100A		88.5	70-150		3
FEP 100A		90	70-105		4
FEP 100A	-70 - +50	87	-70- +120	prov nr 3 SP	5
Daikin FEP		93	RT-150		6
FEP 2000A		88	RT-250	4 °C/min, 2 mm	7
FEP 2000A		85.5	70-105	2 °C/min, 2 mm	8
FEP 2000A		83.5	70-105	1 °C/min, 2 mm	9
FEP 2000A	-58	85	-100- +200	4 °C/min, 2 mm	10
FEP 3000L		85	RT-150	3 mm	11

Tabell 2
DMTA - Prov av skadad film

Material	β -trans °C	T _g °C	Temp. intervall °C	Anmärkning	Bil. nr
SP (TT-HT)		91	RT-150		12
SP (TT-HT)		85	RT-150	10 lager, dålig kurva	13
SP (TT-HT)		94	RT-105		14
SP (TT-HT)		91.5	70-105		15
SP (TT-HT)	-70		-110-RT	4 lager	16
SP (TT-HT)	-50 ?	88	-50-140	prov nr 2 SP	17
Ingelstad		88.5	70-105		18
Ingelstad	-60	85	-100-105		19
Ingelstad		95 ?	RT-105	avbrutet	20
Ingelstad		90 ?	RT-105	avbrutet	21
Ingelstad		84.5	RT-140	prov nr 1 SP	22
Ingelstad		90.5	-40-140	prov nr 1 SP	23
Falkenberg		90	RT-130		24
Falkenberg		91	RT-105		25
Kronhjorten		87	RT-120		26
Kronhjorten		90	RT-150		27
Kronhjorten		90 ?	RT-110	avbrutet	28
Nykvarn övre		96	RT-150		29
Nykvarn övre		93	70-110		30
Nykvarn undre		95	60-130		31
Nykvarn undre		92	RT-150		32
Nykvarn undre		97	RT-105		33
Nykvarn undre		90 ?	RT-105		34
Lyckebo övre		88	RT-150		35
Lyckebo övre		90	RT-150		36
Lyckebo undre		88.5	RT-150		37
Lyckebo undre		87.5	RT-150		38

Tabell 3
DSC - Referensprov på materialen

Material	T _m peak °C	ΔH J/g	Anmärkning	Bil. nr
FEP 2000A	273	12		39
FEP 100A	270	9		40
FEP 3000L	259	10	annan sammansättning enl datablad	41

Tabell 4
DSC - Prov på skadad film

Material	T _m peak °C	ΔH J/g	Anmärkning	Bil. nr
Nykvarn undre	268	13		42
Nykvarn övre	270	12		43
SP (TT-HT)	270	10		44
Ingelstad	261	5		45

Tabell 5
DSC- Lågtemperatur

Material	Resultat	Anmärkning	Bil. nr
FEP 100A	ingen transition	SP prov 3	46
Ingelstad	ingen transition	SP prov 1	47
SP (TT-HT)	ingen transition	SP prov 2	48
FEP 100A	ingen transition	SP prov 3, hastighet 40 °/min	49

8 Kommentarer

1. DMTA-proverna identifierar två tydliga transitioner, beta vid -60 till -50 °C och T_{g1} vid 85 till 95 °C. Jämförelser med tjocka plattor (FEP 2000A) visar att det användas provförfarandet att vika filmen ger korrekta och reproducerbara mätvärden.

2. DMTA mäter mekaniska förändringar (E-modul och inre dämpning). Detta är en mycket känsligare metod när det gäller T_g än DSC och DTA som mäter termiska förändringar. FEP-materialet är semikristallint och den amorfa delen där omvandlingen vid T_g sker är bara en del av strukturen. DSC-mätningen klarar därför inte att detektera T_g eller beta.

9 Resultat

DMTA-mätningarna på oanvända filmer och plattor visar ett tydligt T_g runt 88-90 °C. Av de skadade filmerna uppvisar Nykvarn något högre T_g-värden, 92-97 °C, såväl för övre som undre filmer. Även SP (TT-HT) uppvisar något höga T_g-värden, 91-94,5 °C. Film från Ingelstad ligger något lägre, 84,5-90,5 °C, medan övriga (Falkenberg, Kronhjorten och Lyckebo) ligger inom intervallet 88-90 °C, ±1 °C. Den veckade filmen från Daikin har marginellt högre T_g, 93 °C.

Beta-transitionen är mycket mindre än T_g och då den ligger mycket under användningstemperaturen har endast ett fåtal prov utförts. Resultaten visar ingen direkt åldringpåverkan.

DSC-mätningarna visar på vissa skillnader mellan materialen. FEP 200A, FEP 100A, Nykvarn övre och undre film samt SP (TT-HT) har alla mycket lika smältpunkt, 270 °C, och smältvärme, 9-13 J/g. Från detta avviker Ingelstad och FEP 3000L med smältpunkt 261 och 259 °C och smältvärme på endast 5 J/g för Ingelstad. FEP 3000L är dock en annan typ av FEP-film med bättre resistens mot spänningssprickor.

Varken lågtemperatur-DSC vid olika uppvärmningshastigheter eller DMTA har kunnat detektera någon transition runt 0 °C.

Diagram från DMTA- och DSC-provningarna bifogas som bilaga.

10 Övriga observationer

Vid hantering av filmen noteras att den är duktil och seg. Vid töjning i olika riktningar kan den uppta stora deformationer i olika riktningar. Om däremot en anvisning anbringas löper en reva lätt vidare vid låg kraft.

Filmen från Ingelstad är något mera opak och mindre glansig än de övriga. Glaset som skyddar filmerna var krossat och filmen har varit utsatt för väder och vind i ett par veckor.

11 Slutsatser och rekommendationer

Ingen generell åldringpåverkan har säkert kunnat konstateras. Vissa skillnader mellan ny och skadad film från solfångare har dock konstaterats. Film från Ingelstad avviker i såväl smältpunkt som smältvärme från övriga filmer. Den har även ett något lägre T_g vid några mätningar. Film från Nykvarn har något högre T_g än övriga filmer. Även Daikin-filmer har ett något högre T_g .

Skillnaderna är små utom för film från Ingelstad. Denna har även varit utsatt för väder och vind under ett par veckor sedan glaset krossats.

Som referens har använts ny film från Du Pont. Resultaten tyder inte på någon skillnad mellan äldre och nytillverkat material.

Du Pont har utfört utomhusexponering av tunn FEP-film i Florida under 20 år utan att kunna detektera försämrade mekaniska egenskaper. Man påpekar dock att provningen (dragprov) är mycket känslig för provtillverkningen. Anvisningar i provet ger upphov till stor spridning.

Normalt utförs åldringsprov på obelastade prover. En pålagd mekanisk belastning kan därför såväl påskynda åldring som ge upphov till andra åldringsfenomen. Spänningssprickbildning är ett exempel på detta. FEP-filmen är så tunn att den bara kan bära en mycket liten last utan att deformeras lokalt.

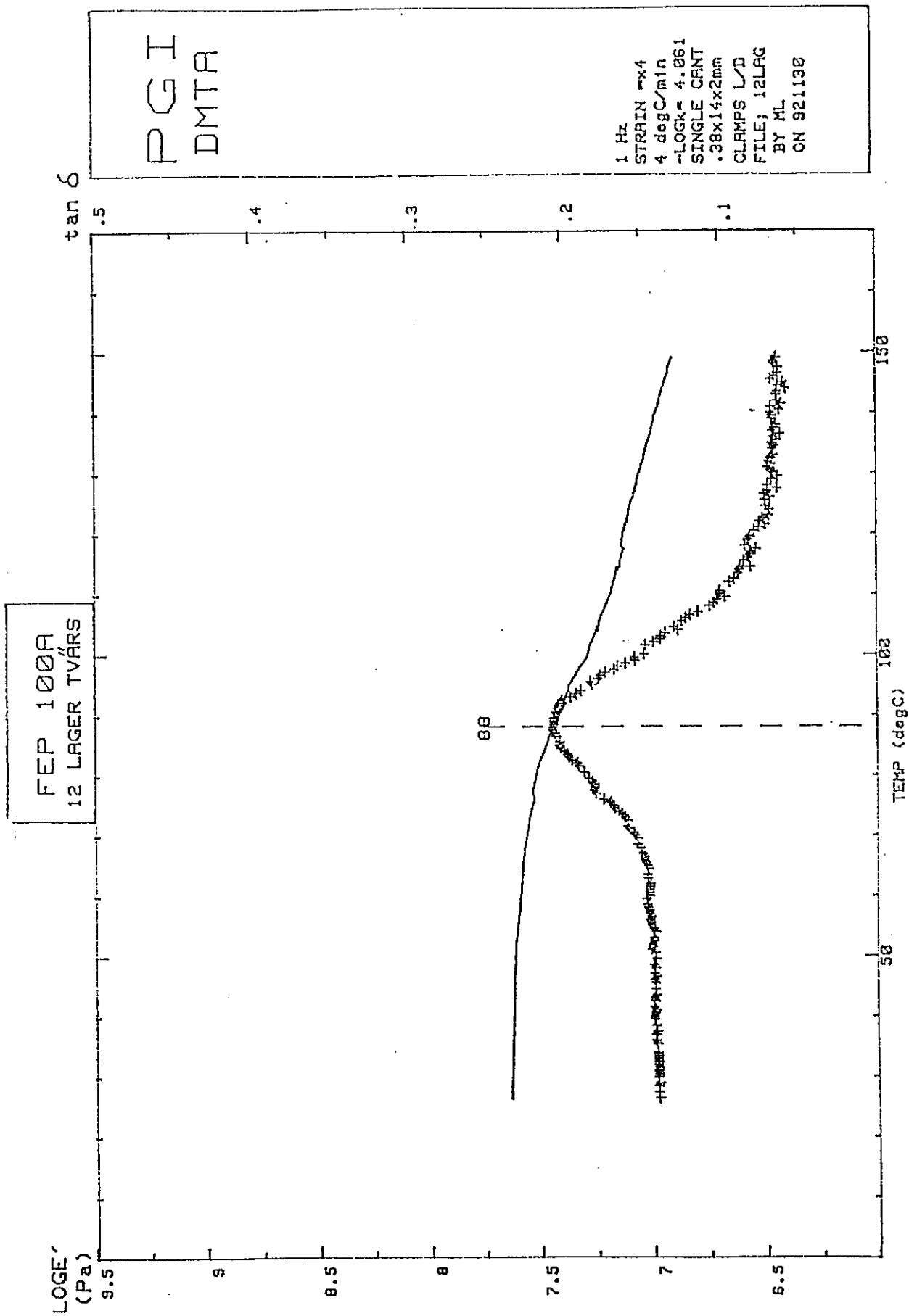
Temperaturvariationerna i en solfångare är större än vad provningen i Florida ger upphov till. På materialets längdutvidgning och orientering från tillverkningen, tillkommer en mekanisk belastning på provet.

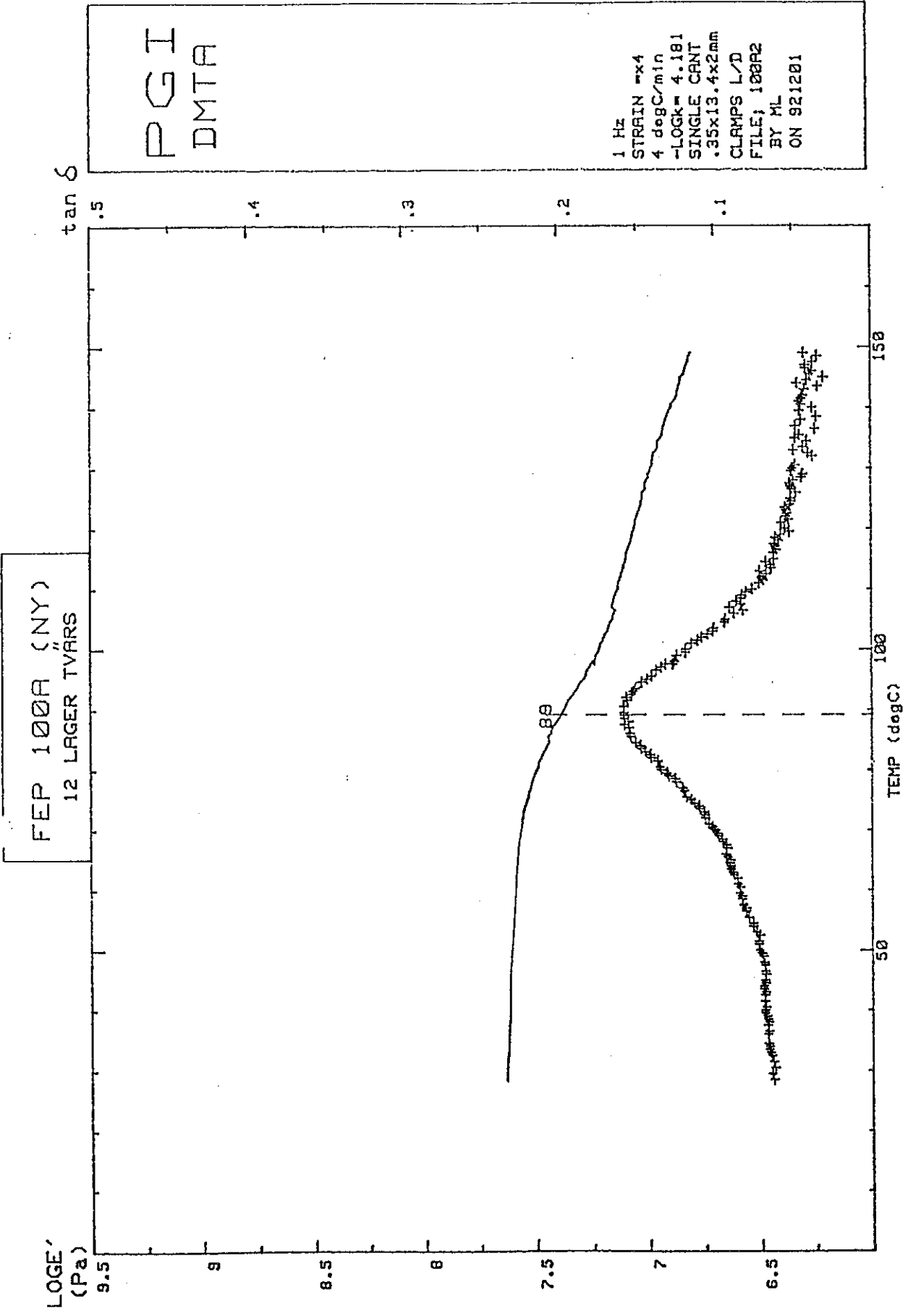
Den övervägande delen av skadorna har utgått från infästningen mot ramen. FEP-filmen är duktil och har hög brottöjning. Rivhållfastheten för anvisade prover är dock klart lägre. Då skadorna är av typen rebor rekommenderas att prov med anvisade filmer utförs. Provningsen kan utföras som dragprov för att detektera eventuellt andra skillnader mellan nya och skadade filmer. För att verifiera materialet i denna applikation rekommenderas även ett krypprov vid låg belastning på anvisade prover och oskadat material. Proven bör utföras vid aktuella drifts- och stilleståndstemperaturer och om möjligt med en temperaturcykling.

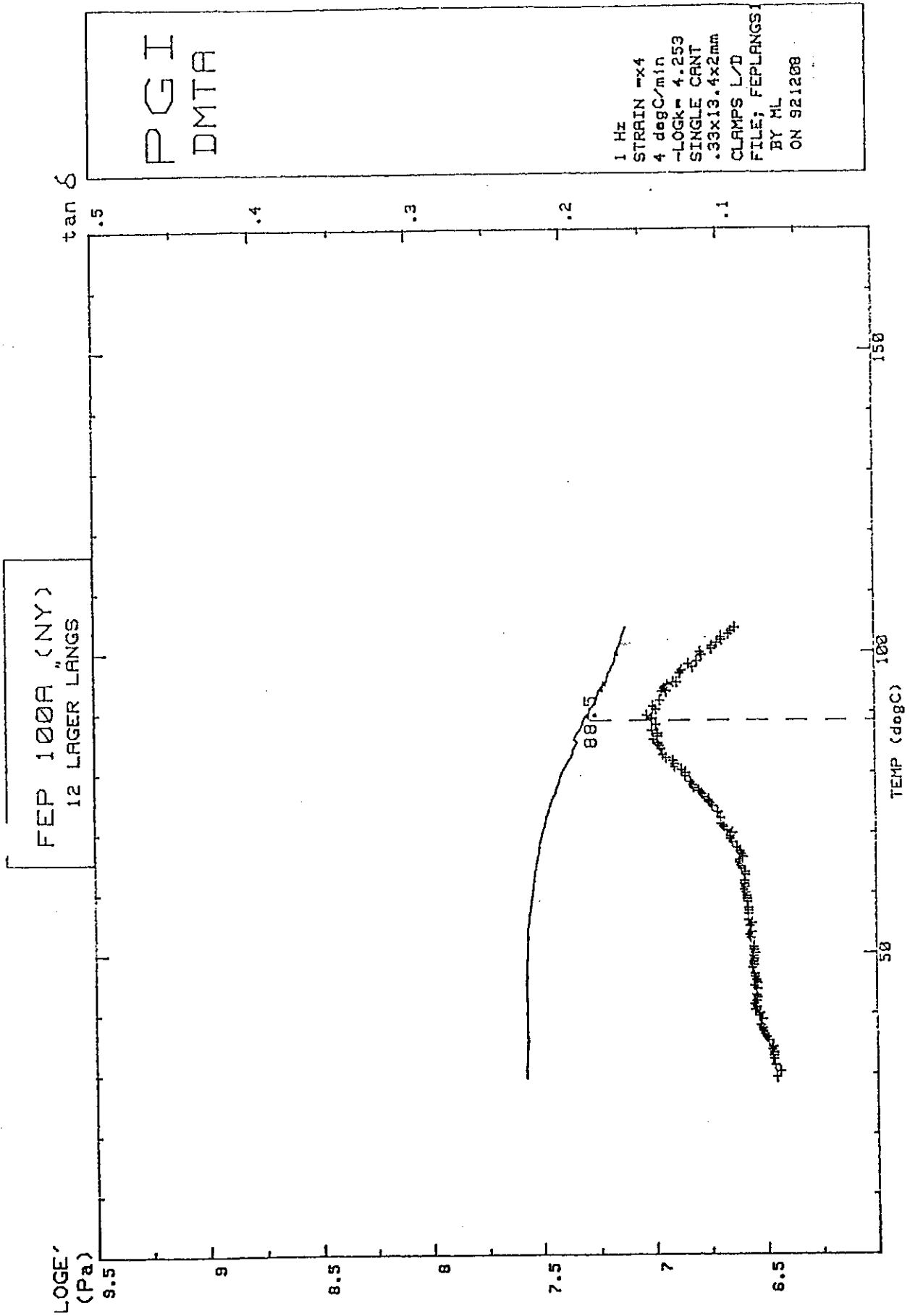
Möln dal 930119

Plast- och Gummitekniska Institutet

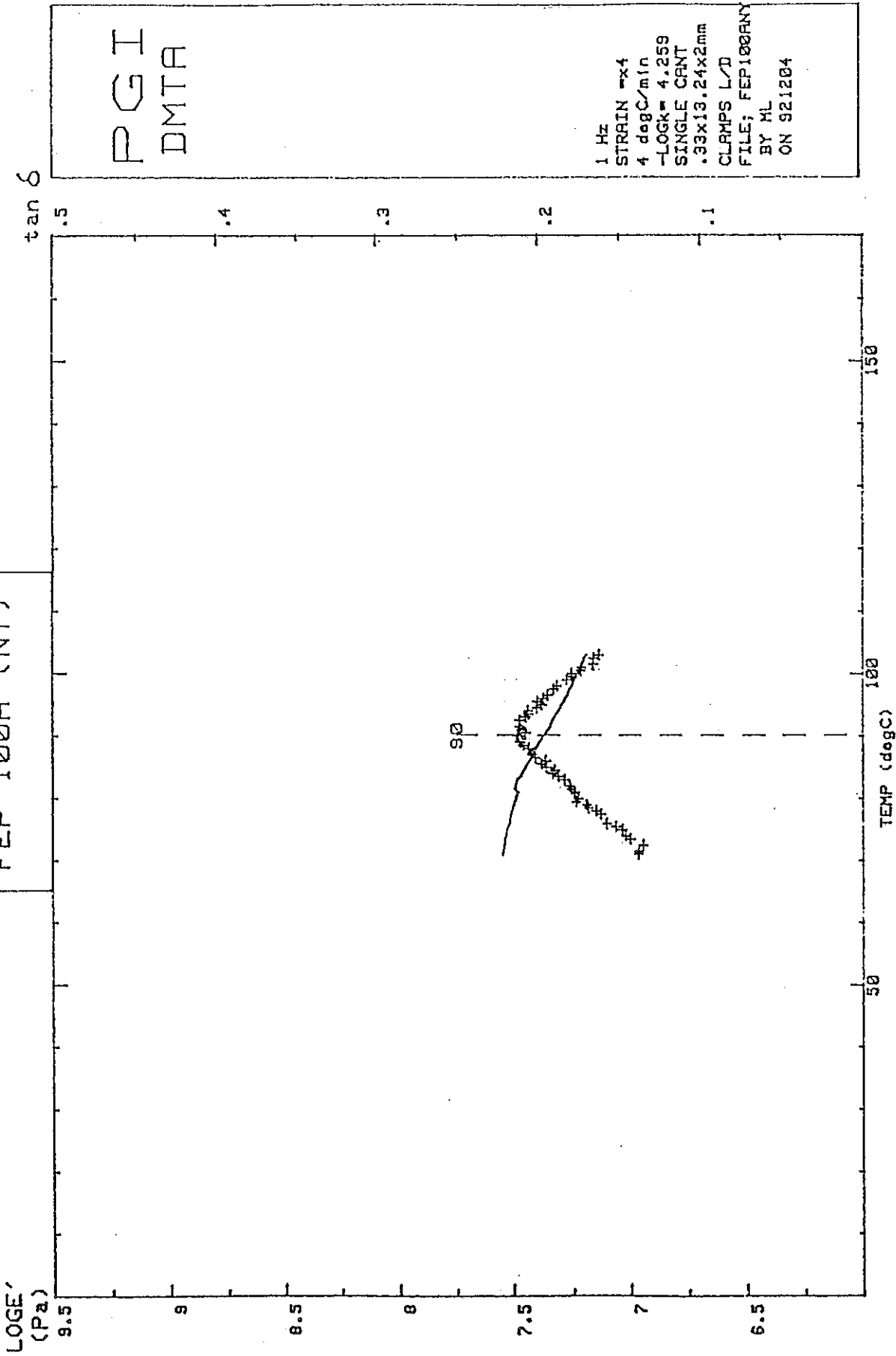
Per Albihn



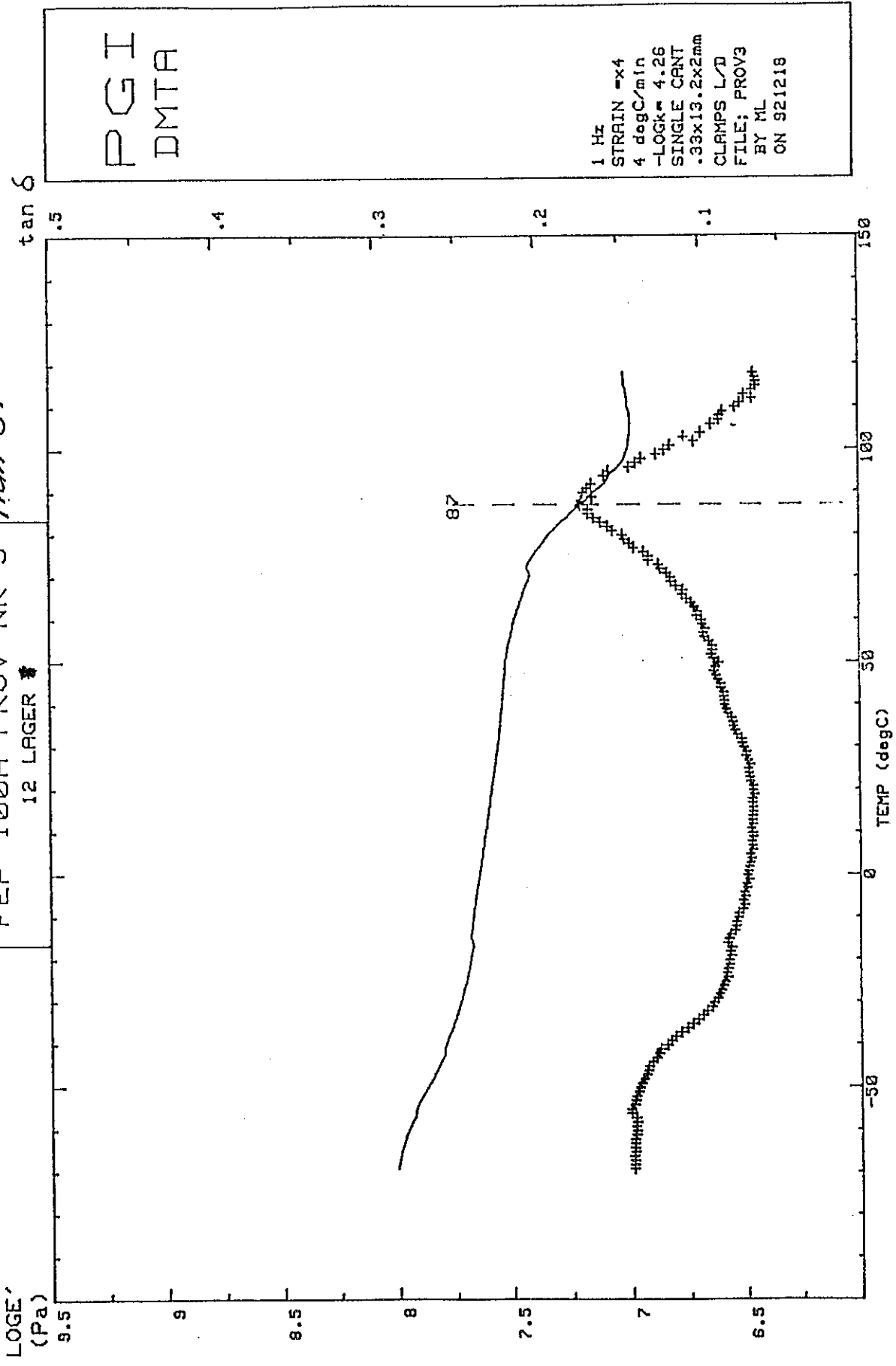




FEP 100A (NY)



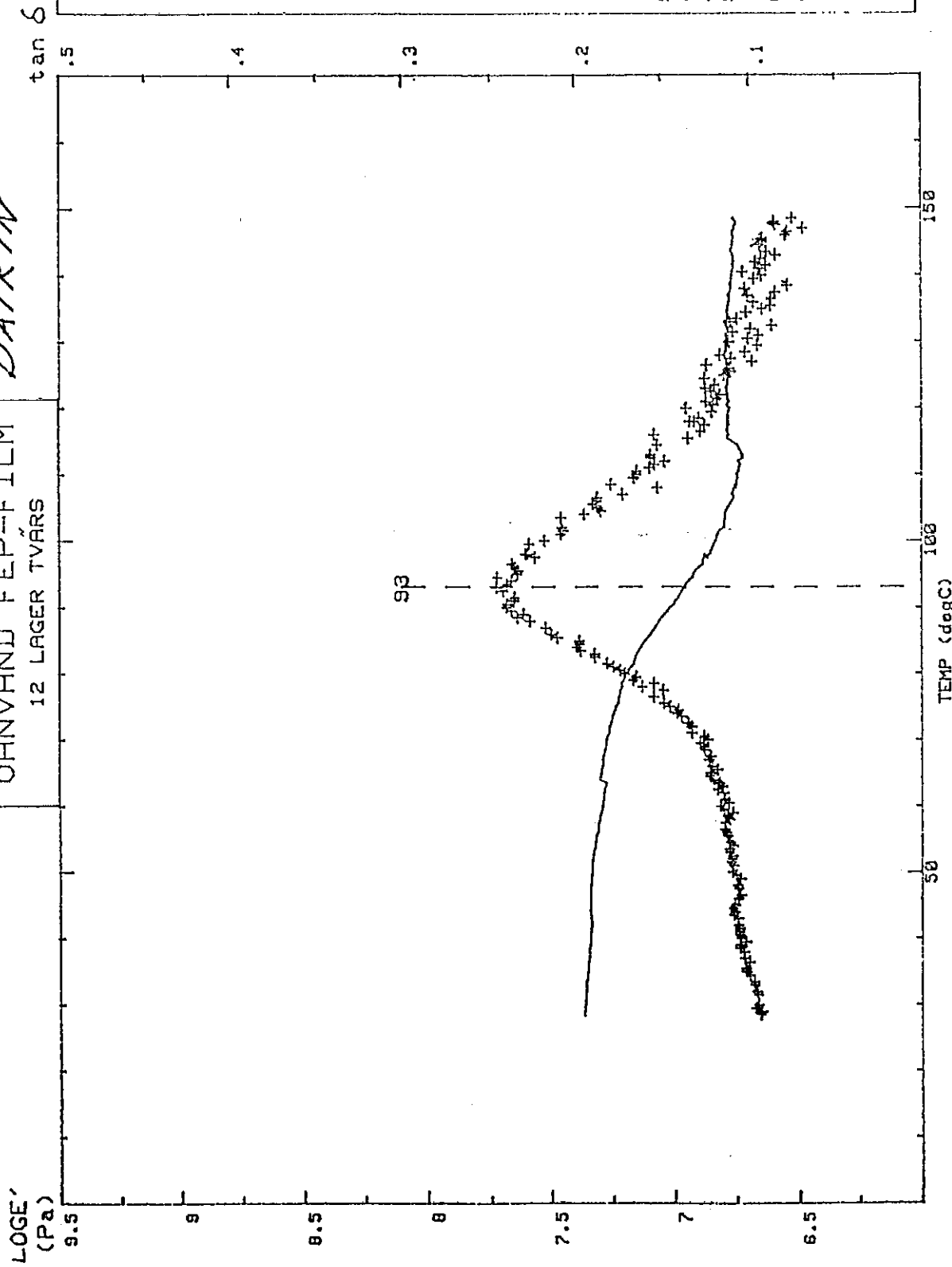
FEP 100A PROV NR 3
12 LAGER #
fran SP

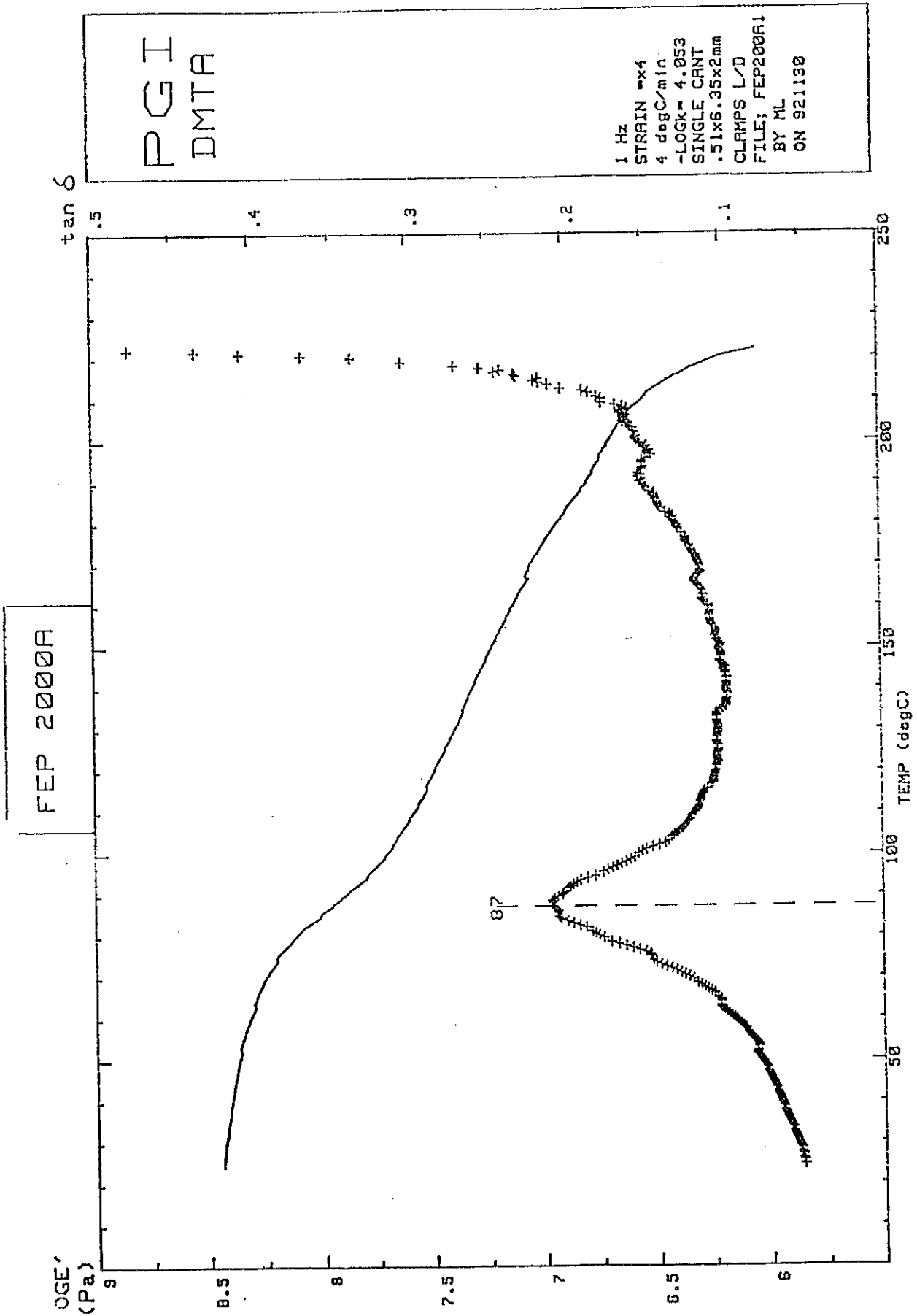


DAIKIN

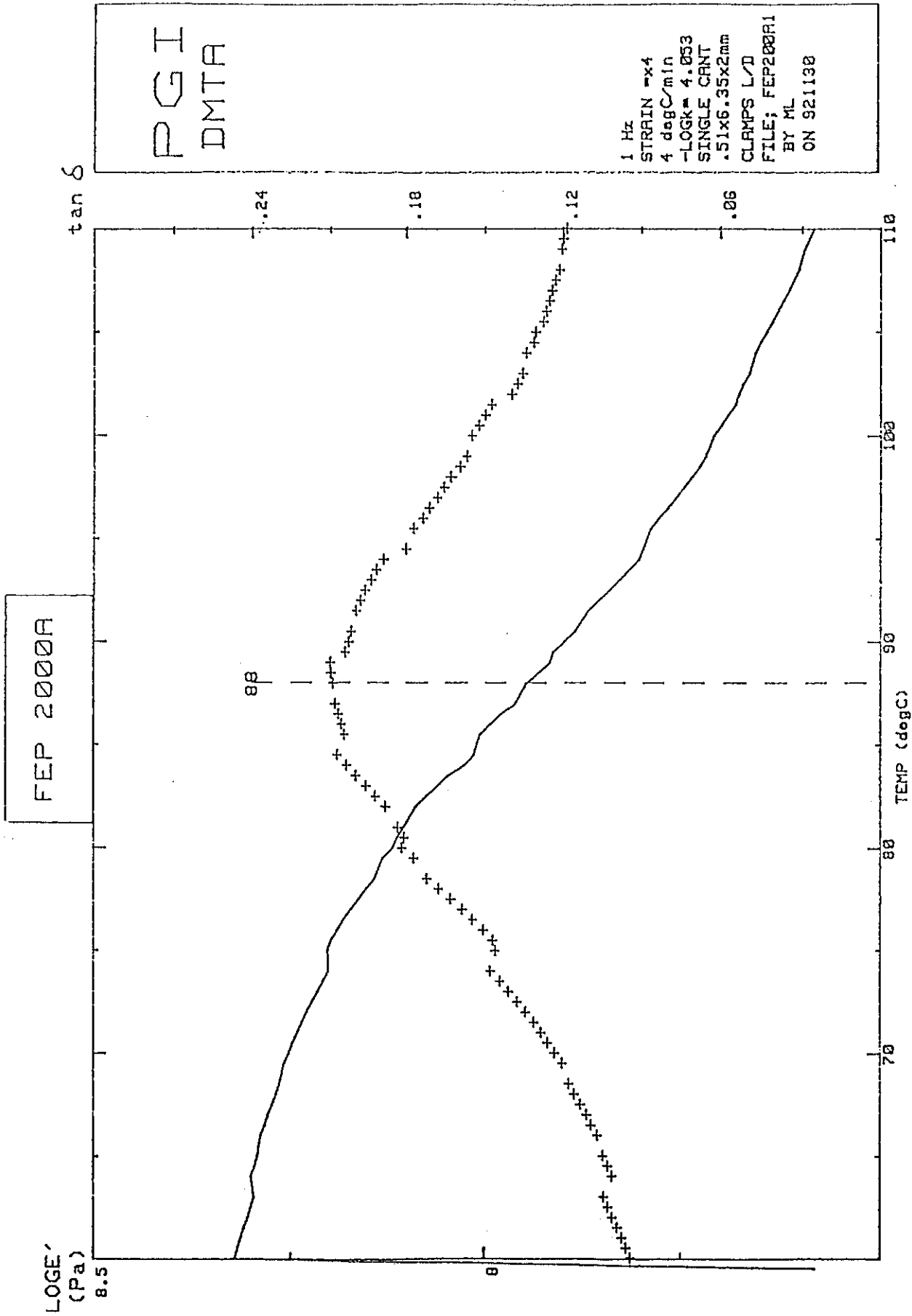
ÖRNVÄND FEP-FILM
12 LAGER TVÄRS

DAIKIN





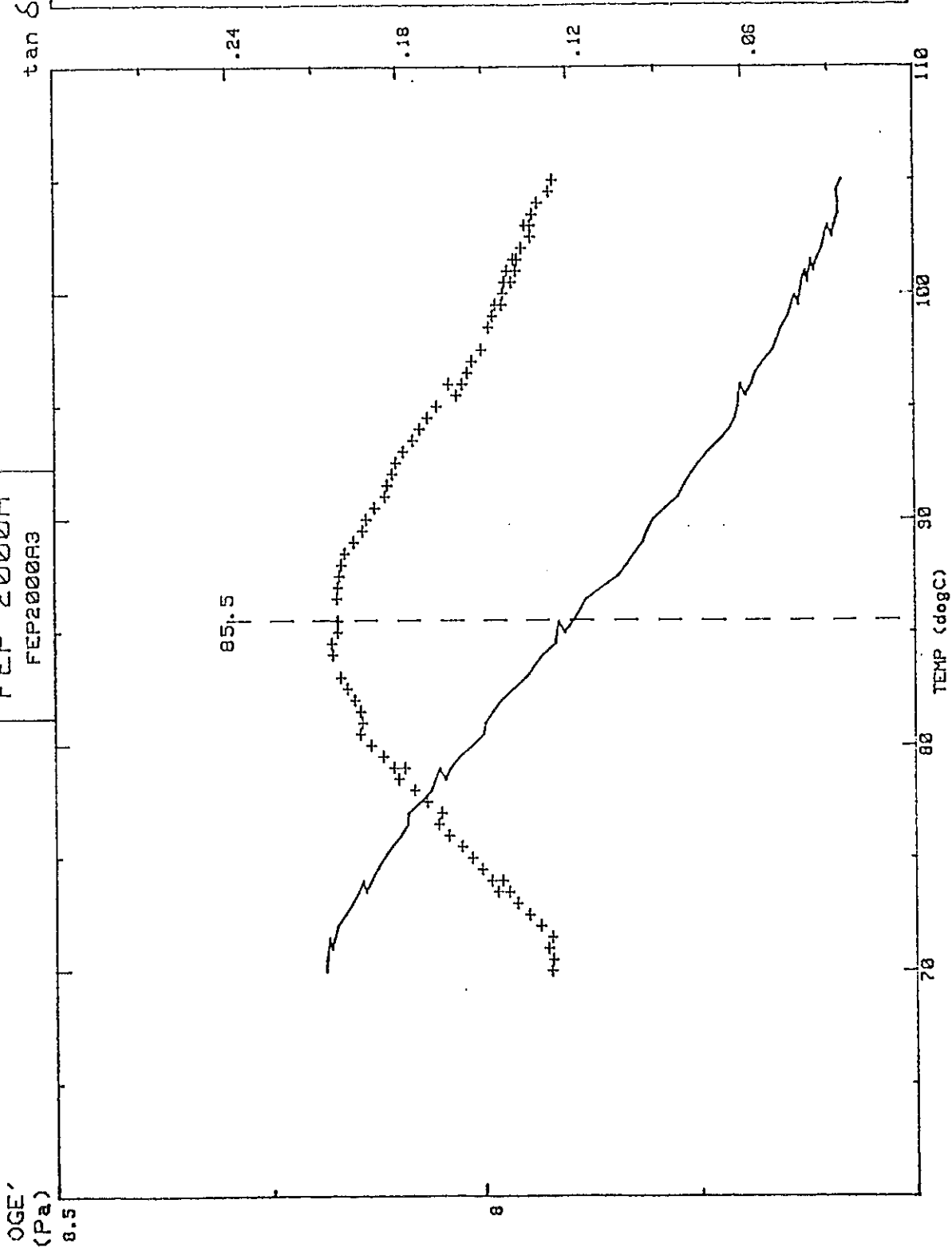
Bilaga 7.2
Delförstoring av 7.1



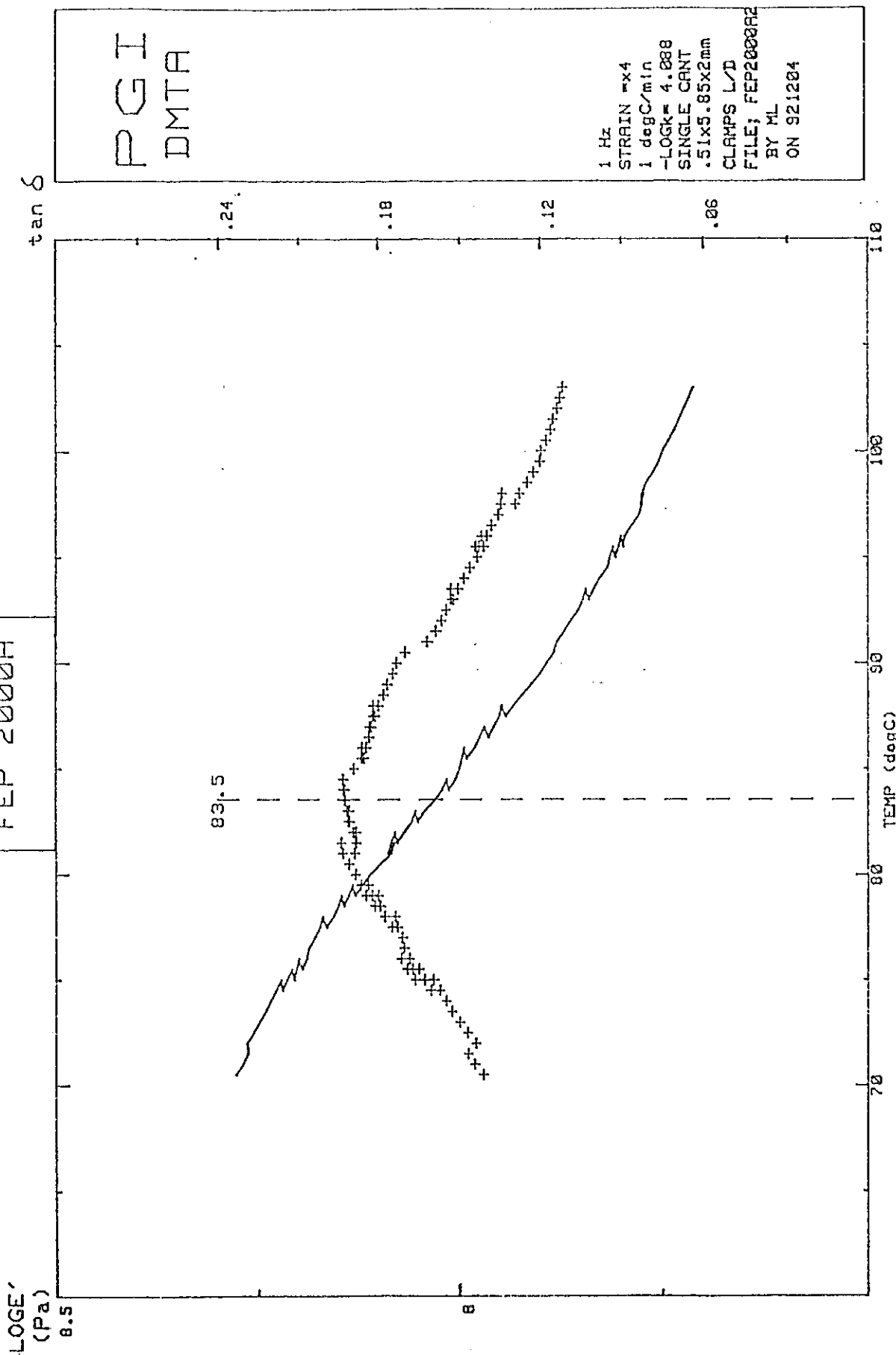
PGI
DMTA

1 Hz
STRAIN -x4
2 degC/min
-LOGk= 3.986
SINGLE CANT
.51x7.4x2mm
CLAMPS L/D
FILE: FEP2000A3
BY HL
ON 921204

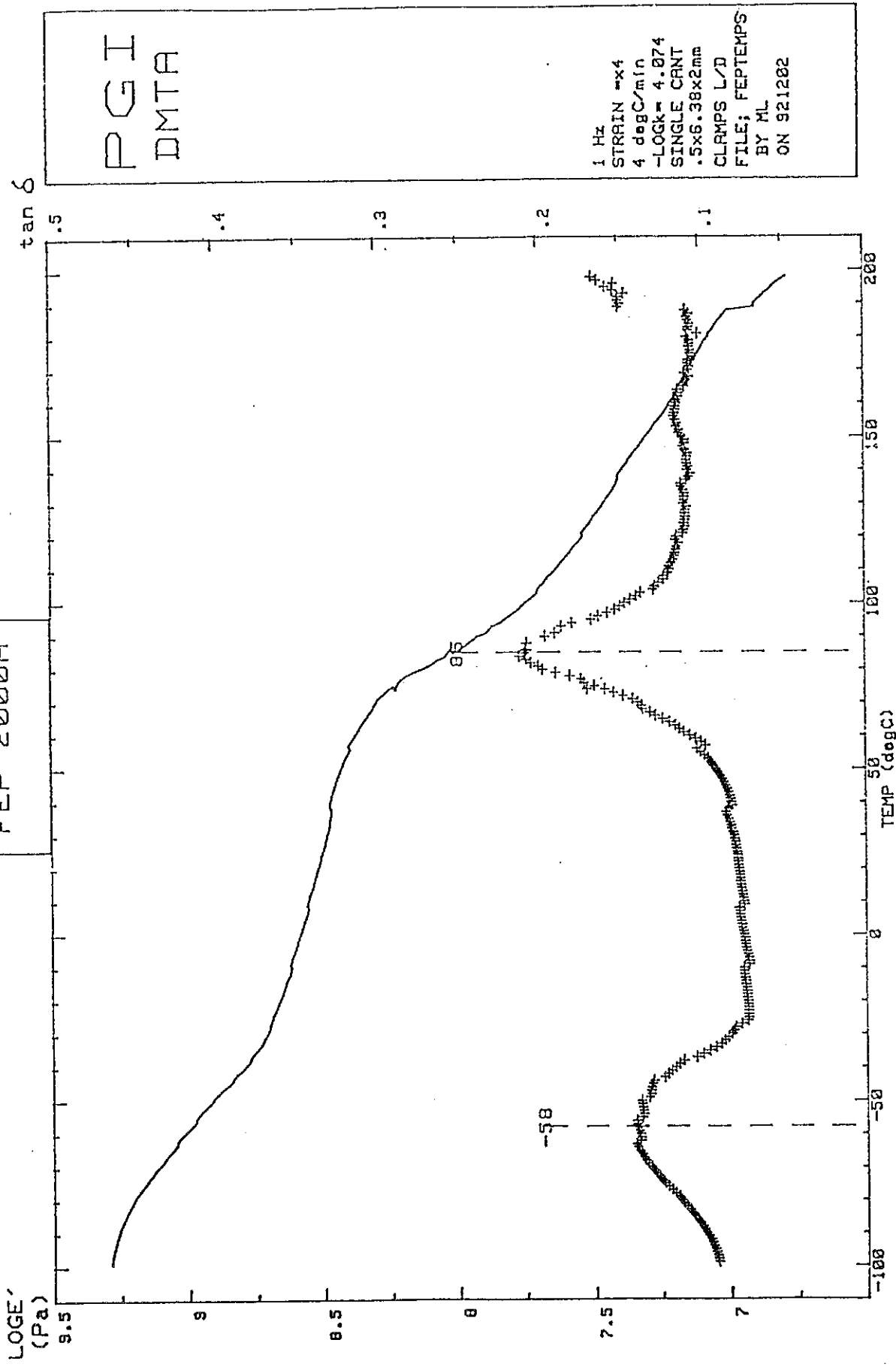
FEP 2000A
FEP2000A3



FEP 2000A

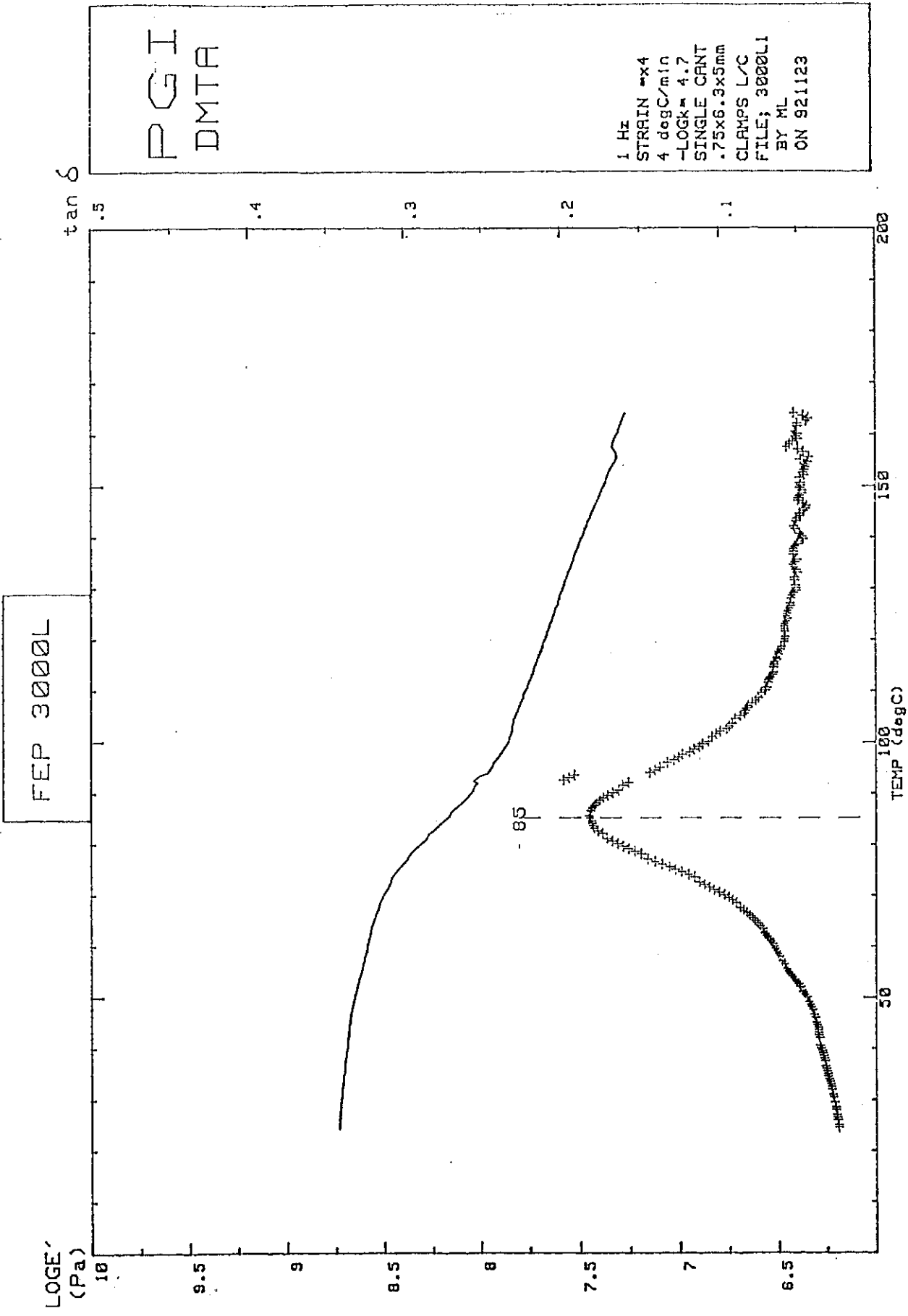


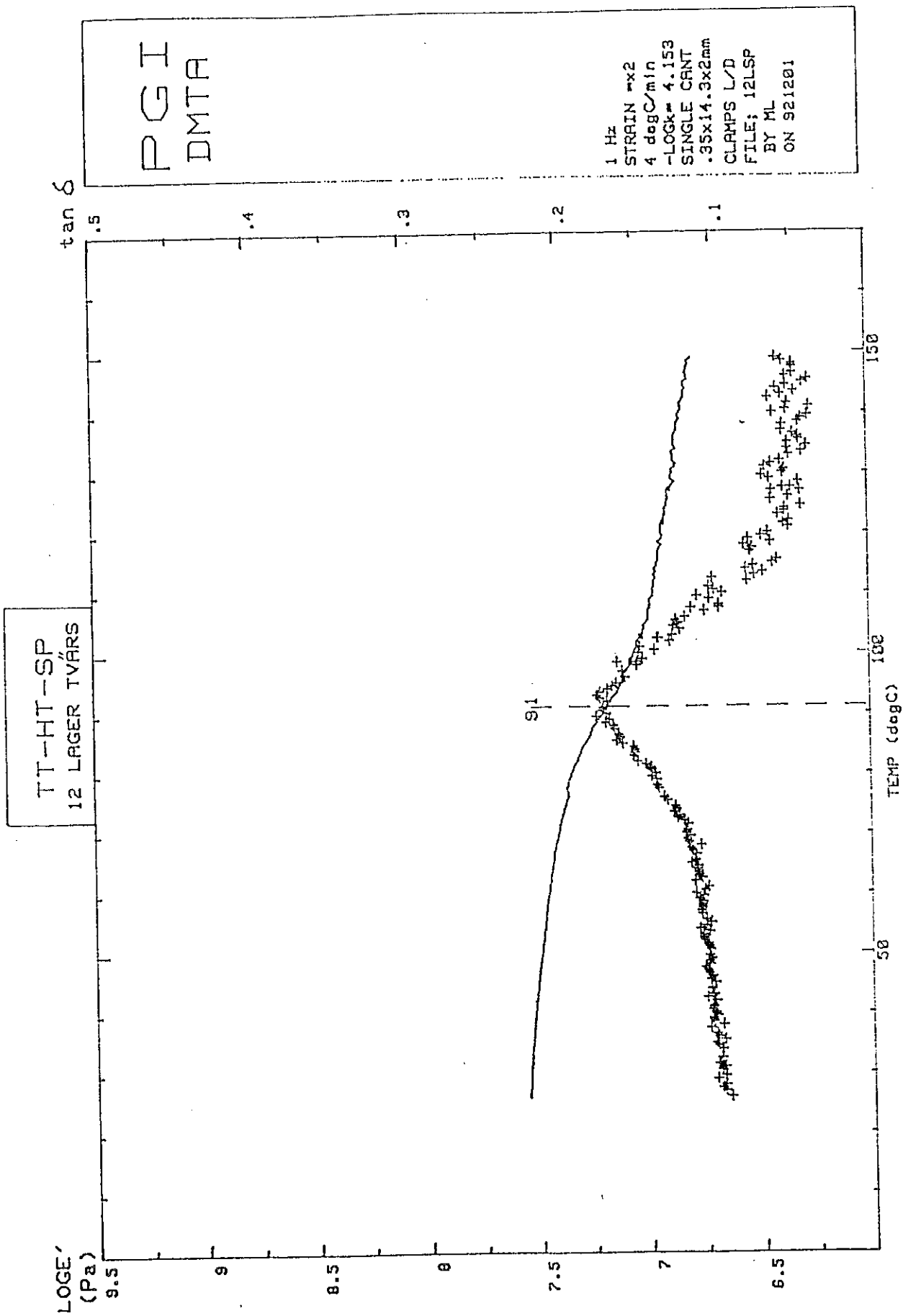
FEP 2000A

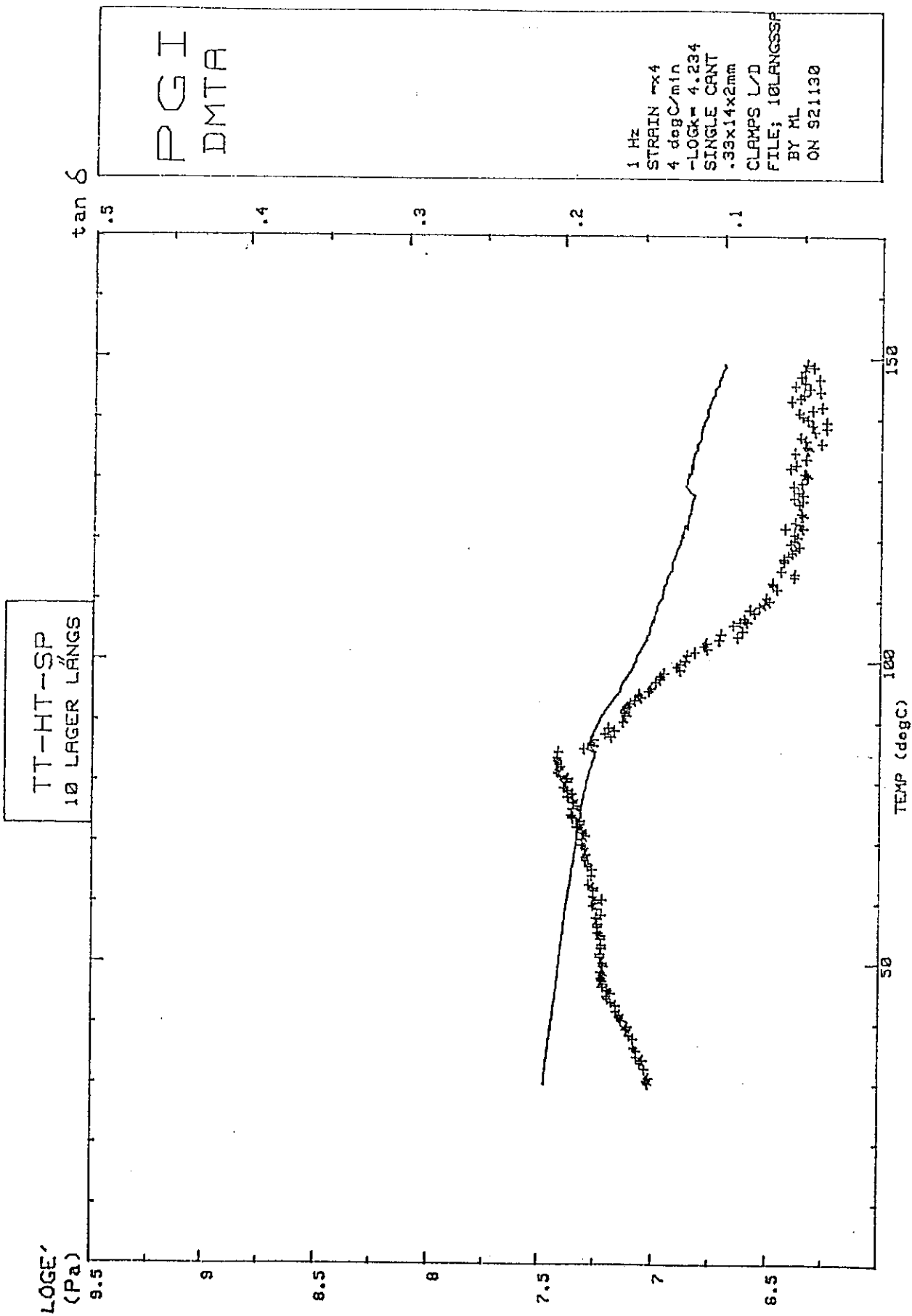


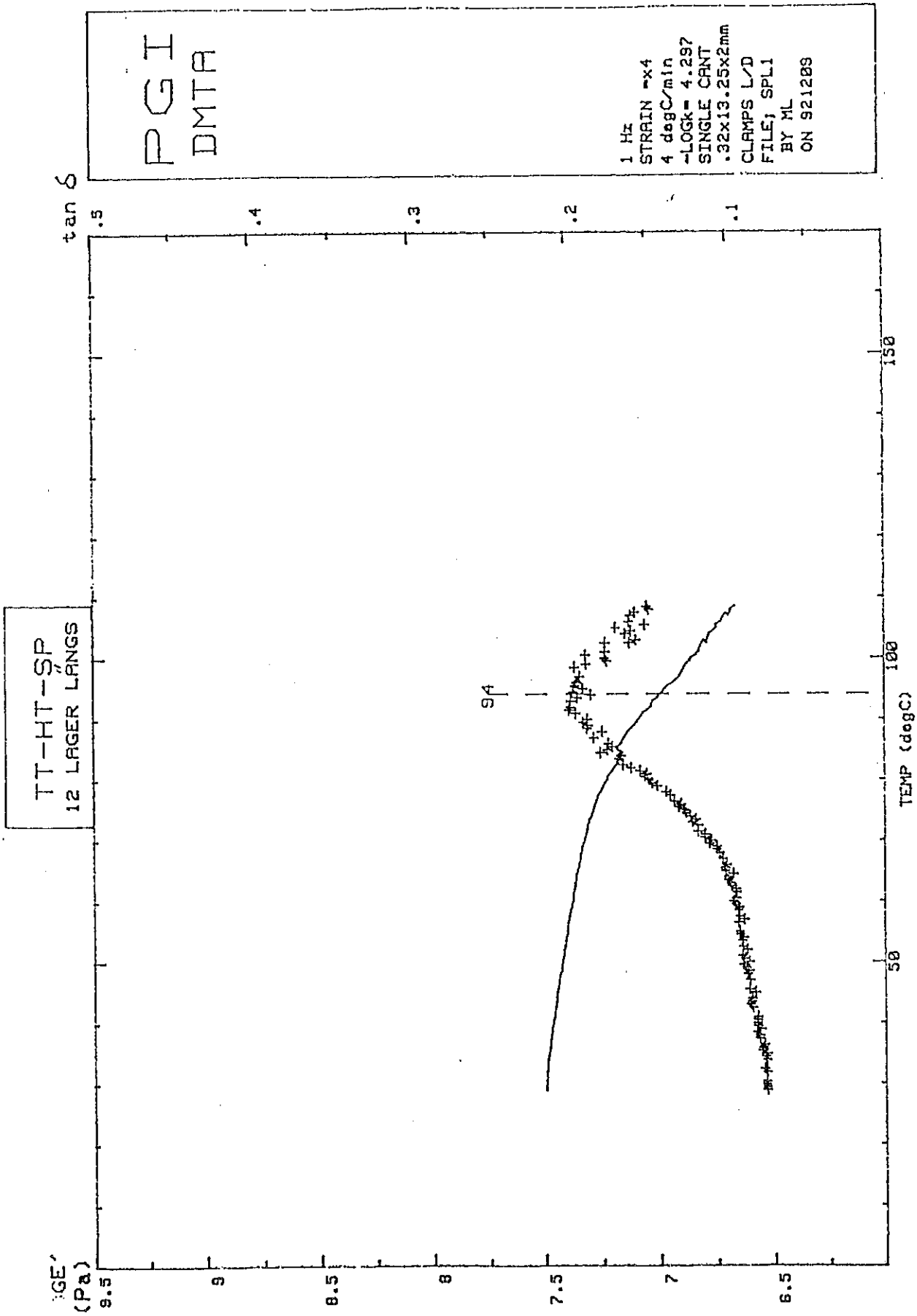
PGI
DMTA

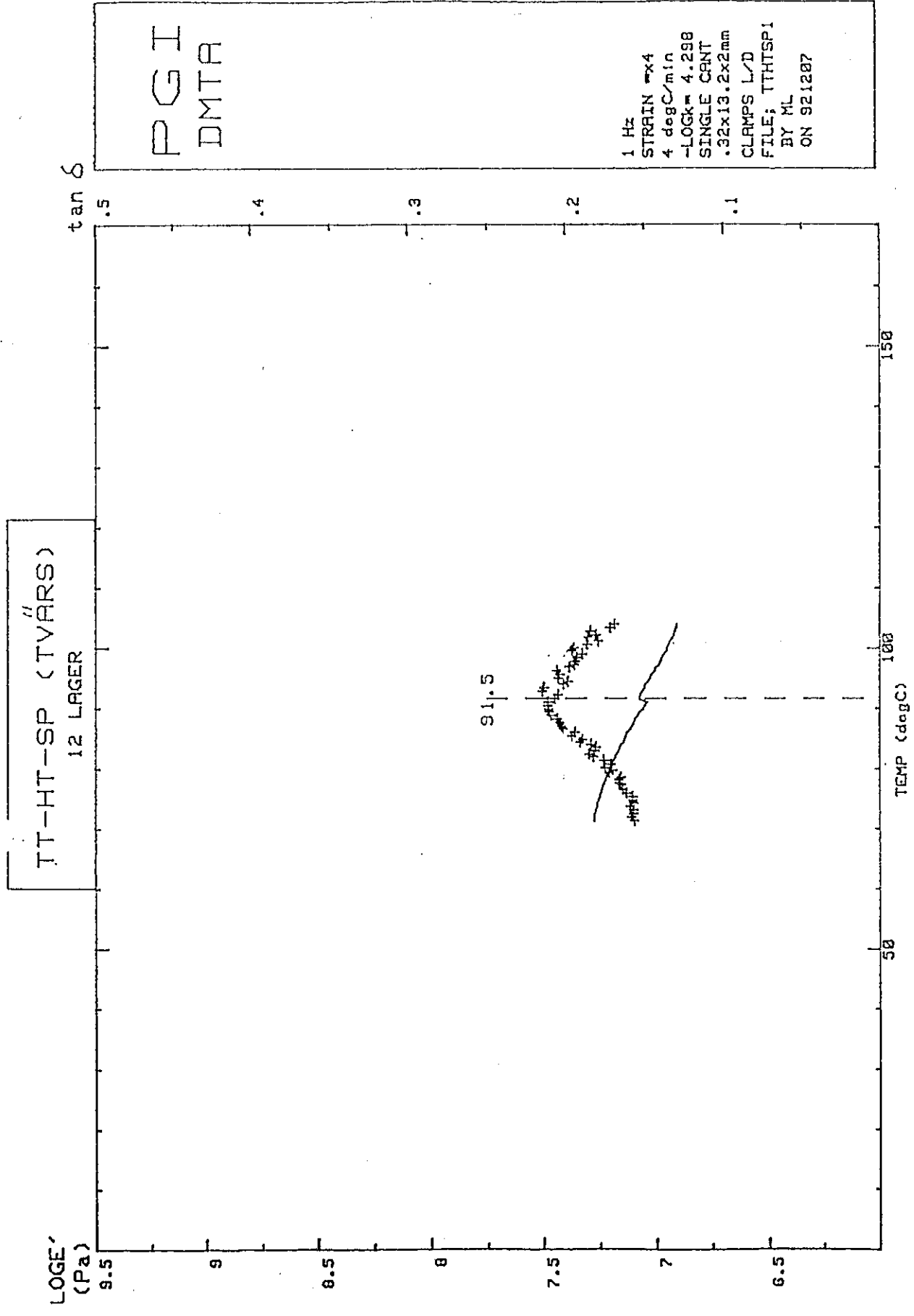
1 Hz
STRAIN = x4
4 degC/min
-LOGk = 4.074
SINGLE CANT
.5x6.38x2mm
CLAMPS L/D
FILE: FEPTemps
BY ML
ON 921202

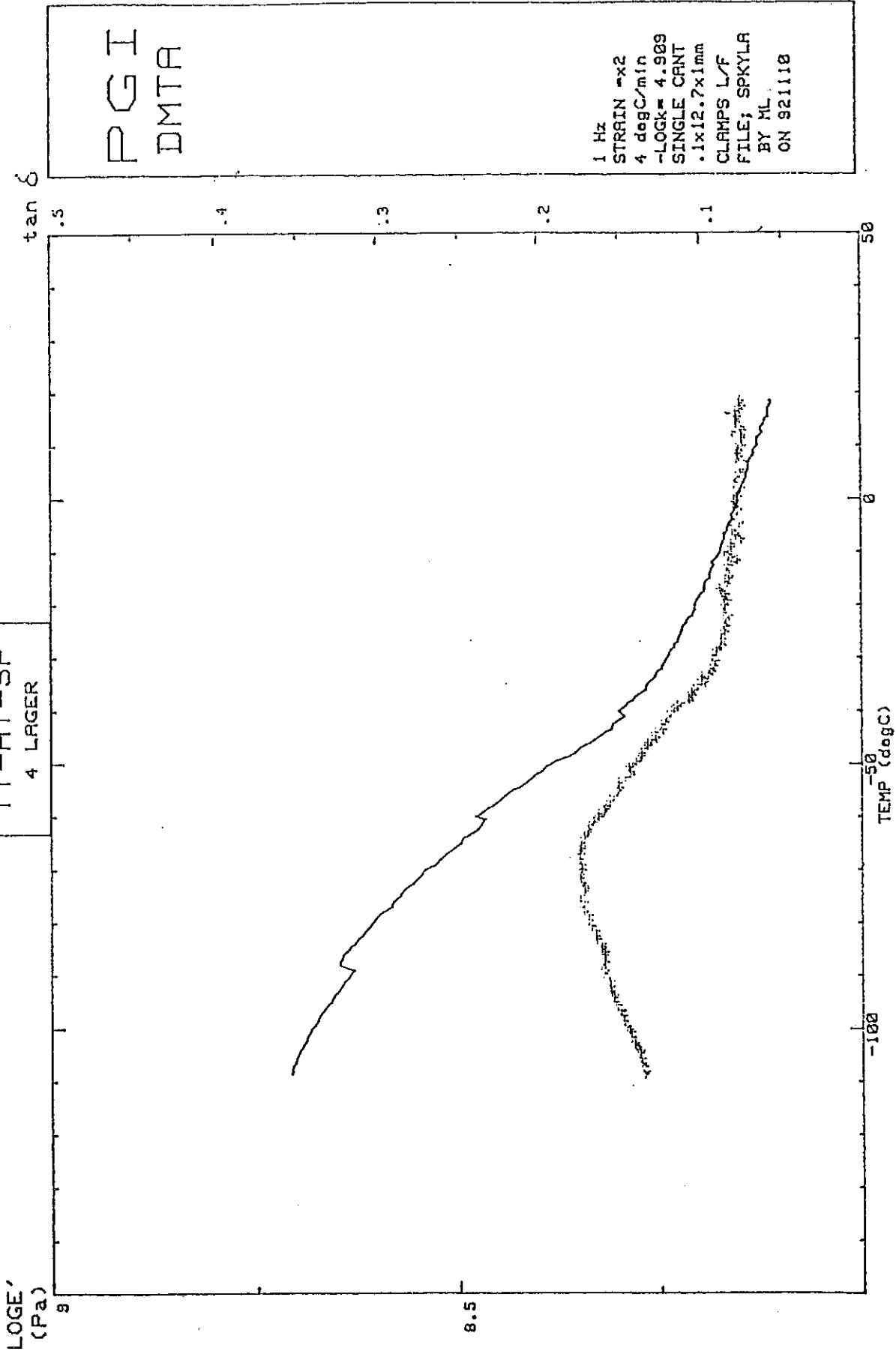




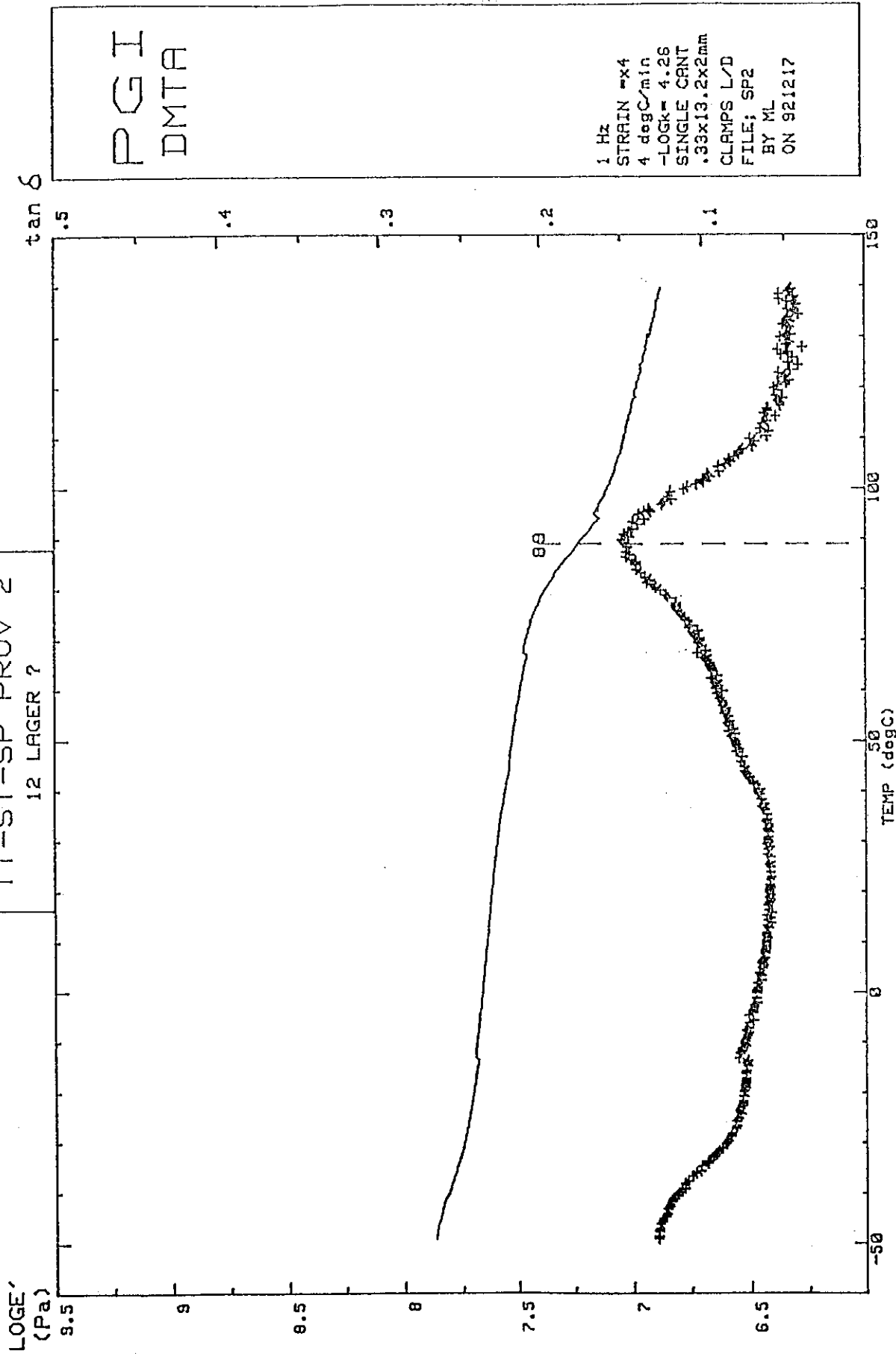






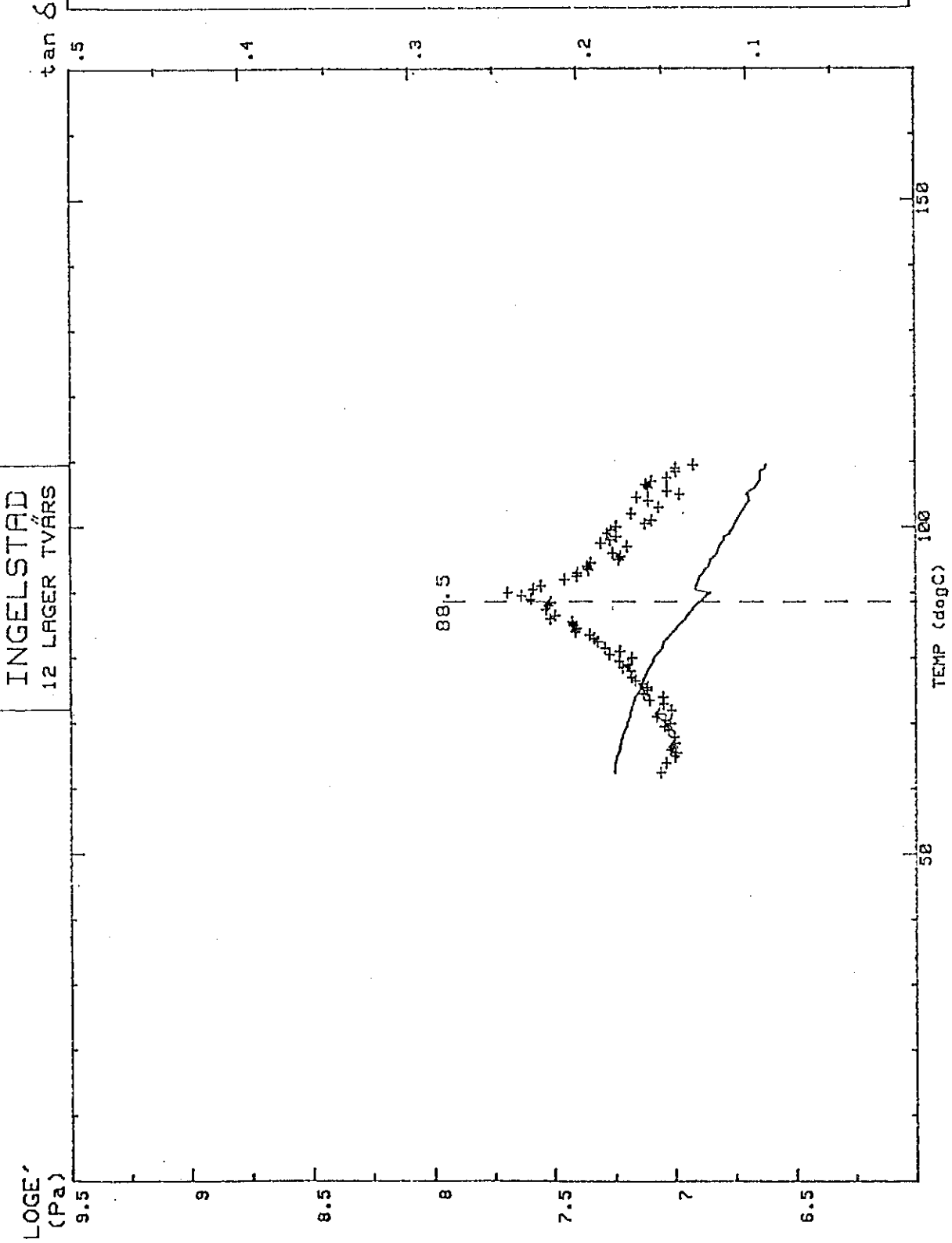


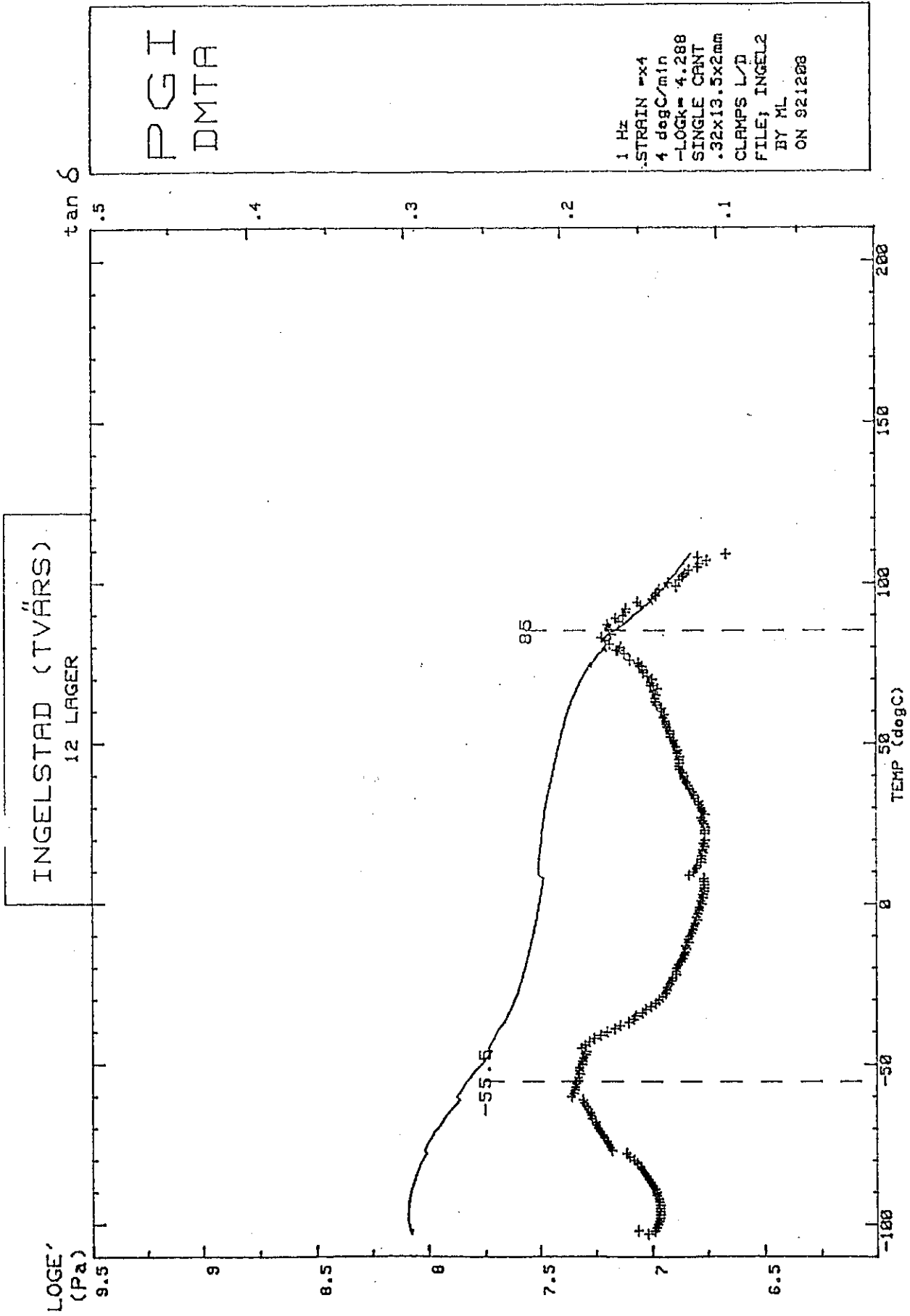
TT-ST-SP PROV 2
12 LAGER ?



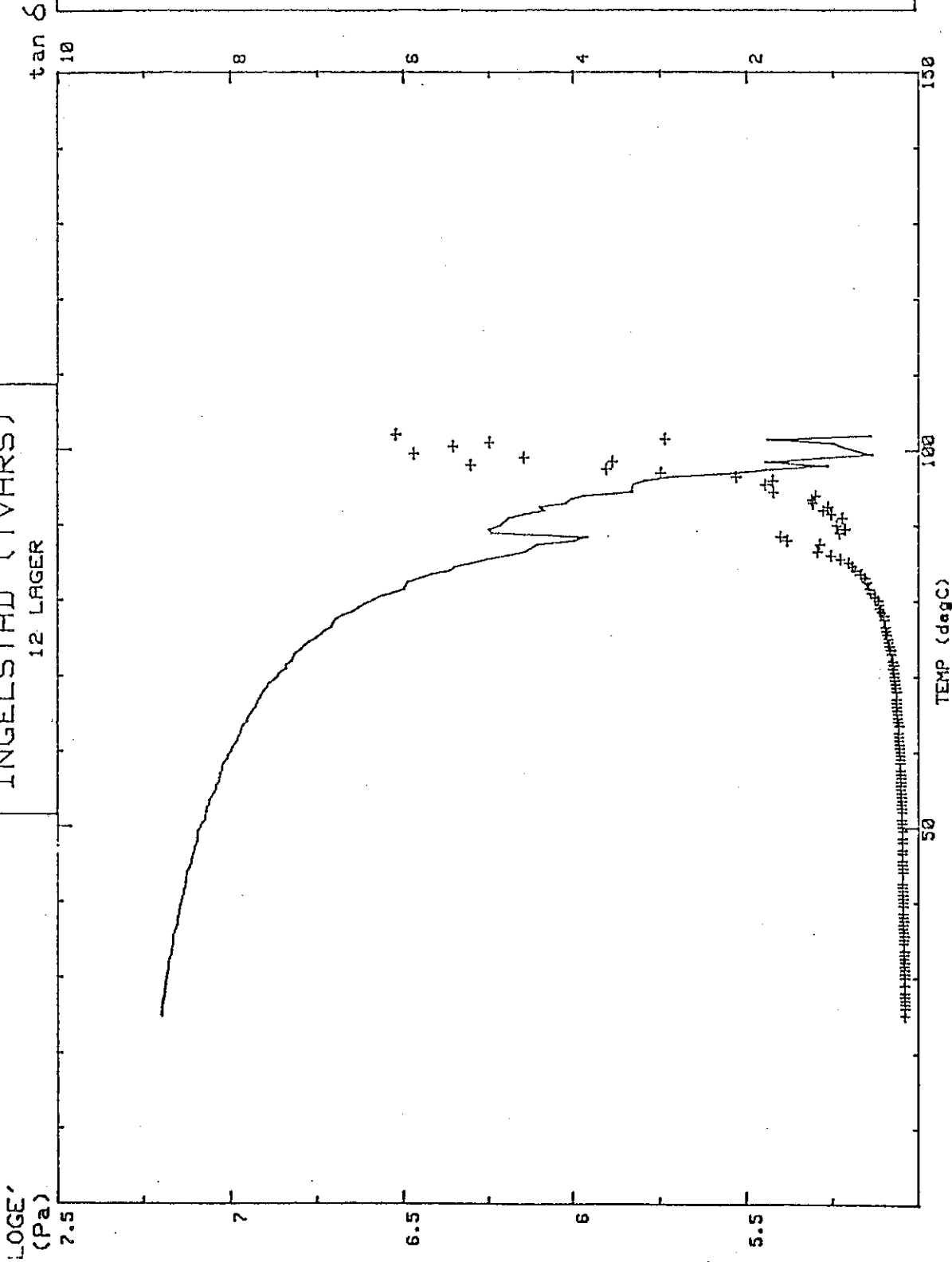
PGI
DMTA

1 Hz
STRAIN →x4
4 degC/min
-LOGk = 4.295
SINGLE CANT
.32x13.3x2mm
CLAMPS L/D
FILE; INGEL4
BY ML
ON 921289



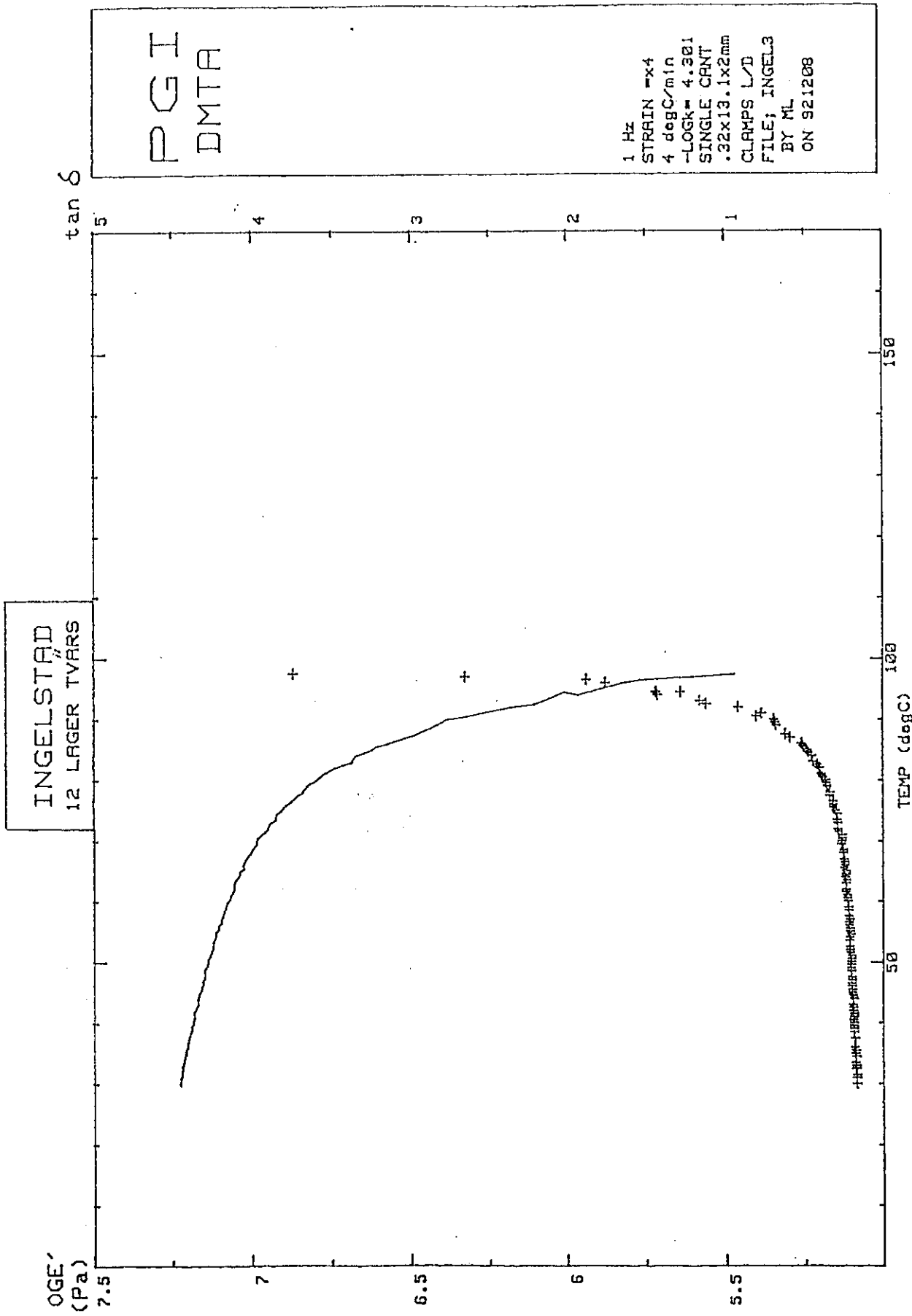


INGELSTAD (TVÄRS)
12 LAGER

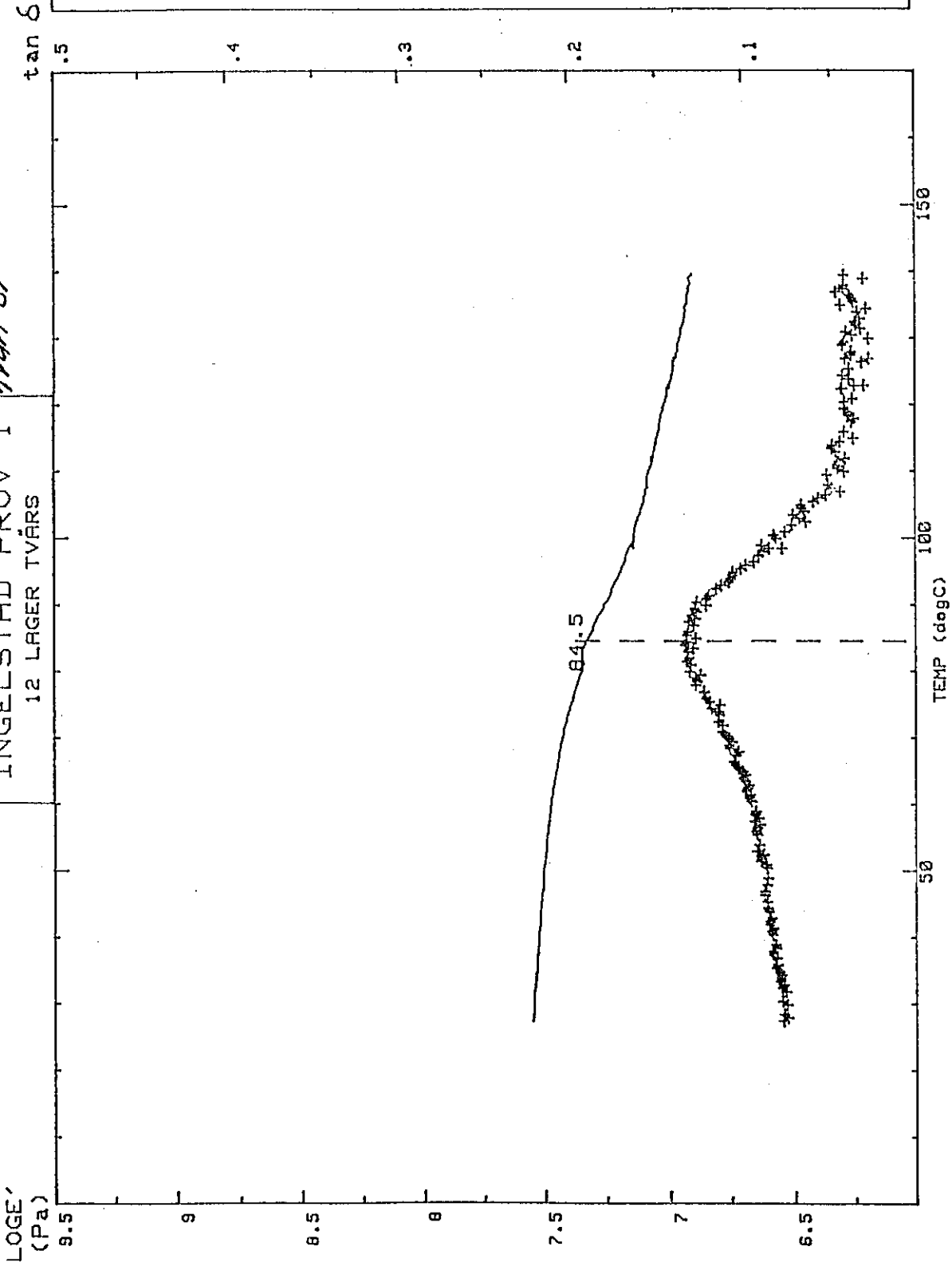


PGI
DMTA

1 Hz
STRAIN =x4
4 degC/min
-LOGk= 4.298
SINGLE CANT
.32x13.2x2mm
CLAMPS L/D
FILE; INGELI
BY ML
ON 921208



INGELSTAD PROV 1
12 LAGER TVÄRS
tan SP



PGI
DMTA

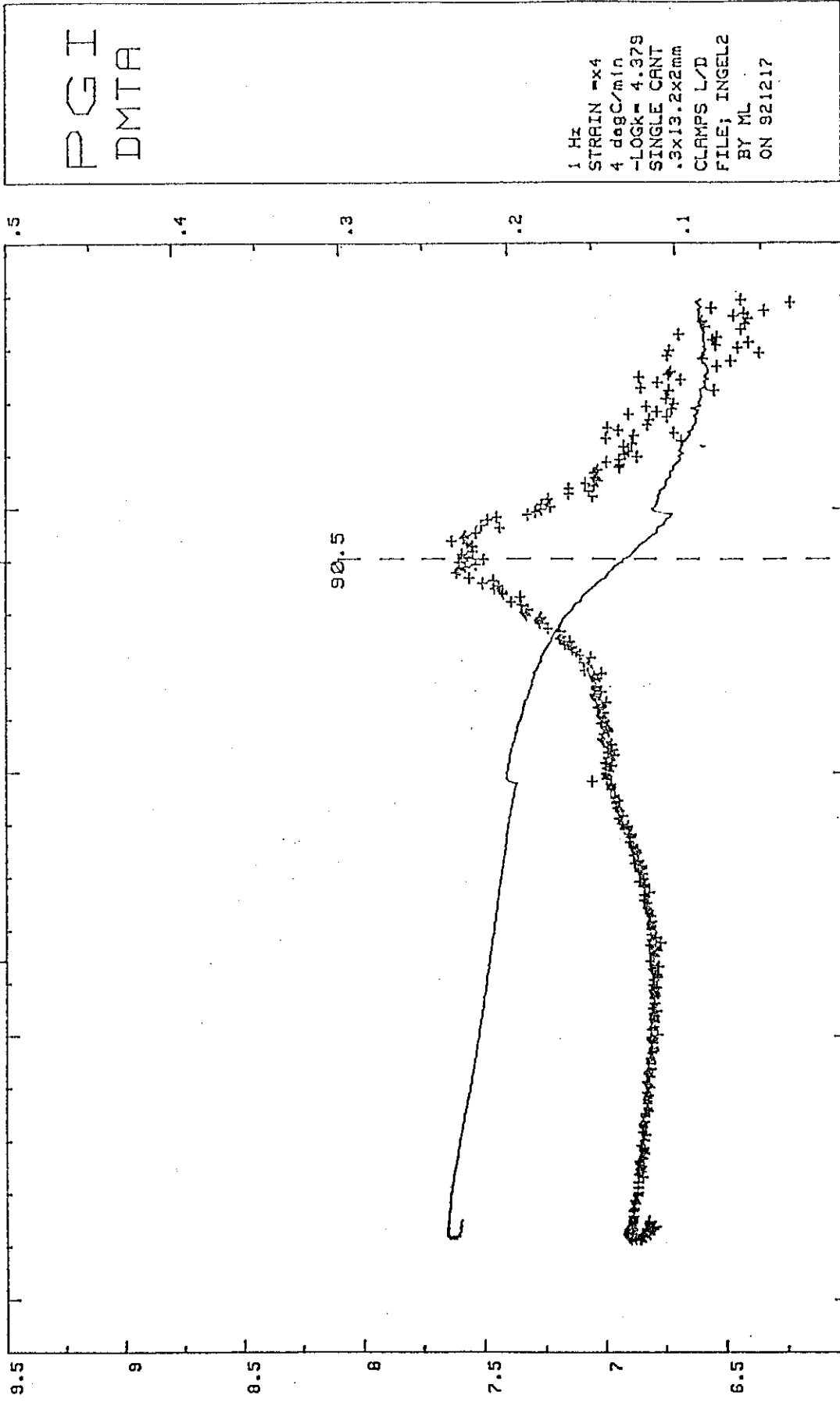
1 Hz
STRAIN =x4
4 degC/min
LOGk= 4.338
SINGLE CANT
.31x13.2x2mm
CLAMPS L/D
FILE; INGEL1
BY ML
ON 921216

INGELSTAD PROV 1
12 LAGER TVARS

tan δ

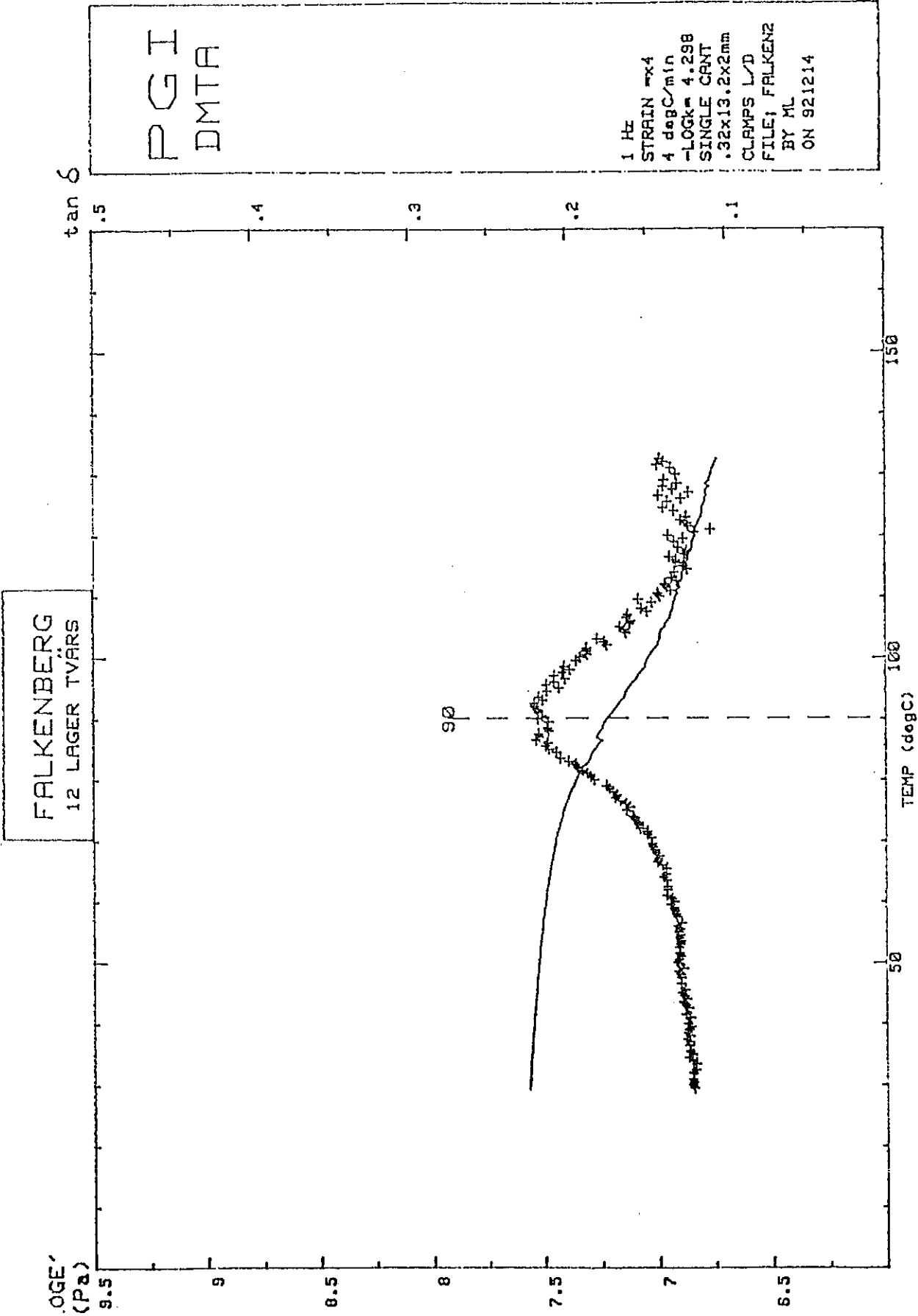
LOGE'
(Pa)

tan δ

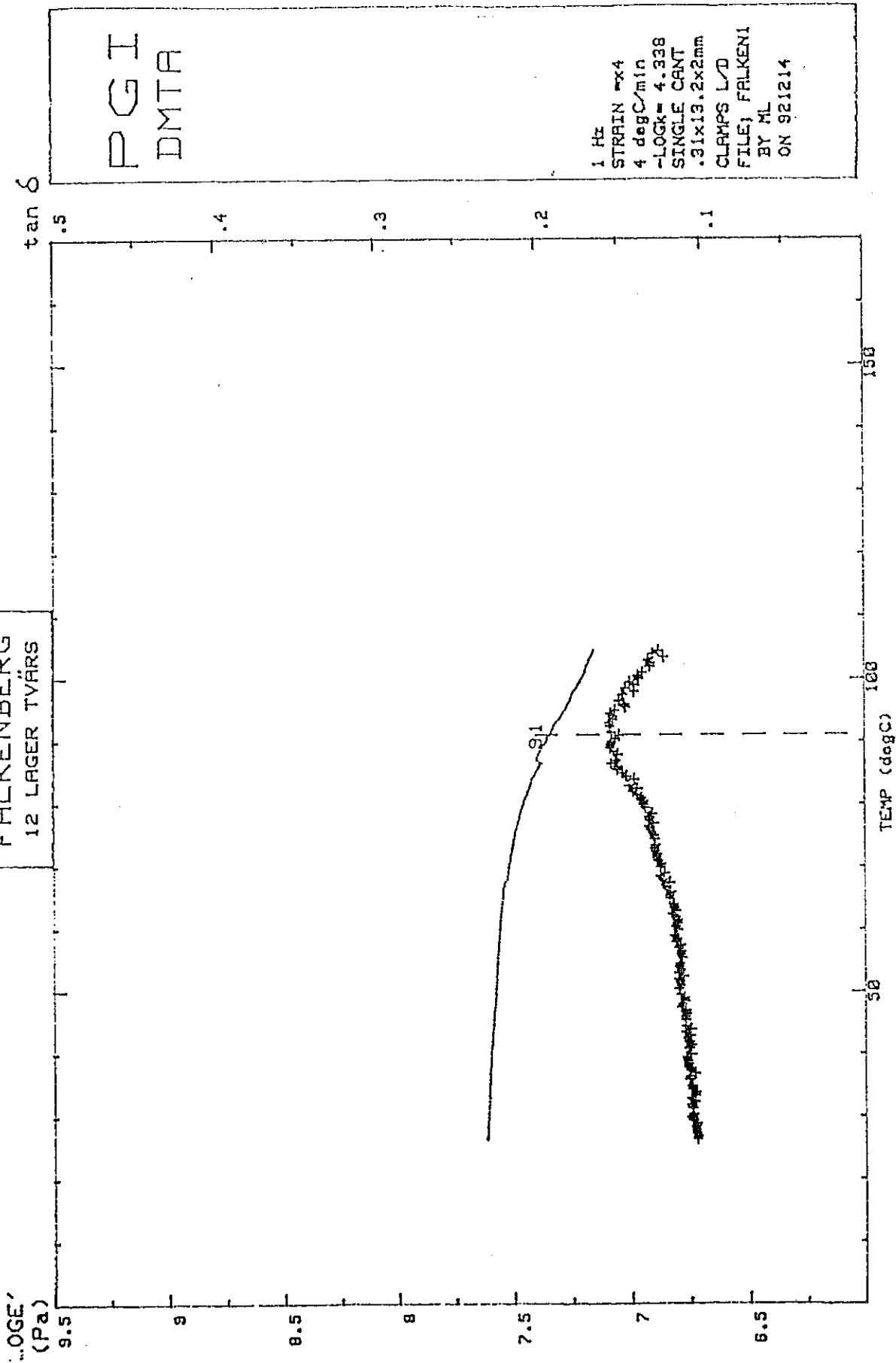


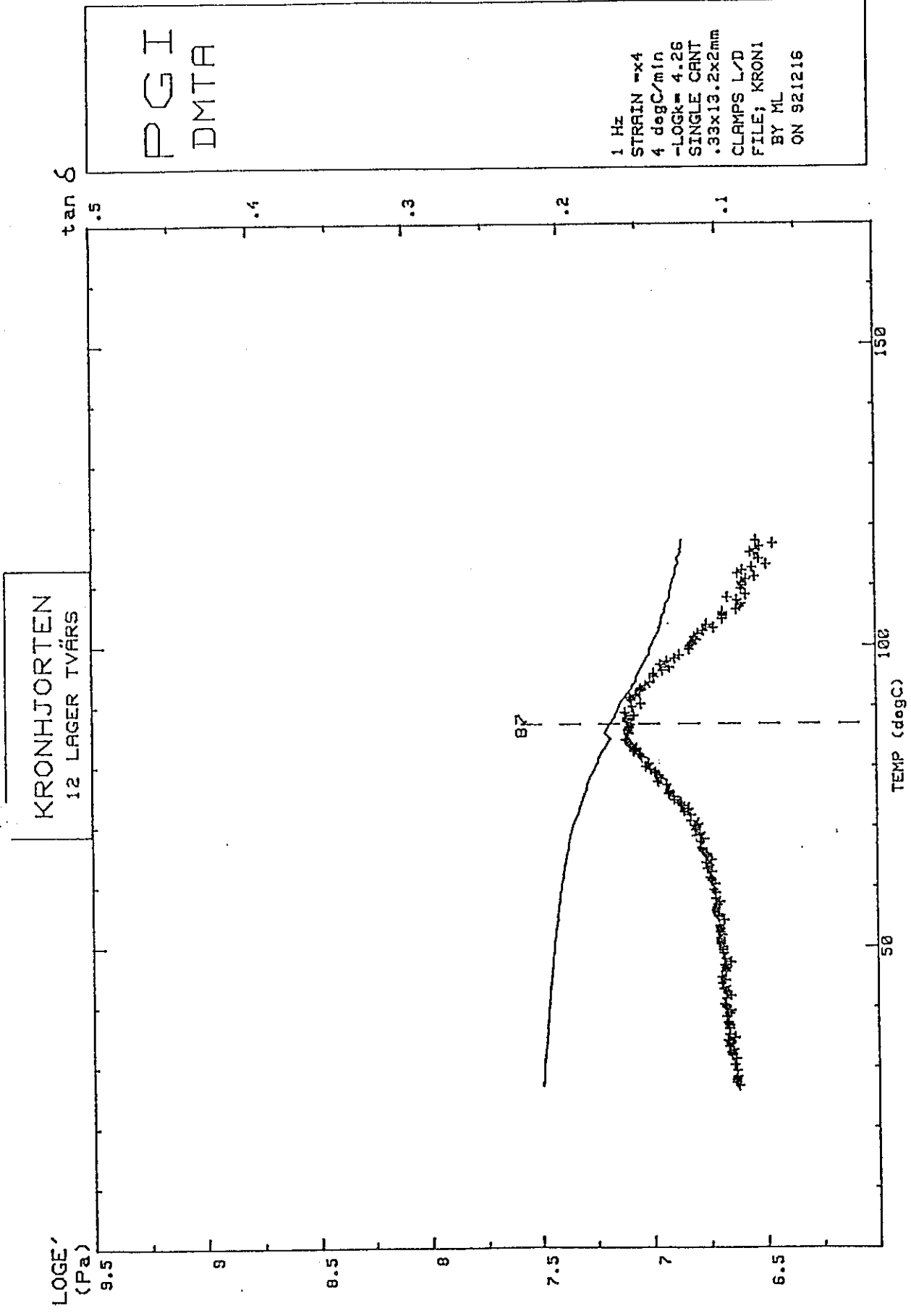
PGI
DMTA

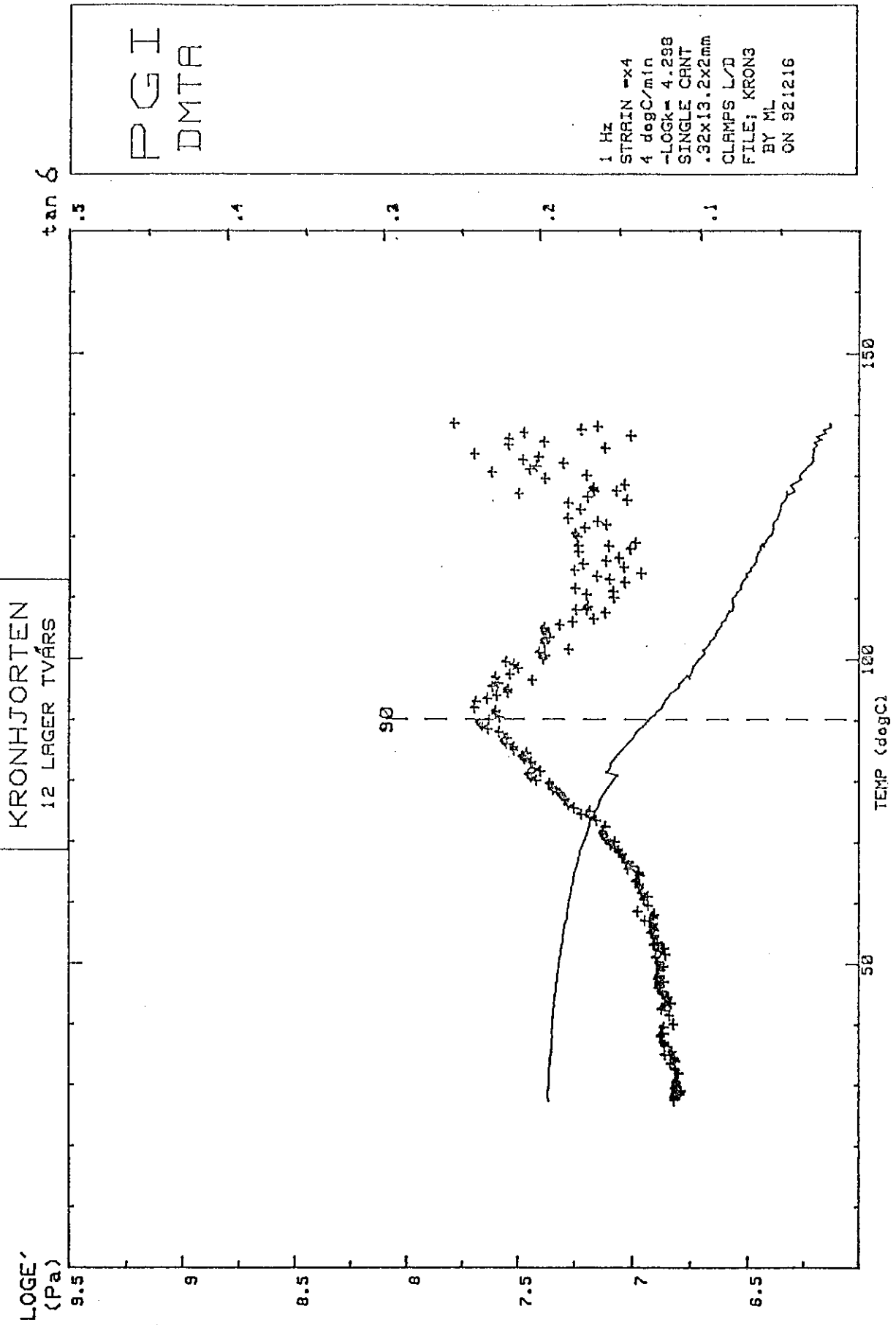
1 Hz
STRAIN = x4
4 degC/min
-LOGK = 4.379
SINGLE CANT
.3x13.2x2mm
CLAMPS L/D
FILE; INGEL2
BY ML
ON 921217

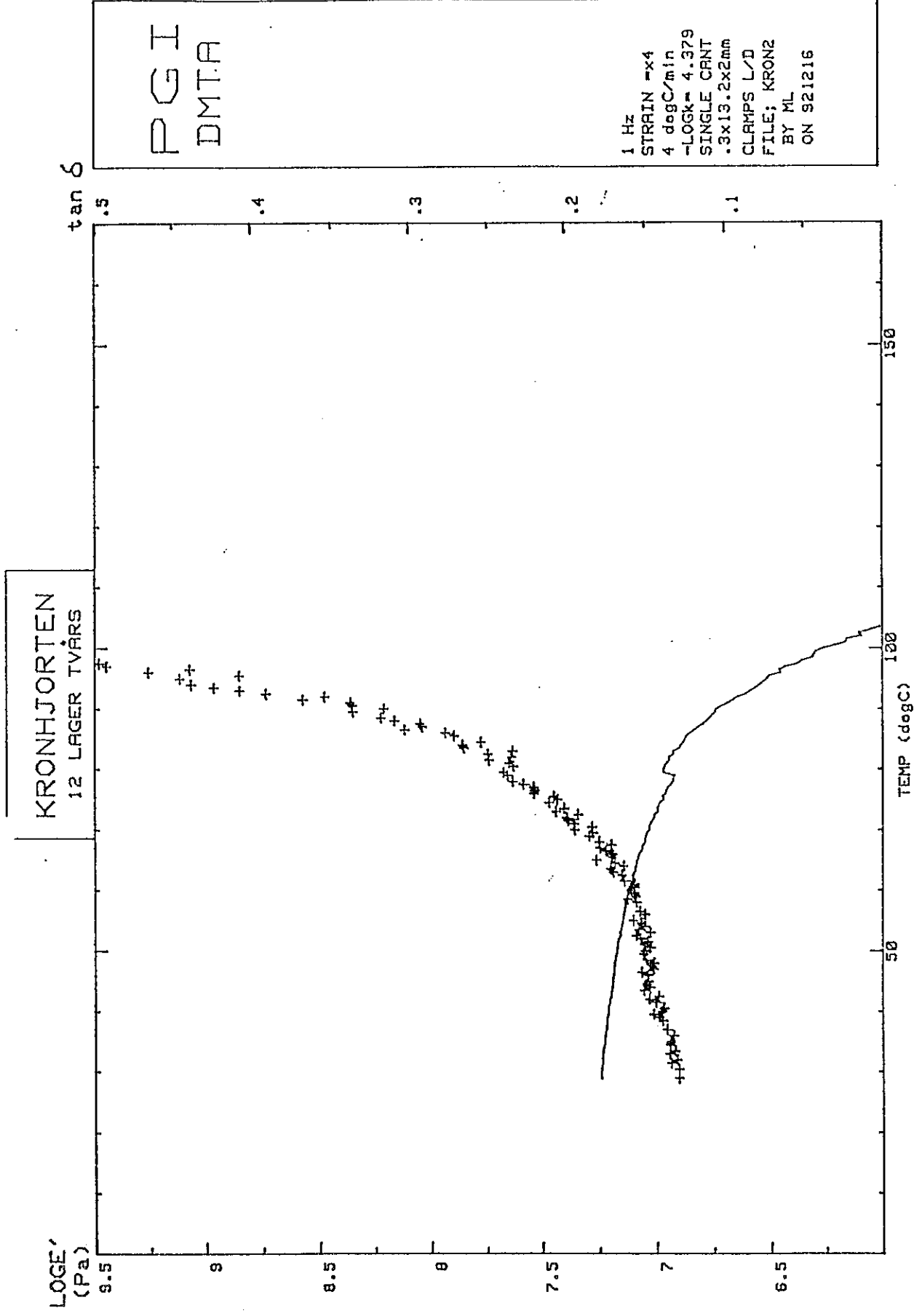


FALKENBERG
12 LAGER TVÄRS

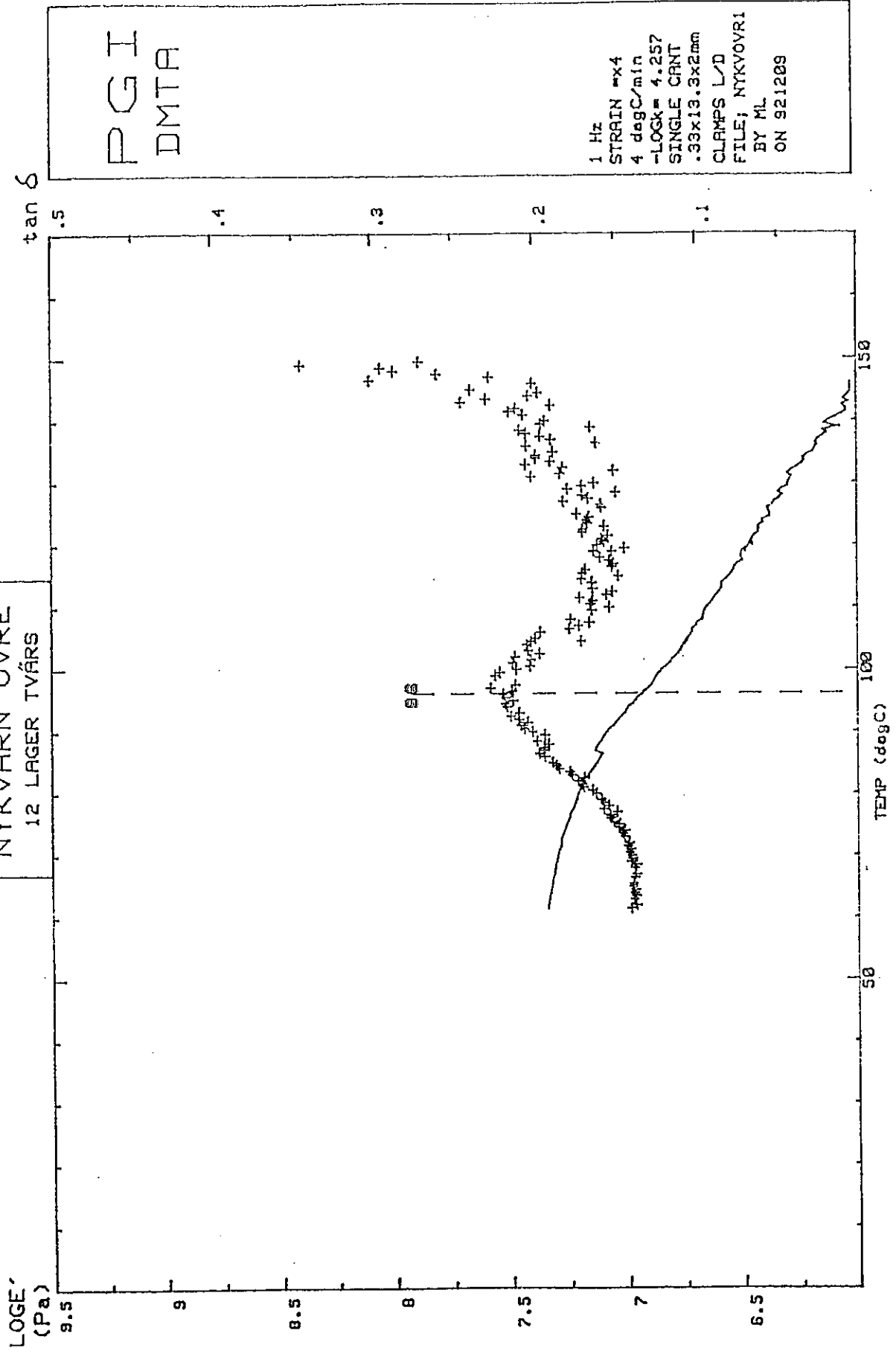








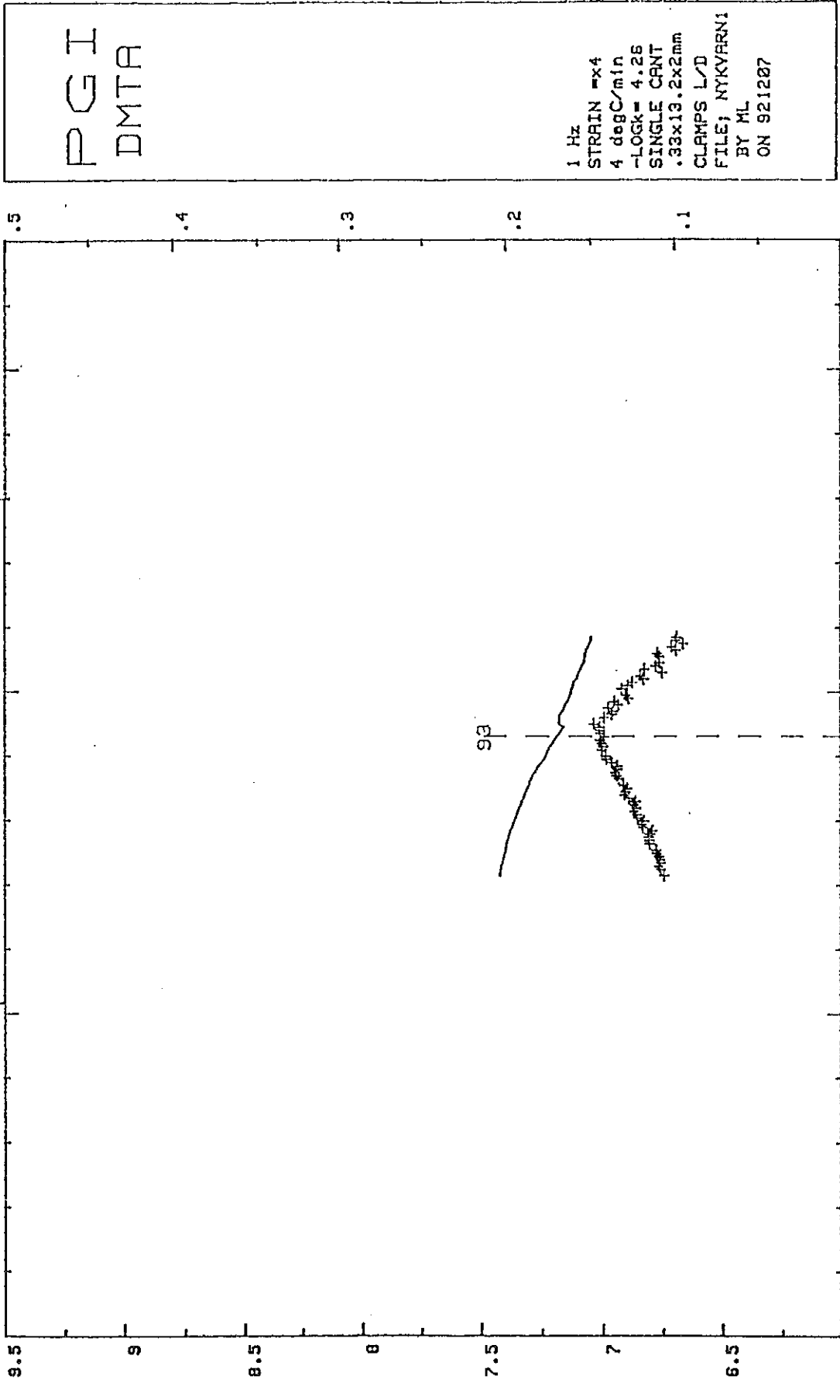
NYKVARN ÖVRE
12 LAGER TVÄRS

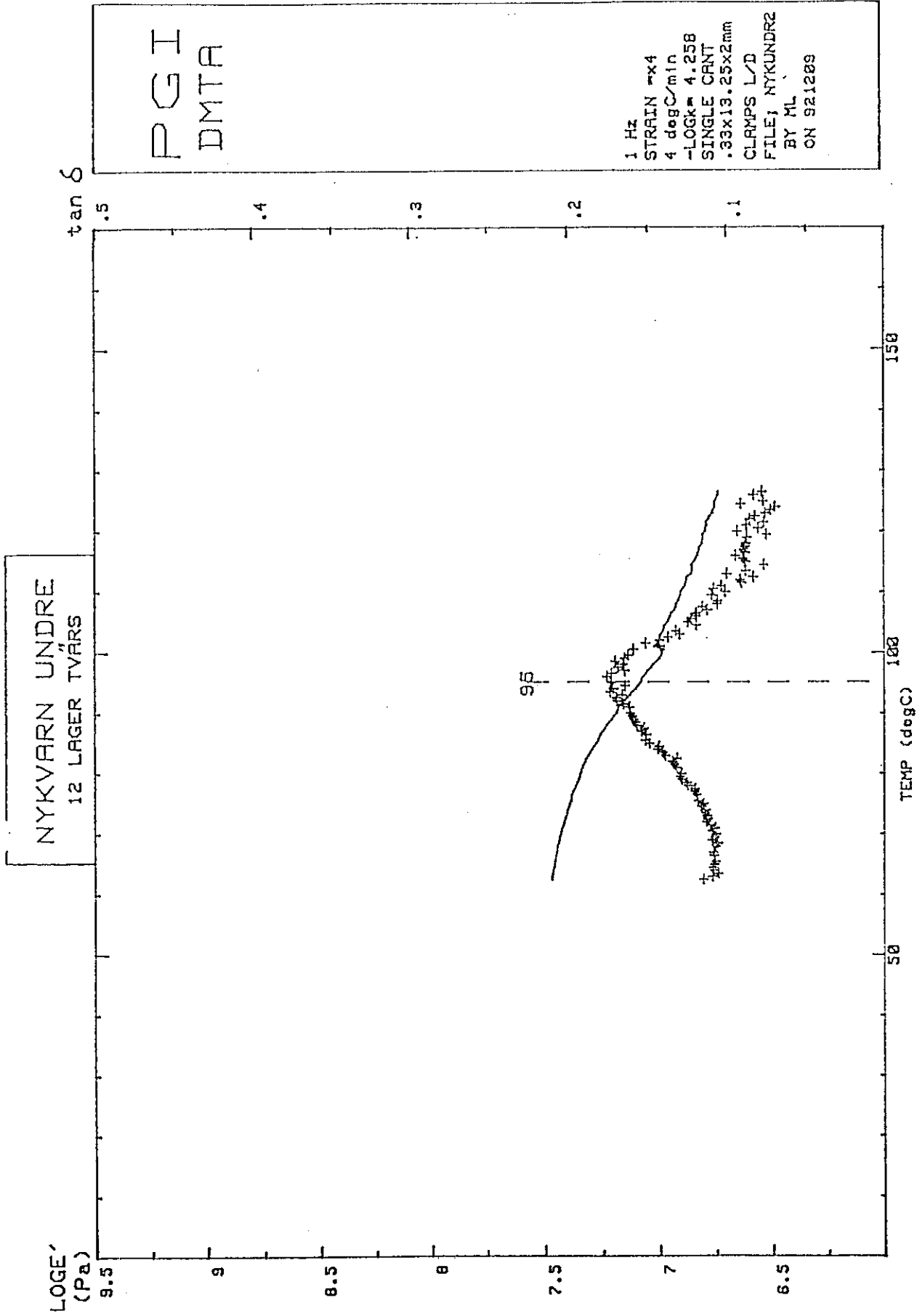


NYKVARN YTTRE (TVÄRS)
12 LAGER

LOGE'
(Pa)

tan δ

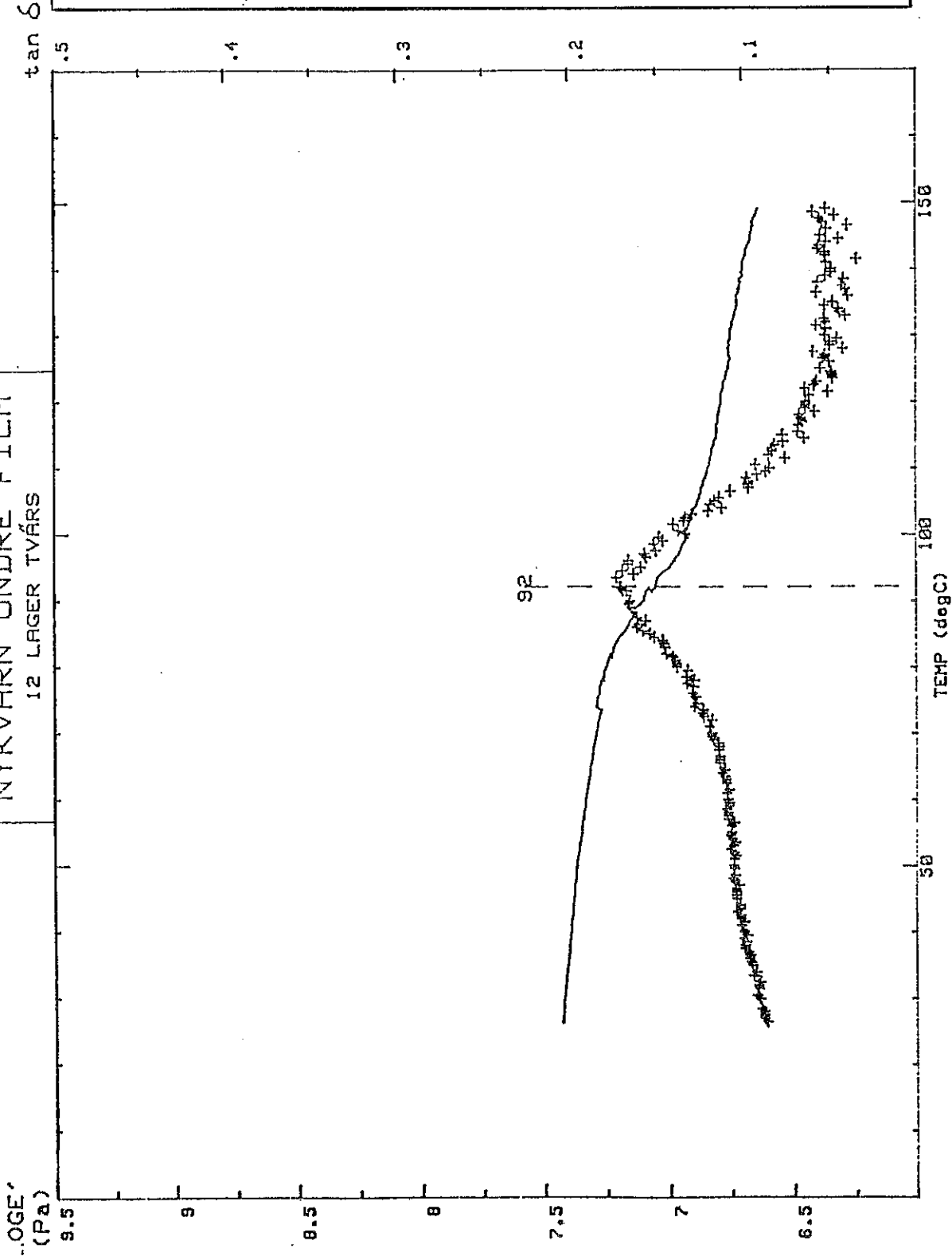


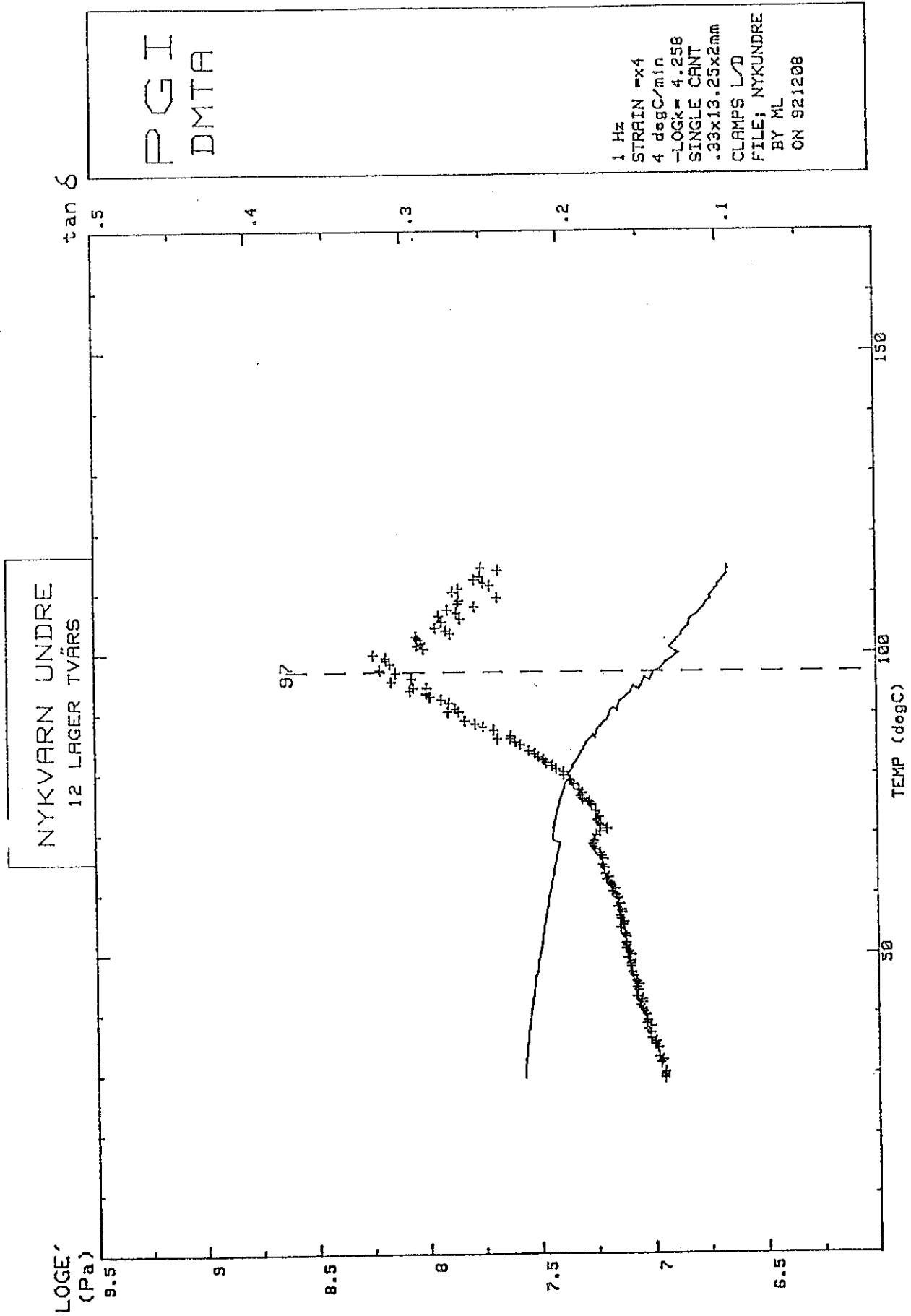


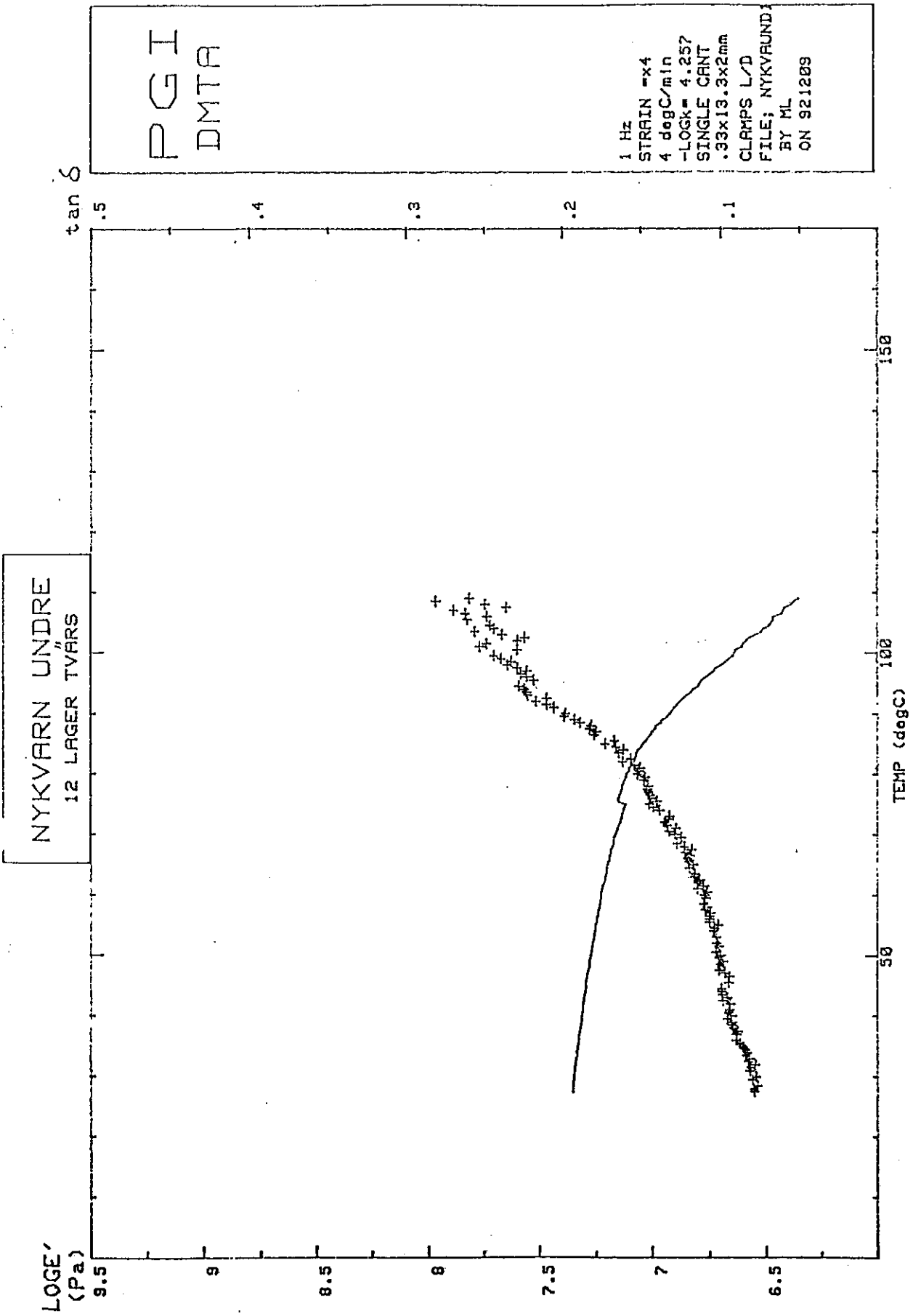
NYKVARN UNDER FILM
12 LAGER TVÁRS

PGI
DMTA

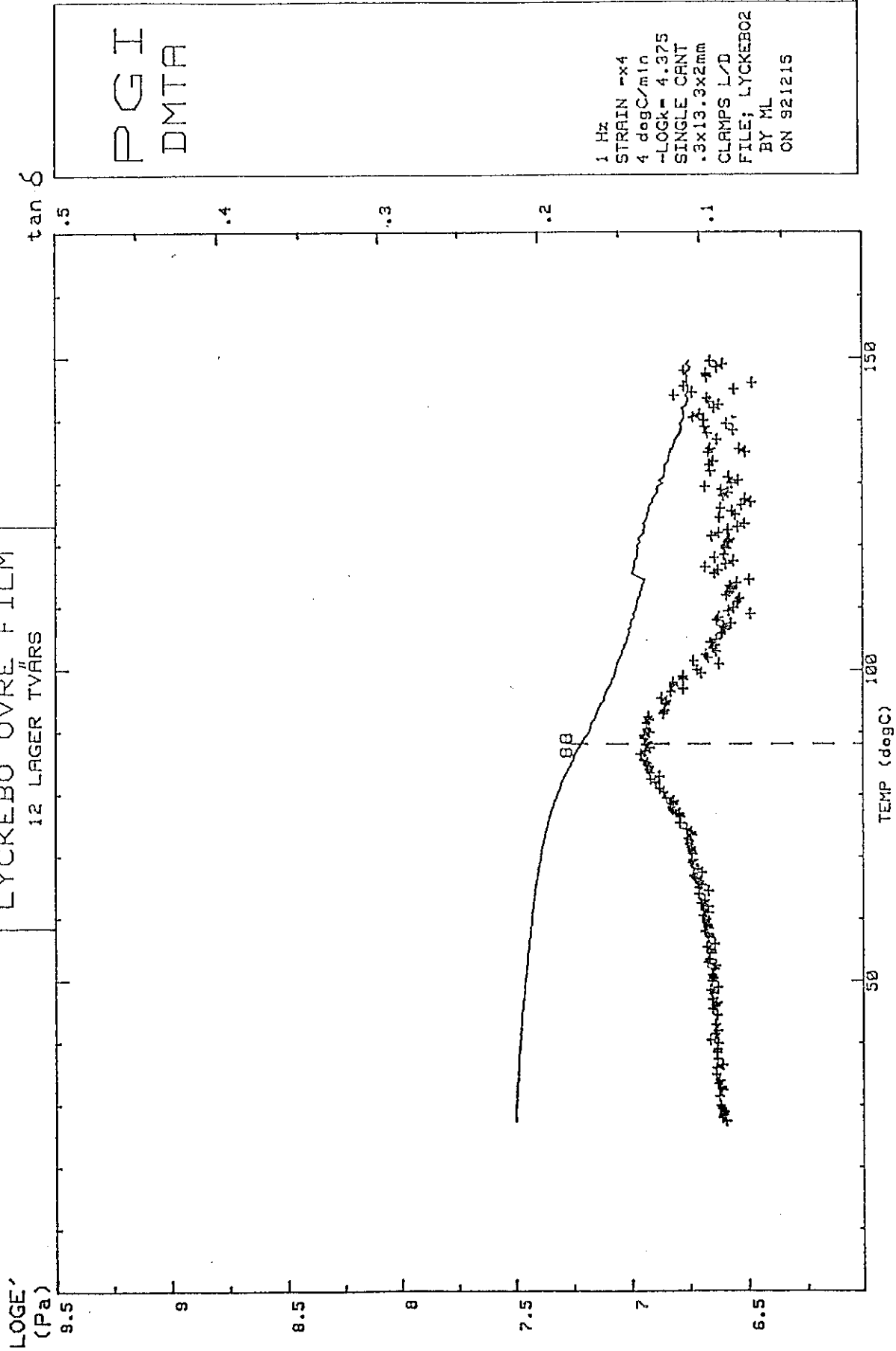
1 Hz
STRAIN =x4
4 degC/min
-LOGk= 4.184
SINGLE CANT
.35x13.3x2mm
CLAMPS L/D
FILE: NYKVUN1
BY ML
ON 921281

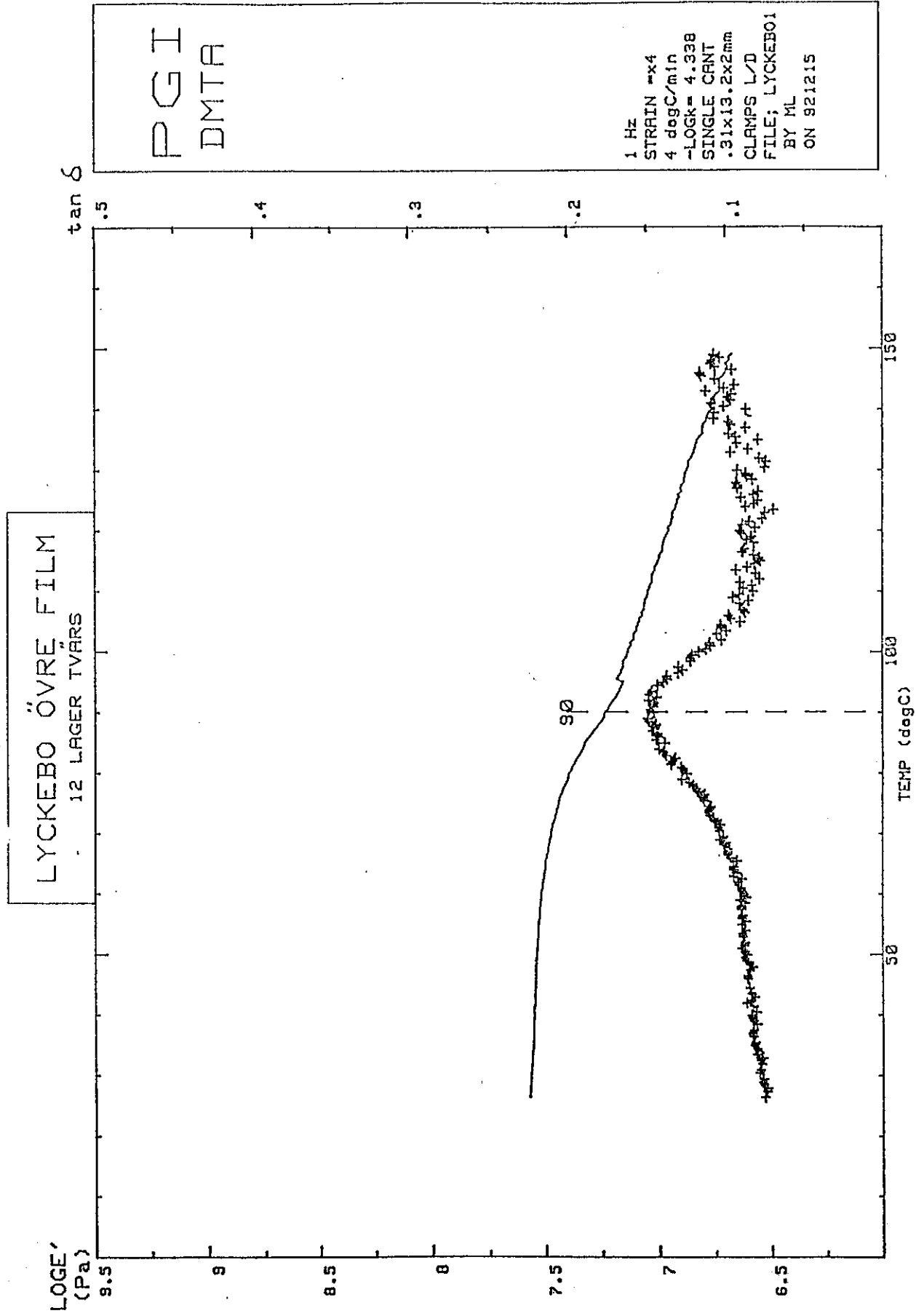






LYCKEBO "ÖVRE FILM"
12 LAGER TVÄRS

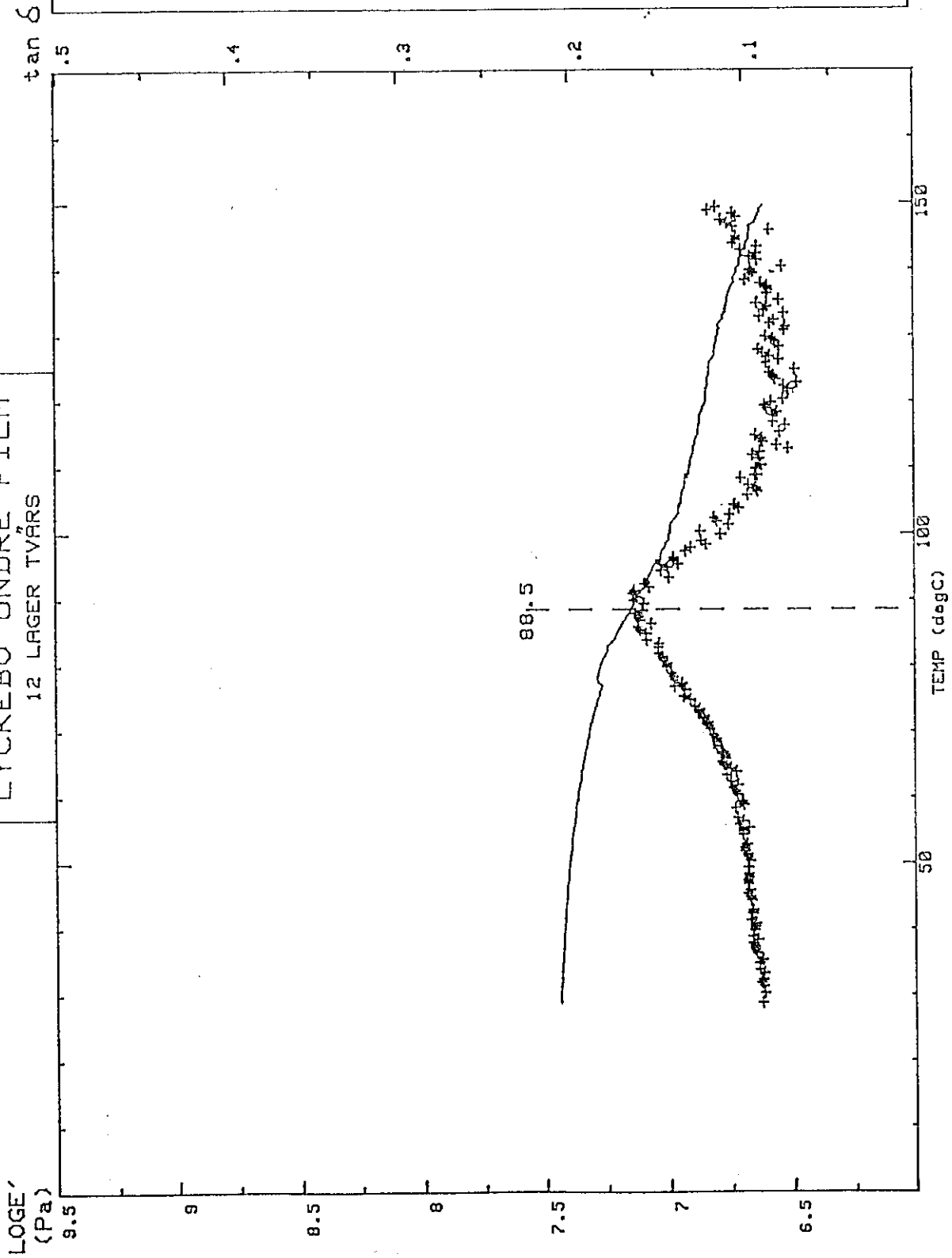


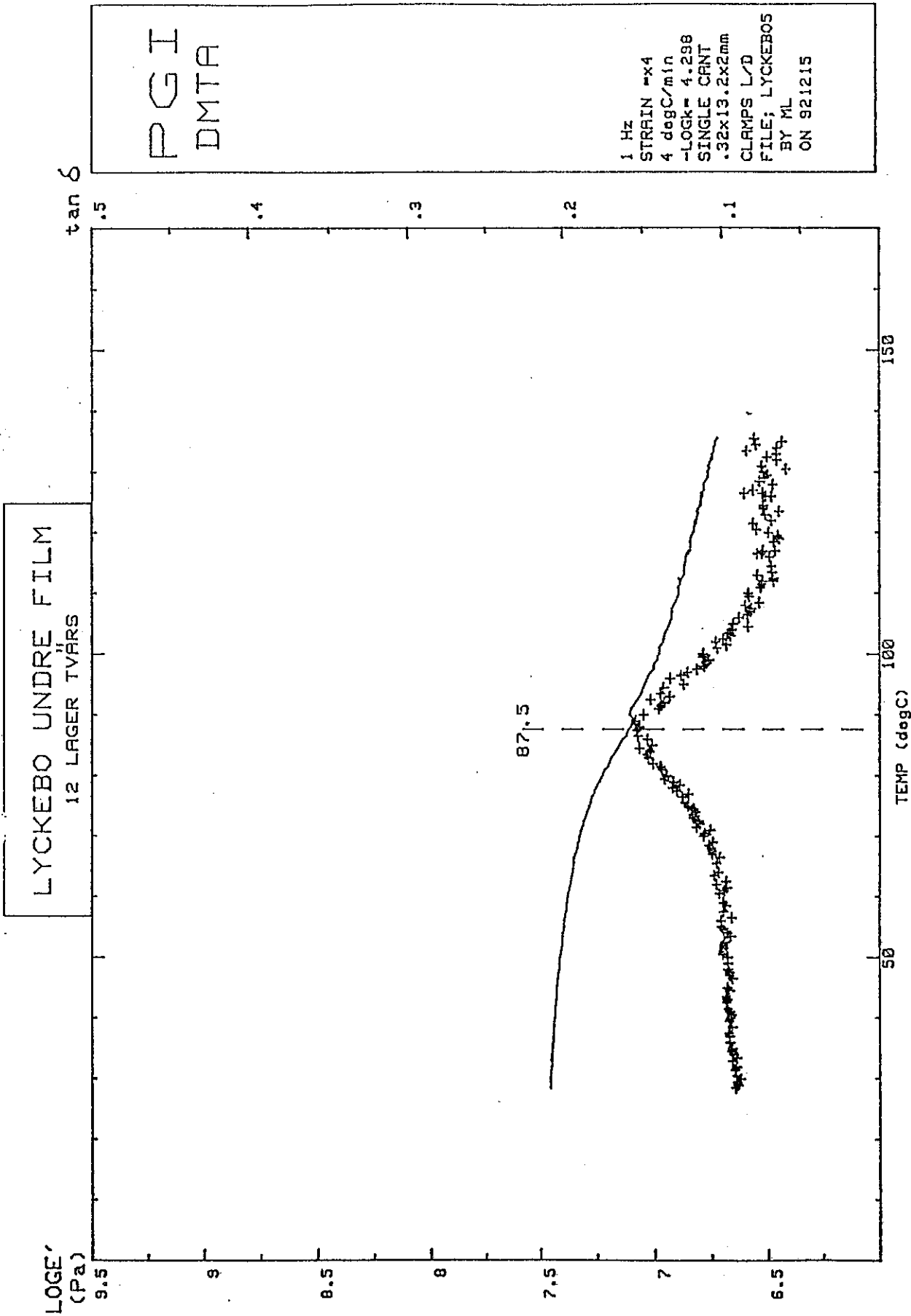


LYCKEBO UNDERE FILM
12 LAGER TVÄRS

PGI
DMTA

1 Hz
STRAIN -x4
4 degC/min
-LOGk = 4.298
SINGLE CANT
.32x13.2x2mm
CLAMPS L/D
FILE; LUCKE03
BY ML
ON 921215





DSC Data File: sp03

Sample Weight: 9.500 mg

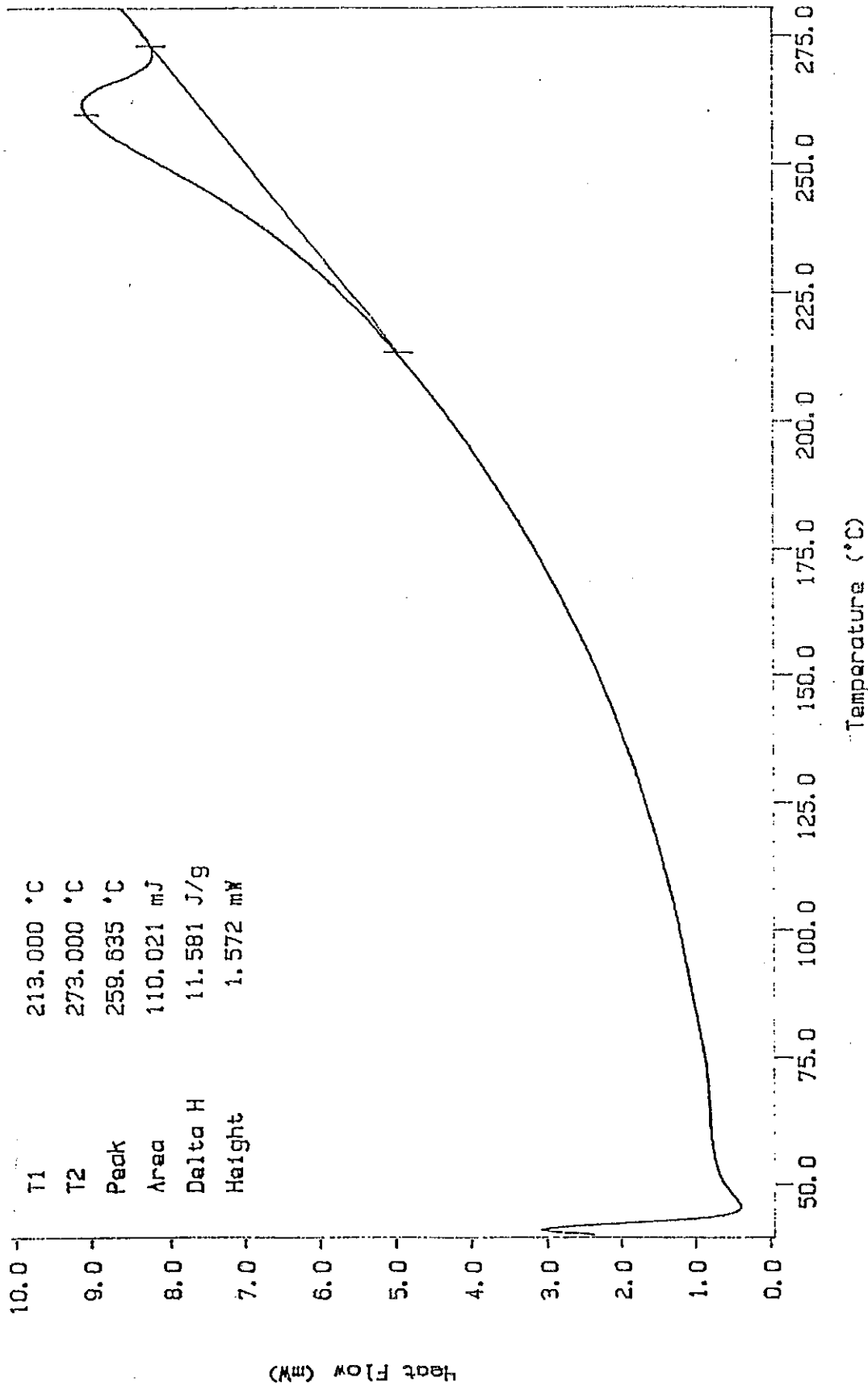
Wed Dec 02 15:22:36 1992

FEP 2000 A

PERKIN-ELMER

7 Series Thermal Analysis System

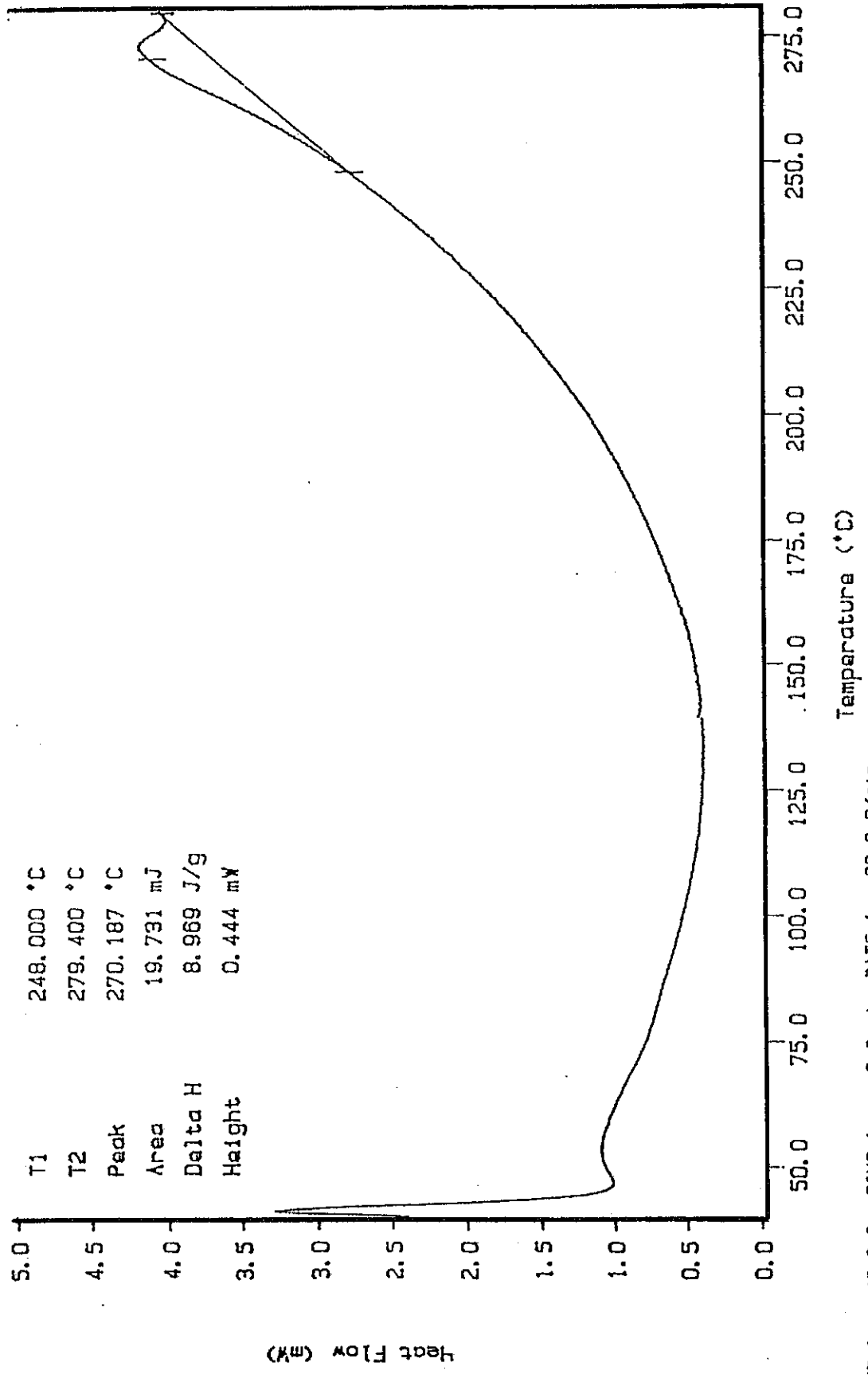
FEP 2000A



TEMP 1: 40.0 °C
TEMP 2: 280.0 °C
TIME 1: 0.0 min
RATE 1: 20.0 °C/min

DSC Data File: sp05
Sample Weight: 2.200 mg
Wed Dec 02 16:09:38 1992
FEP 100A

PERKIN-ELMER
7 Series Thermal Analysis System
FEP 100A



DSC Data File: sp02
Sample Weight: 13.900 mg
Wed Dec 02 14:33:23 1992

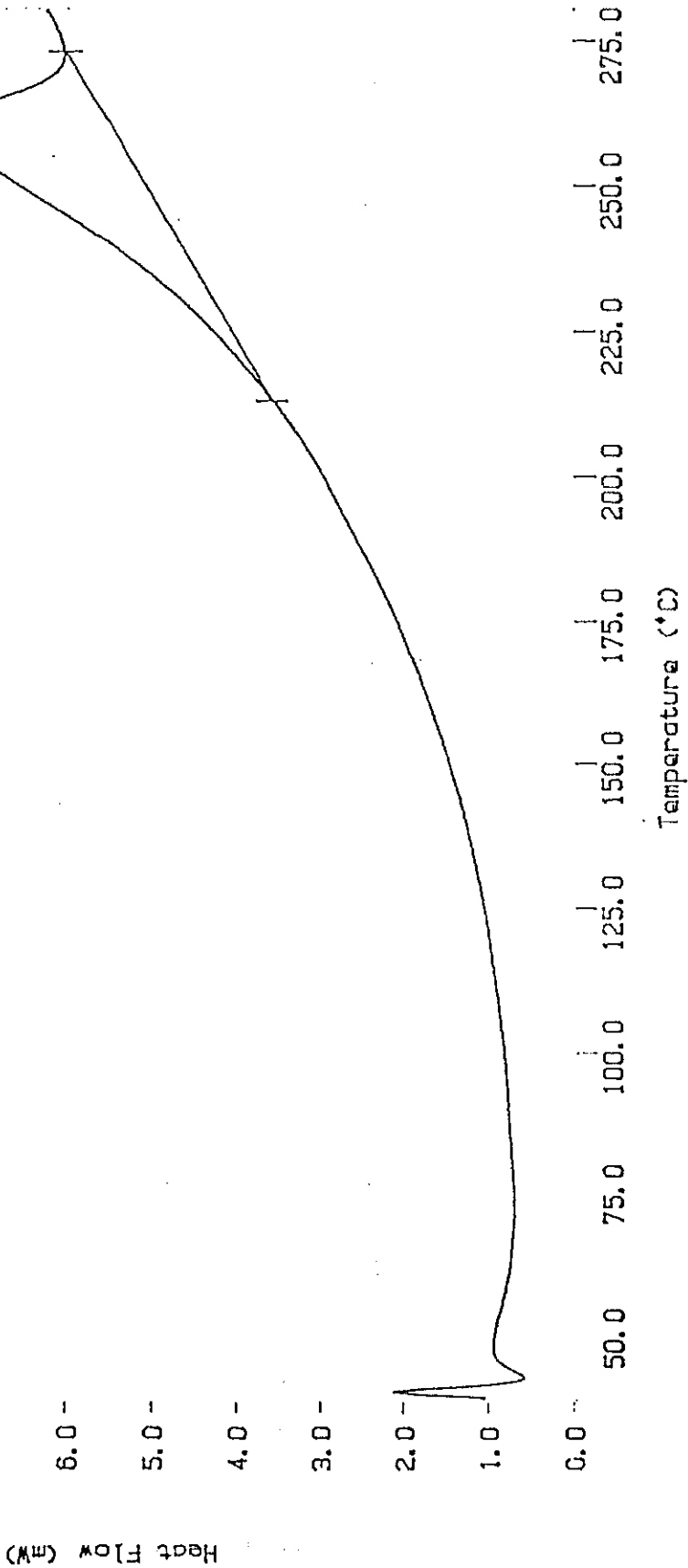
PERKIN-ELMER

7 Series Thermal Analysis System

FEP 3000L

FEP 3000L

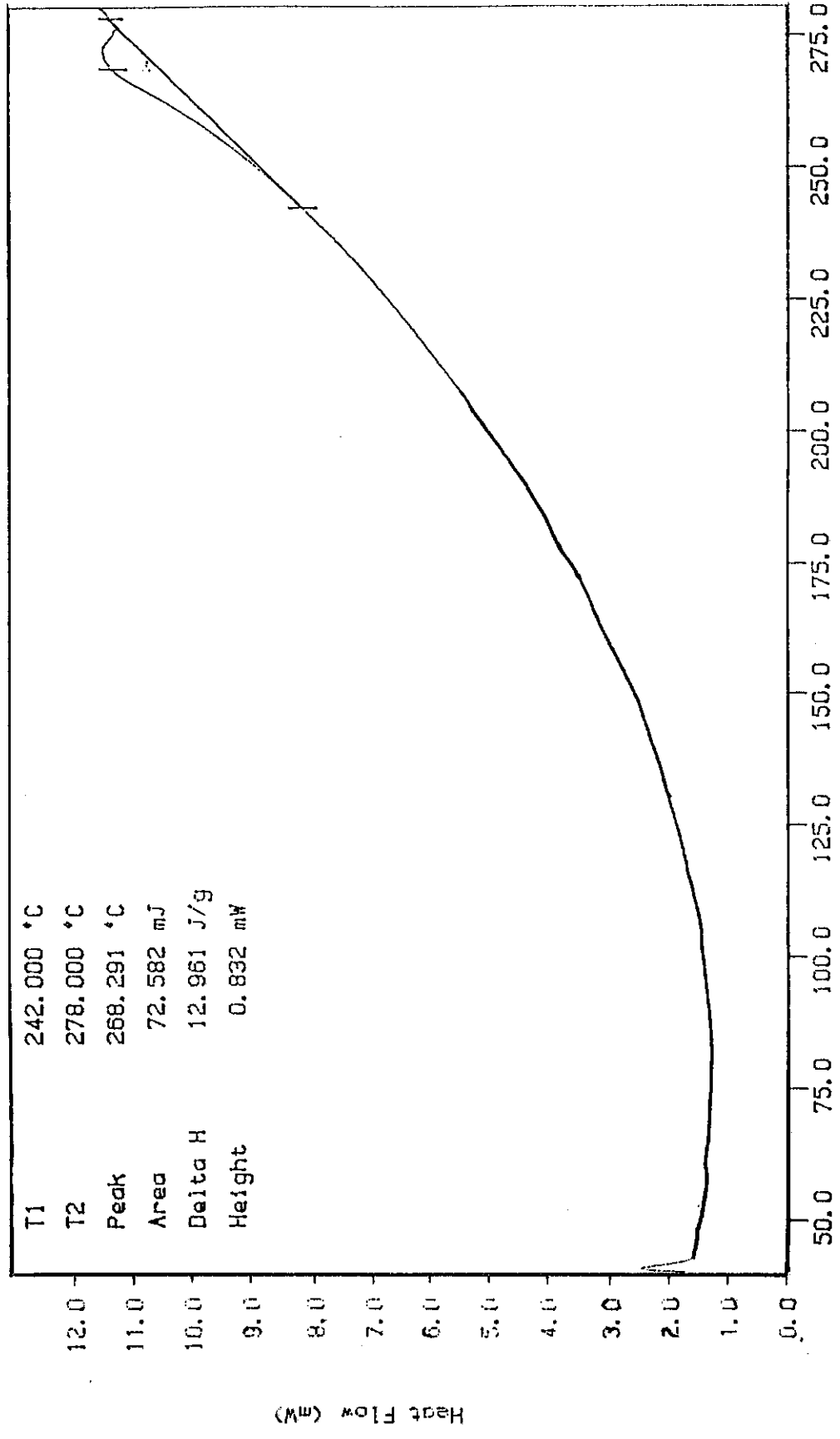
10.0 -	T1	212.800 °C
9.0 -	T2	272.800 °C
	Peak	258.876 °C
8.0 -	Area	142.755 mJ
	Delta H	10.270 J/g
7.0 -	Height	1.839 mV



Bilaga 4

DSC Data File: sp08
Sample Weight: 5.600 mg
Tue Dec 08 10:25:50 1992
NYKVARN

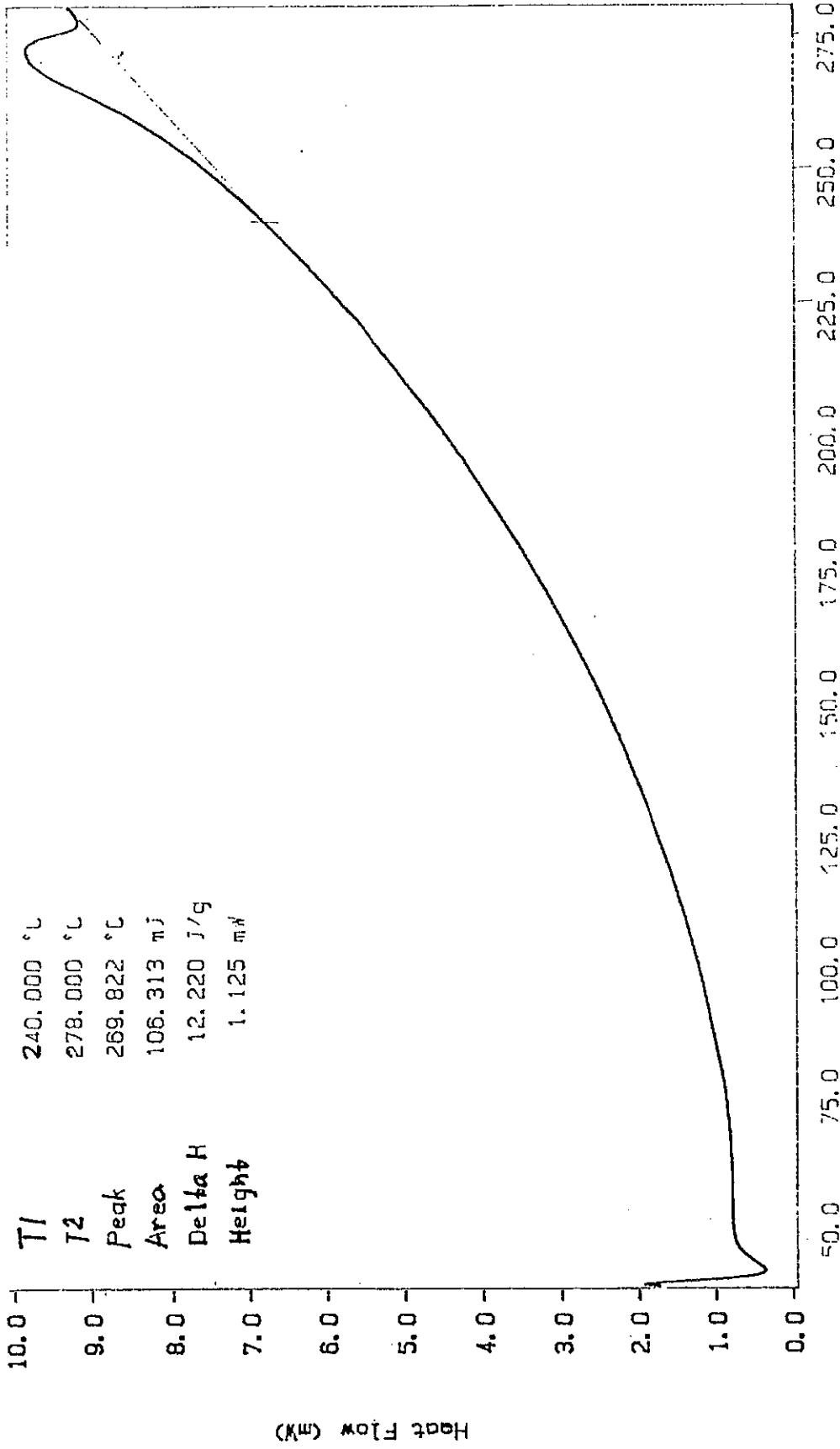
PERKIN-ELMER
7 Series Thermal Analysis System
Nykvam inc



Temperature (°C)

undre
TEMP 1: 40.0 °C
TEMP 2: 260.0 °C
TIME 1: 0.0 min RATE 1: 10.0 °C/min

DSC Data File: ep06
 Sample Weight: 8.700 mg
 Fri Dec 04 16:22:10 1992
 NYKVARN
 P RAIN ---MLR
 / Services Thermochemical Analysis S/S/SCM
 Nykvärn ytre



T1	240.000 °C
T2	278.000 °C
Peak	269.822 °C
Area	106.313 mJ
Delta H	12.220 J/g
Height	1.125 mW

over
 TEMP 1: 40.0 C
 TEMP 2: 280.0 C
 TIME 1: 0.0 min
 RATE 1: 10.0 C/min
 Temperature (°C)

DSC Data File: ep04

Sample Weight: 8.100 mg

Fri Dec 04 15:32:59 1992

TT-HT-ep

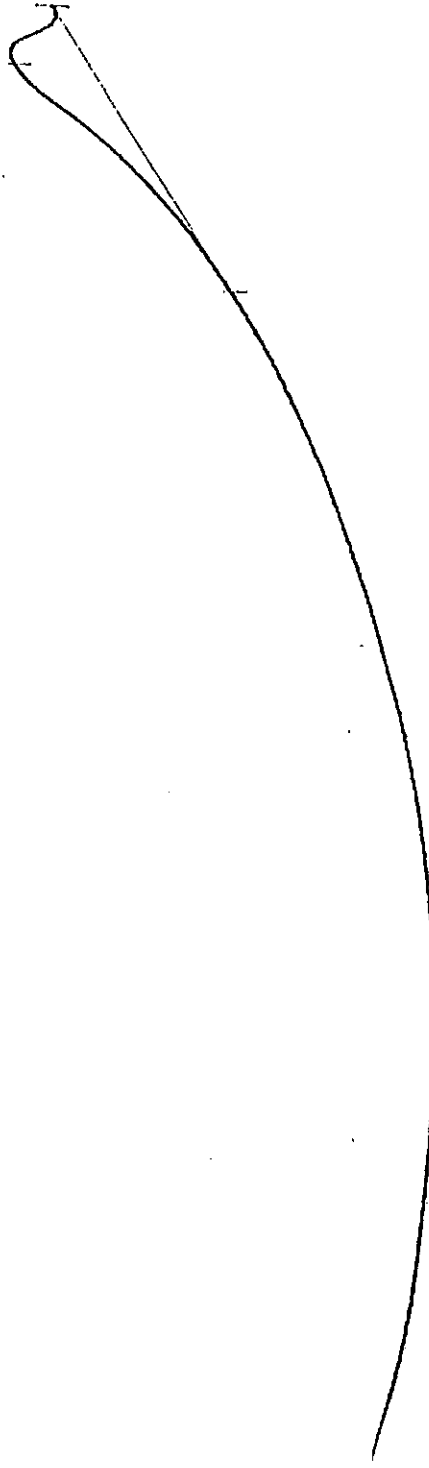
P_RKIN --M_R

7 Series Thermal (7C) / s's S/sem

SP(TT-HT)

T1	235.000 °C
T2	280.000 °C
Peak	270.064 °C
Area	84.444 mJ
Delta H	10.425 J/g
Height	0.794 mW

Heat Flow (mW)



TEMP 1: 40.0 °C TIME 1: 0.0 min RATE 1: 10.0 °C/min
 TEMP 2: 280.0 °C

Temperature (°C)

DSC Data File: ep07

Sample Weight: 6.600 mg

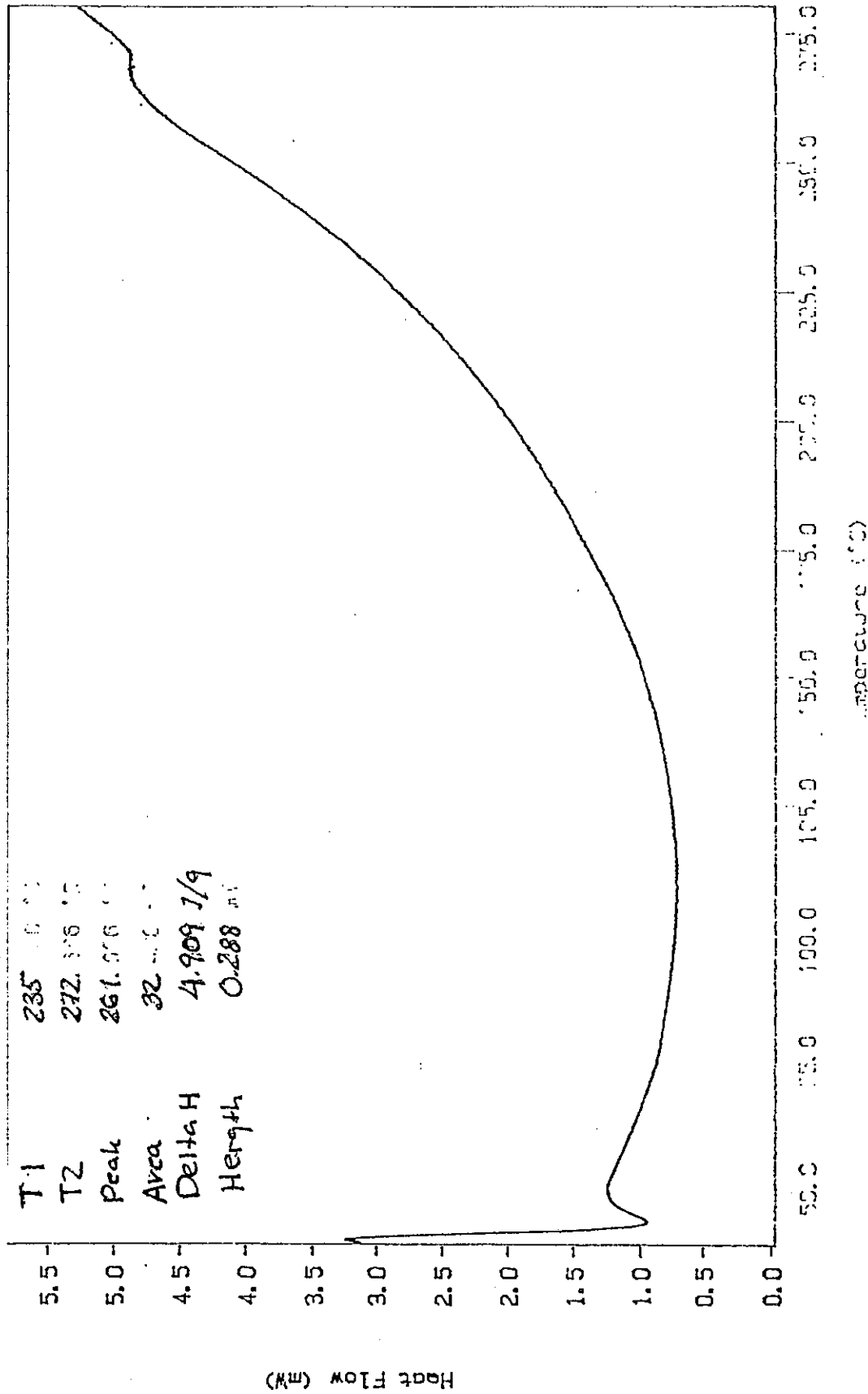
Fri Dec 04 17:11:57 1992

SMUTSIG FILM

1992-12-04

PERKINS TECHNOLOGY ANALYSIS SYSTEM

Ingested

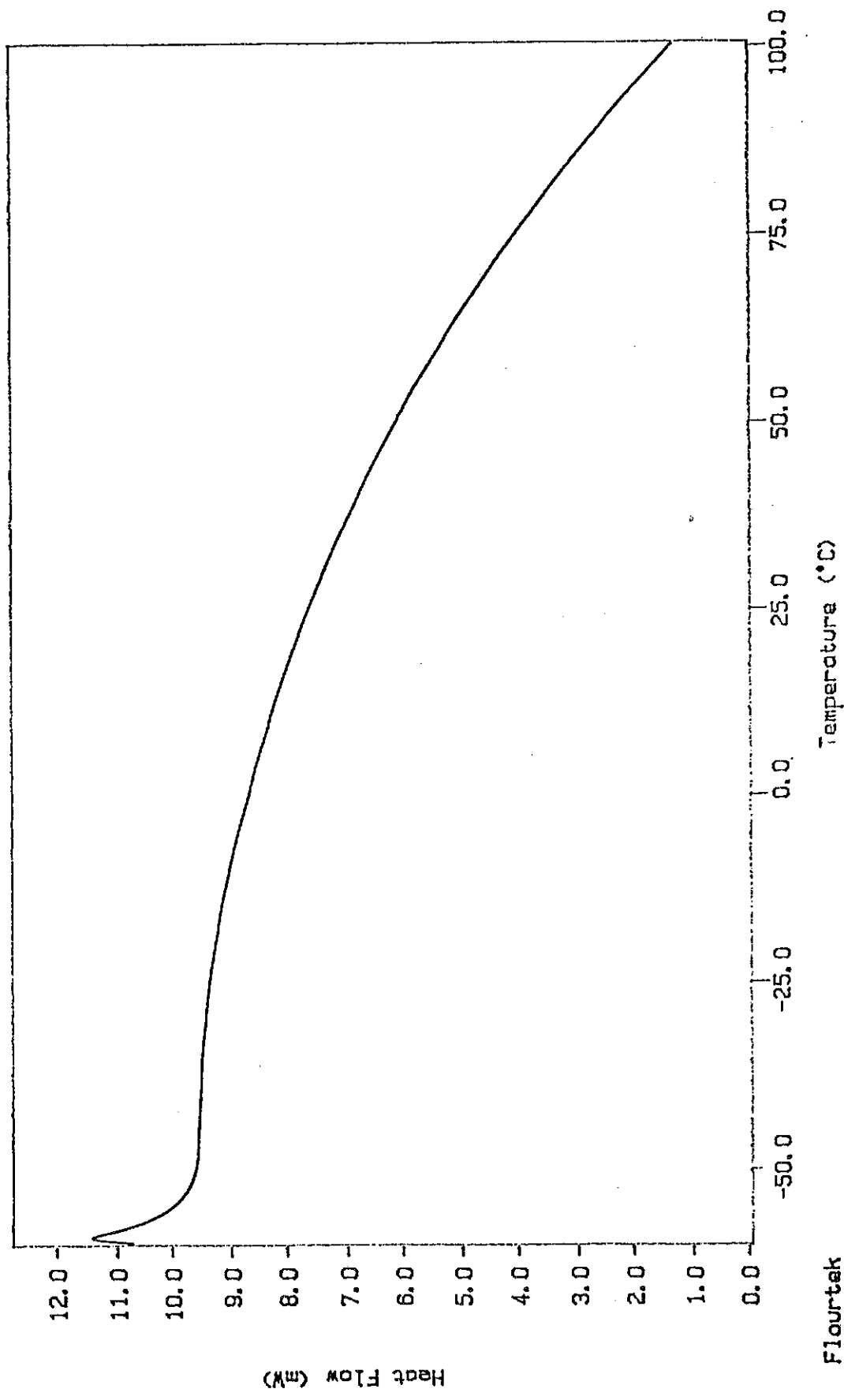


TEMP 1: 40.0 C TIME 1: 0.0 min RATE 1: 10.0 C/min

TEMP 2: 280.0 C

Bilaga 45

DSC Data File: sp53
Sample Weight: 9.500 mg
Wed Jan 13 16:55:00 1993
SP prov 3
PERKIN-ELMER
7 Series Thermal Analysis System
FFP 100A SP prov 3



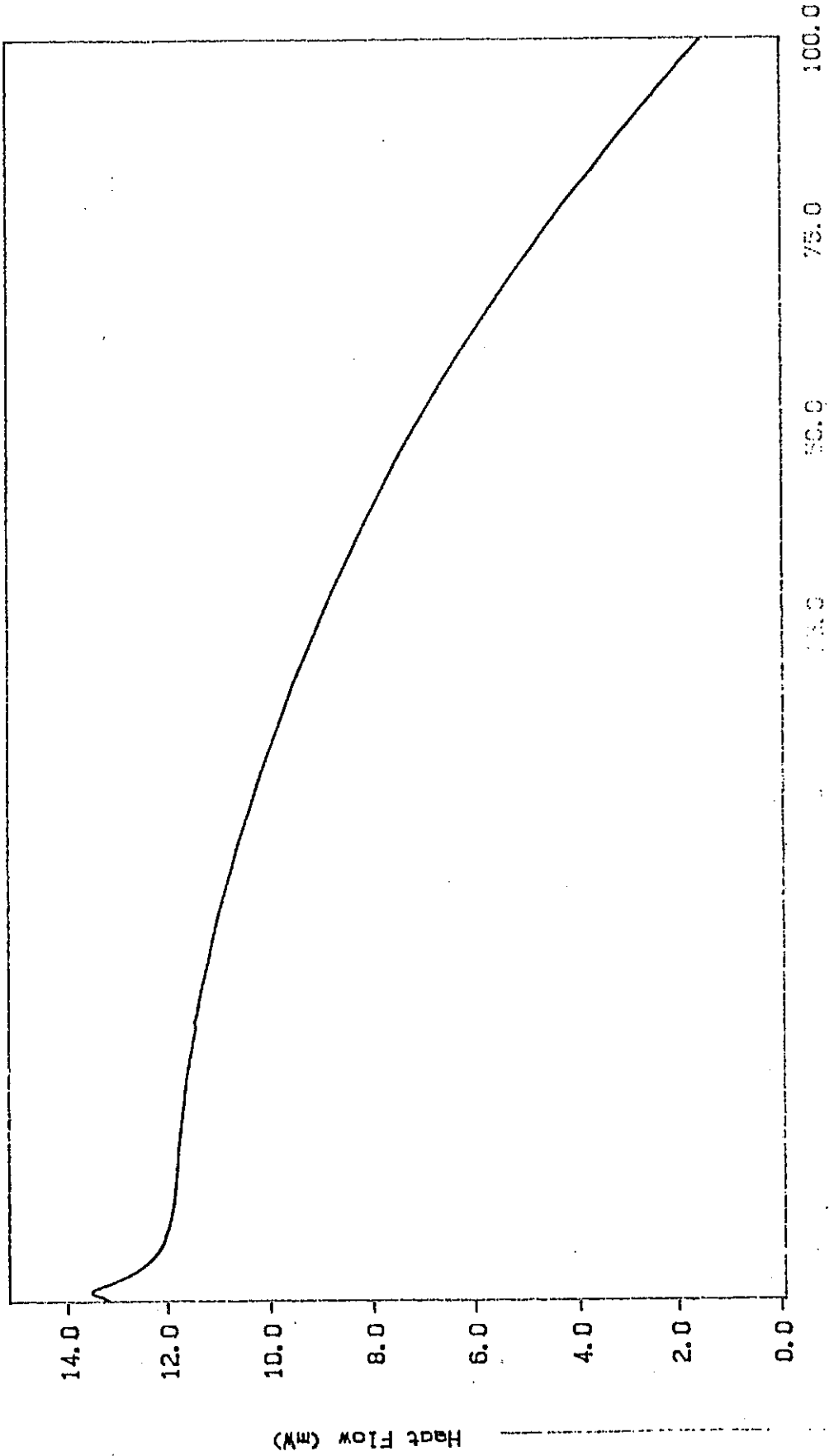
Flourtek
TEMP 1: 100.0 C
TEMP 2: 100.0 C
TIME 1: 0.0 min
RATE 1: 10.0 C/min

DSC Data File: sp52
Sample Weight: 8.000 mg
Wed Jan 13 16:33:06 1993
FEP

PERKIN-ELMER

7 Series Thermal Analysis System

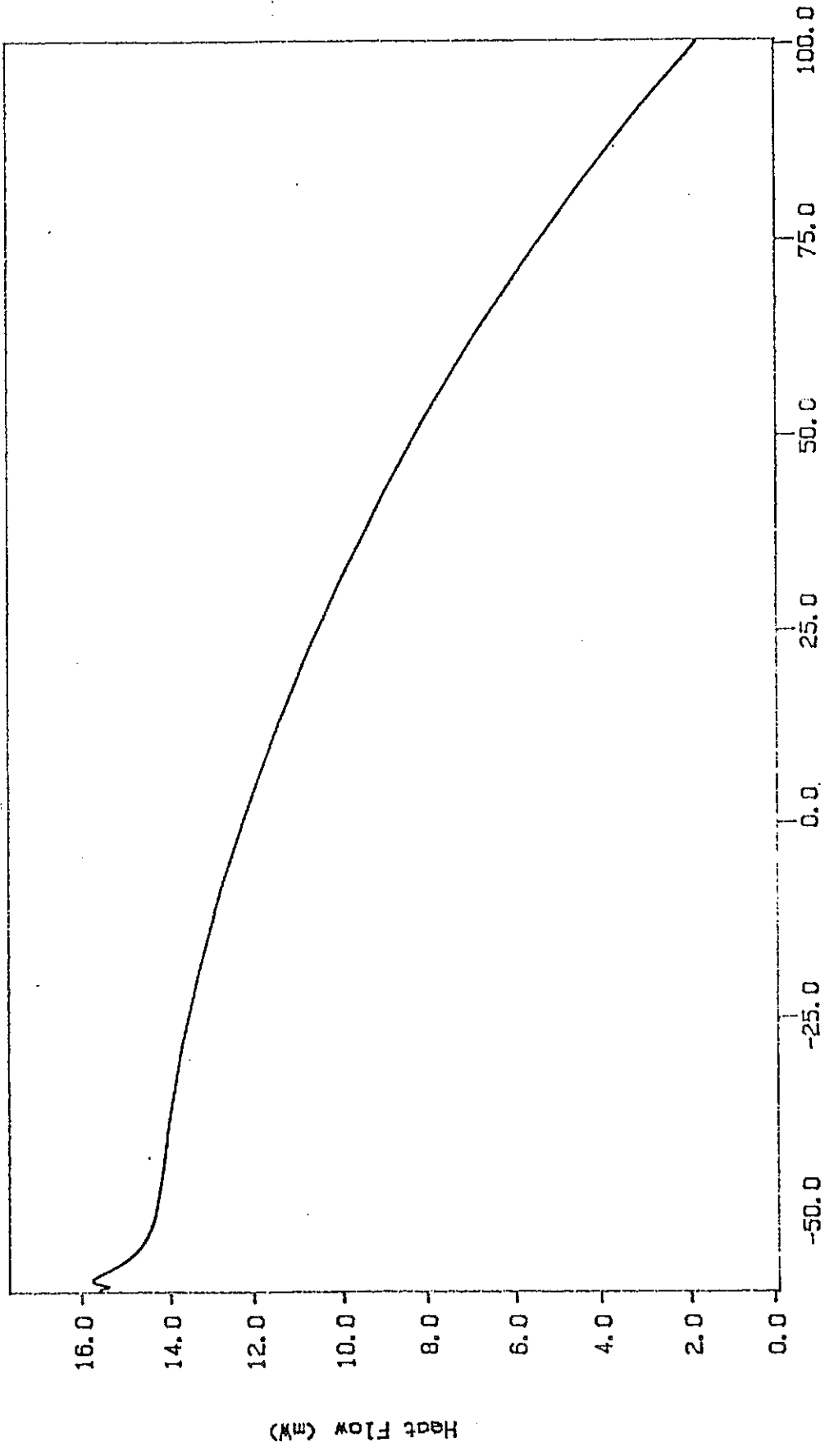
Ingestad SP prov 1.



Ingestad Temperature (°C)

TEMP 1: 60.0 C
TEMP 2: 100.0 C
TIME 1: 0.0 min RATE 1: 10.0 C/min

DSC Data File: sp51
Sample Weight: 10.600 mg
Wed Jan 13 15:56:00 1993
FEP
PERKIN-ELMER
7 Series Thermal Analysis System
SP (TT-HH) SP prov 2



Temperature (°C)

prov 2 TT-ST
TEMP 1: 60.0 C
TEMP 2: 100.0 C
TIME 1: 0.0 min
RATE 1: 10.0 C/min

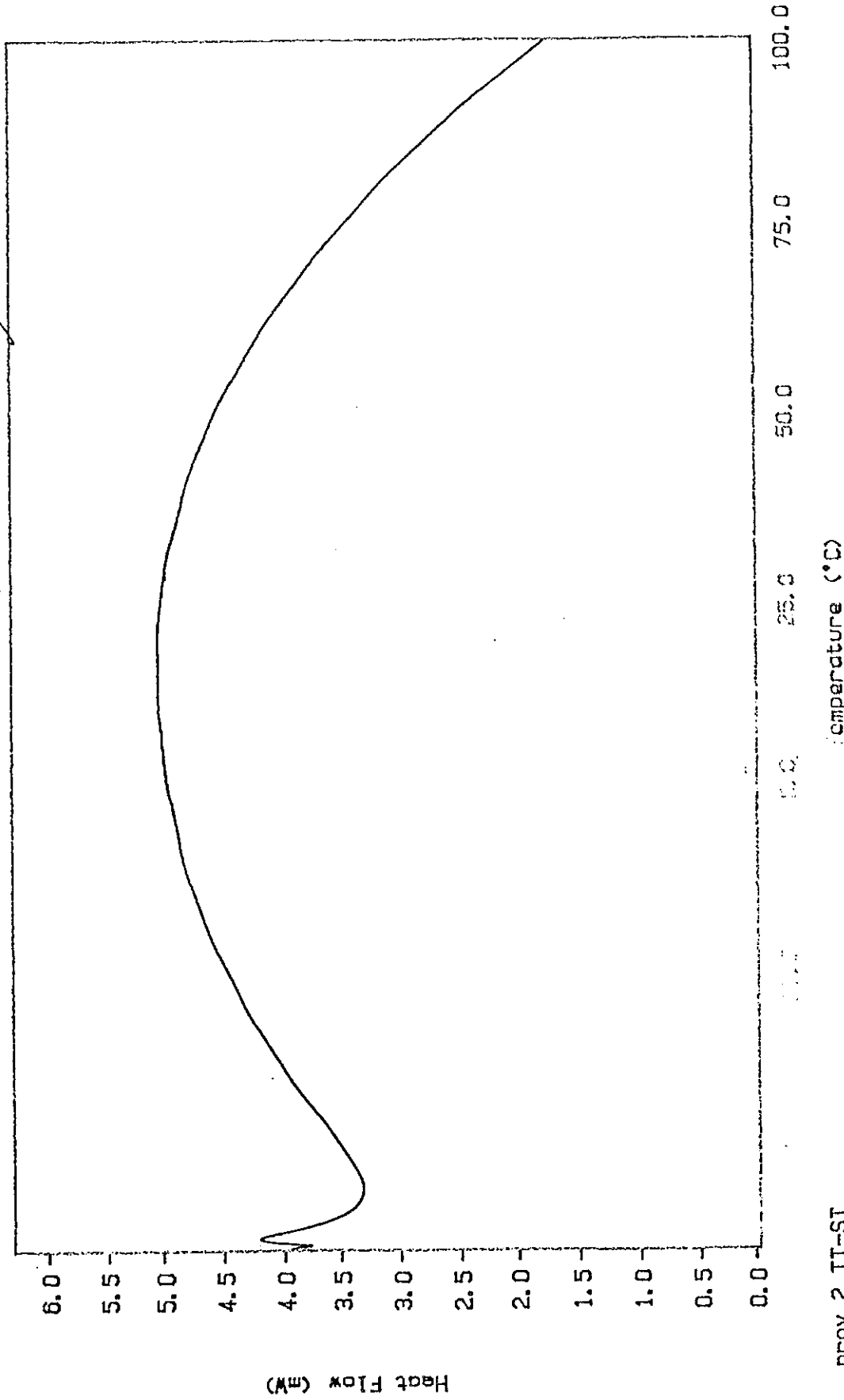
DSC Data File: sp51
Sample Weight: 10.600 mg
Wed Jan 13 15:56:00 1993

PERKIN-ELMER

7 Series Thermal Analysis System

FEP

SP (TT-117) Sp prov 2
Storre forstärkning



prov 2 TT-ST

TEMP 1: -88.0 C TIME 1: 0.0 min RATE 1: 10.0 C/min

TEMP 2: 100.0 C

Bilaga 48.2
Storre forstärkning av
Bilaga 48.1

DSC Data File: sp54

Sample Weight: 9.500 mg

Wed Jan 13 17:01:15 1993

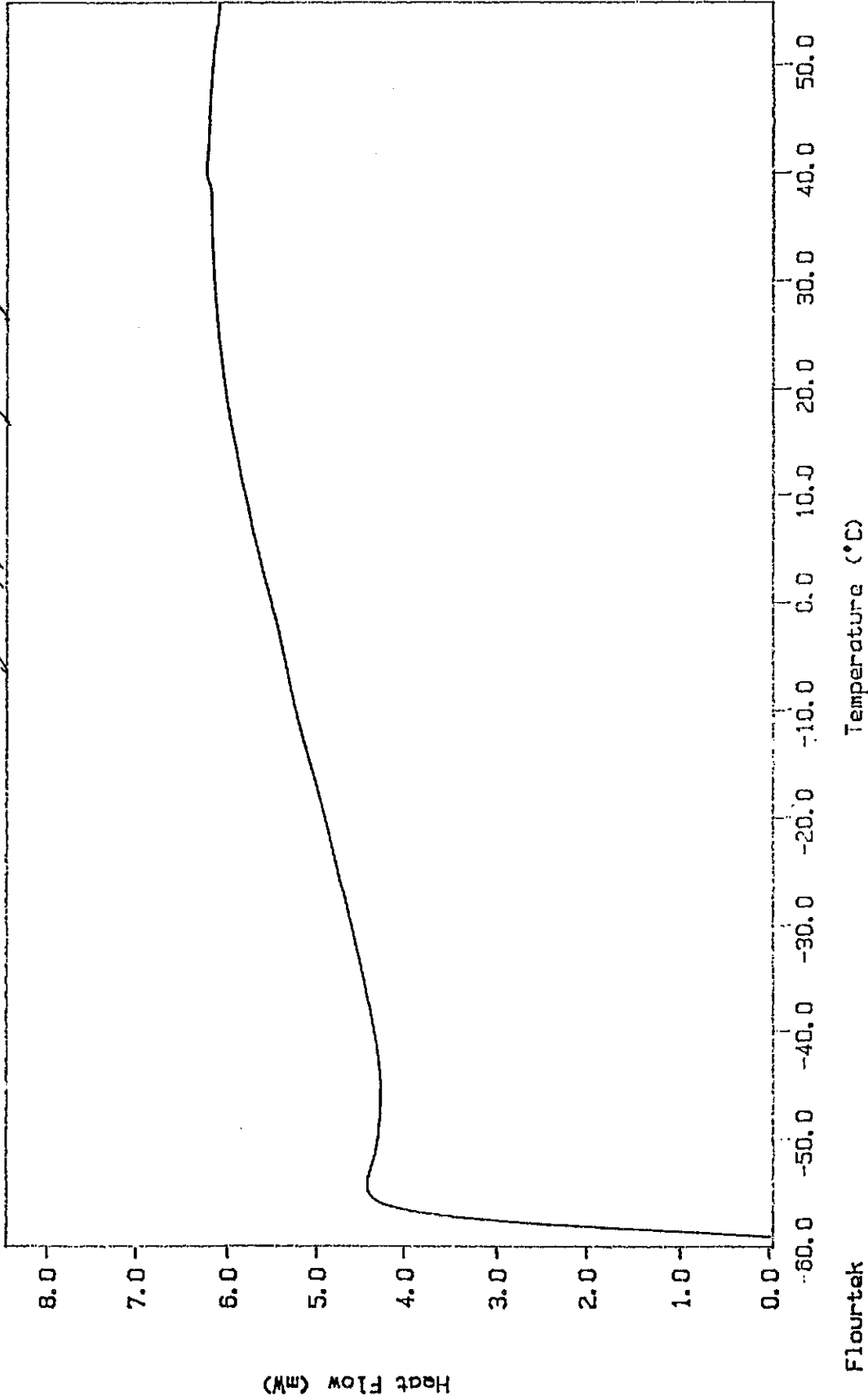
SP prov 3

PERKIN-ELMER

7 Series Thermal Analysis System

FEP 100A SP prov 3

högje uppsättningsbestyg



Flourtek

TEMP 1: -80.0 C TIME 1: 0.0 min RATE 1: 40.0 C/min

TEMP 2: 100.0 C

Bilagga 49

Bilaga 50

Typiska värden enligt IEA

Enligt en sammanställning som gjorts av IEAs "Solar Heating and Cooling Programme" [3] har FEP-filmer följande egenskaper:

Name	Fluor Ethylene Propylene (FEP)
Maingroup	Collector, wall and window glazing
Type	Film
Kind of material	Polymer
Group	Thermoplastic (crystalline)
Tradename / Manufacturer	Teflon-FEP / Du Pont, Korton-FEP / Norton, Hostaflon-FEP / Hoechst, Neoflon / Daikin
Thickness (mm)	0.025-0.05
Solar transmission (%)	95-96
Solar absorption (%)	0-1
Solar reflection (%)	4
Thermal transmission (%)	26 (2.5-40 μm)
Thermal absorption (%)	35-44
Thermal reflection (%)	2-7
Extinction coefficient (1/mm)	0.059
Refractive index (nD)	1.3-1.343
Lin. coeff. of expansion (10E-05/K)	8-14
Thermal conductivity (W/m K)	0.20-0.23
Specific heat (J/kg K)	1170
Specific mass (kg/m ³)	2150
Tensile strength(MPa)	17.15
Impact strength notched (kJ/m ²)	12.7-14.7
Impact strength (kJ/m ²)	no break
Life time (years)	>30
Min service temperature (°C)	-190
Max service temperature (°C)	200
Min temperature limit (°C)	-190
Max temperature limit (°C)	250
UV resistance	++ (excellent)
Thermal shock	++ (excellent)
Specific atmospheric conditions	++ (excellent)
Chemical resistance (acids, alkalis, grease and oil)	+, +, + (+ = good)
Water absorption (%)	<0.1
Flammability (%)	95
Weatherability	++ (excellent)
Outgassing	++ (excellent)
Approximate costs (class)	7 (20-35 ECU/kg rough material)

Bilaga 51

Några mekaniska egenskaper för kommersiella FEP-filmer [4, 10]

Property ³	Testing Method	Value for Teflon-FEP (*)	Testing Method	Value for Korton-FEP
Tensile strength (at break) ⁴	ASTM D-882-81	21 MPa (***)		
Elongation at break ⁵	ASTM D-882-81	300% (**)	DIN 53 455 Reissdehnung	250-350%
Tensile modulus	ASTM D-882-81	480 MPa		
Yield point ⁶	ASTM D-882-81	12 MPa	DIN 53 455, Streckgrenze	12 N/mm ²
Stress to produce 5% strain	ASTM D-882-81	12 MPa		
Folding endurance ⁷	ASTM D-2176-69 (M.I.T.)	10 000 cycles		
Initial tear strength ⁸	ASTM D-1004-66 (Graves)	5.3 N		
Propagating tear strength ⁹	ASTM D-1922-67 (Elmendorf)	2.5 N		
Bursting strength ¹⁰	ASTM D-774-67 (Mullen)	76 kPa (**)		
Density	ASTM D-1505-68	2150 kg/m ³	DIN 53 479	2.12-2.17 g/cm ³
Coefficient of friction (film to steel)	ASTM D-1894-61	0.3	-	0.3-0.35

* 200 gauge unless otherwise noted

** 100 gauge film

*** 2 inch grip separation, 2 inch/minute chart and crosshead speed

³ 1 N/mm² = 1 MPa

⁴ tensile strength (eng), Reissfestigkeit (ty), draghållfasthet (sv)

⁵ elongation at break (eng), Reissdehnung (ty), Bruchdehnung (ty), brottöjning (sv)

⁶ yield point (eng), Streckgrenze (ty), sträckgräns (sv)

⁷ folding endurance (sv), vikningshållfasthet (sv)

⁸ initial tear strength (eng), begynnelse-rivhållfasthet (sv)

⁹ propagating tear strength (eng), rivhållfasthet hos anvisat prov (sv)

¹⁰ bursting strength (eng), sprängstyrka (sv)

Bilaga 52

Några termiska egenskaper för kommersiella FEP-filmer [4, 10]

Property	Testing Method	Value for Teflon-FEP (*)	Testing Method	Value for Korton-FEP
Melt point	ASTM D-2116-81	260-280°C	ASTM D-2116	253-282°C
Maximum continuous service temperature		205 °C	ohne Belastung	200-205°C
Zero strength temp.	(1)	255 °C (**)		
Specific heat		1172 J/(kg K)	23 °C	1.17 kJ/(kg K)
Coefficient of thermal conductivity		0.195 W/(m K)	DIN 52 612, 23 °C	0.20 W/(m K)
Coefficient of linear thermal expansion	ASTM D-696-79	9.4×10^{-5} mm °C		8-11 $1/(K 10^5)$
Flammability classification	ANSI/UL-94	VTM-0		unbrennbar
Oxygen index	ASTM D-2863-77	95%		>95%
Dimensional stability MD / TD (***)	30 min at 150 °C	0.7% expansion/ 2.2% shrinkage		

* 200 gauge unless otherwise noted

** 100 gauge film

*** Machined Direction / Transverse Direction

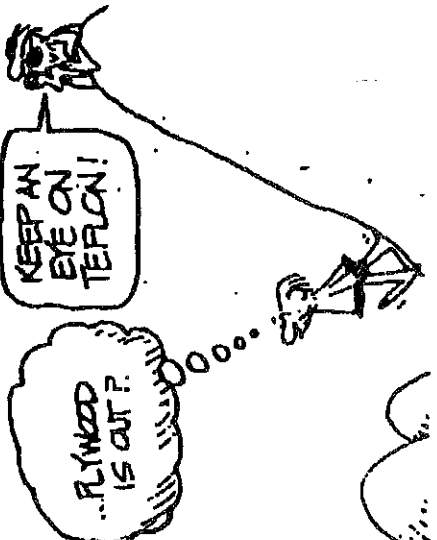
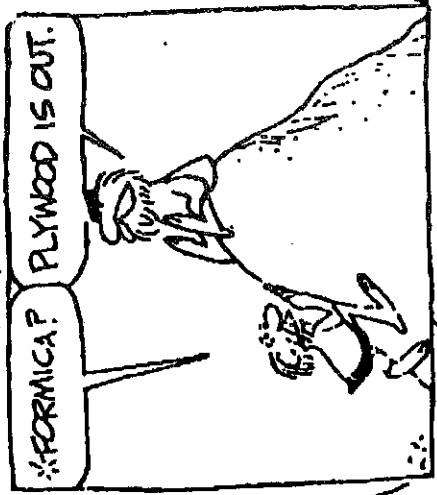
(1) Temperature at which film supports a load of 0.14 MPa (20 psi) for five seconds.

Bilaga 53

Några optiska egenskaper för kommersiella FEP-filmer [4, 10]

Property	Testing Method	Value for Teflon-FEP	Testing Method	Value for Korton-FEP
Solar transmission	ASTM E-424-71	96%		
Refractive index	ASTM D-542-50	1.341-1.347		

BC



formica - handelsnamn för plastlaminat
keep an eye on - håll ett öga på