

RAPPORT VEDRØRENDE

EEP - PROJEKT

HØJISOLERET LET VÆGELEMENT
MED STOR TERMISK KAPACITET

Rapport 90-1

Danmarks tekniske Højskole
Laboratoriet for Varmeisolering

FORORD

Gennem en årrække er der i Danmark sket en ændring af ydervæggernes opbygning fra tunge til lette konstruktioner. Dette har bl.a. medført, at bygningernes varmeakkumuleringssevne og dermed den "indbyggede" temperaturregulering er reduceret. Desuden udnyttes de anvendte materialer ikke optimalt, hvilket betyder uhensigtsmæssige kuldebroer og ressourcespild.

Ideen i dette projekt er at finde metoder til at løse disse problemer ved hjælp af et let "sammenspændt" vægelement med indbygget varmeakkumuleringsmedium, som er udviklet til anvendelse ved energilagring og i solfangersystemer.

Energiministeriet har under EFP-87 "Energianvendelser i Bygninger" støttet gennemførelsen af et projekt foreslået af professor Vagn Korsgaard, Laboratoriet for Varmeisolering, DtH. Projektet er gennemført i samarbejde med private erhvervsvirksomheder og med en kemi konsulent.

Resultatet af projektet fremgår af denne rapport's afsnit 1-5 for så vidt angår bygningstekniske forhold og af afsnit 6-8 samt BILAG 5 for så vidt angår de kemisk/termiske forhold.

Lyngby, Juni 1990

V. Korsgaard

1. PROJEKTBEKRIVELSE

Projektet har sigtet mod udvikling af et højisoleret, let vægelement med stor termisk kapacitet. Vægelementet opbygges af tynde yderflanger af fx. krydsfiner, spånplade eller gips-kartonplade, hvorimellem er anbragt et varmeisolerende lag af mineraluld. De to tynde yderflanger sammenspændes om mineralulden ved hjælp af gennemgående tynde strittere af f. eks. rustfast stål, så mineralulden komprimeres passende. Herved opnås dels at friktionen imellem flangepladerne og mineralulden overflødiggør limning, dels at flangepladernes indadgående udbøjning forhindres ved lodret belastning. Den ikke-stive sammenkobling af de to flangeplader forhindrer, at elementet krummer, når det udsættes for forskellig luftfugtighed på yder- og indersiden. Den store varmekapacitet opnås ved, at flangerne - fortrinsvis inderflangen - mættes med en parafin med et smeltepunkt svarende til normal stuetemperatur. Smeltevarmen bevirker en betydelig forøgelse af vægelementets varmekapacitet.

Baggrunden for projektet er, at lette, bærende vægelementer hidtil har været karakteriseret ved et unødvendigt stort materialeforbrug, idet de indgående materials specifikke egenskaber ikke har været udnyttet fuldt ud. I de få tilfælde, hvor dette har været forsøgt, har det medført mindre gode egenskaber og/eller en væsentlig fordyrelse. Den stigende interesse for passiv udnyttelse af solvarme er desuden vanskelig at tilgodese i de lette vægelementer med lav varmekapacitet.

Formålet er derfor at udvikle et let, højisoleret vægelement med stor varmekapacitet med et minimum af materialeforbrug og lave produktionsomkostninger, som vil kunne finde anvendelse til montagebyggeri, dels til bærende ydervægge og skillevægge i parcelhuse, dels til udfyldningselementer og skillevægge i etagebyggeri.

Målgruppen vil primært være mindre typehusfirmaer og håndværksmestre, som bygger parcelhuse, og med- eller selvbyggere. Standardelementer vil eventuelt kunne lagerføres af byggemarkeder. For udfyldningselementernes vedkommende vil målgruppen også være større byggefirmaer.

2. PROJEKTORGANISATION

Projektet er gennemført af en arbejdsgruppe bestående af:

- Professor Vagn Korsgaard, Laboratoriet for Varmeioslering
- Direktør Viggo Thrane, Tåsinge Træ A/S
- Afdelingschef Mogens Toksværd, Danogips A/S
(fra april til august 1988)
- Laboratoriefach Carl Erik Bech, Danogips A/S
(fra august 1988)
- Chefingeniør Kurt Stokbæk, Rockwool Insulation Holding

Professor Vagn Korsgaard har virket som projektleder og chefingeniør Kurt Stokbæk som faglig sekretær for arbejdsgruppen.

Lic. scient. Erik Pedersen har været tilknyttet som kemi konsulent og er blevet honoreret efter tidsforbrug medens gruppemedlemmerne har deltaget uden vederlag.

Arbejdet er foregået ved møder, hvorunder problemer, arbejdsdeling og forslag blev drøftet. Der har ialt været afholdt 11 møder i gruppen samt enkelte møder med reduceret deltagerantal. Desuden er der udsendt 3 statusrapporter mellem møderne.

3. PROJEKTPLAN

Den oprindelige plan omfattede følgende 2 faser:

1. fase: Et antal prøveelementer med forskellige flangematerialer og tykkelser opbygges og prøves for såvel statiske som dynamiske, termiske, brandmæssige og lydmæssige egenskaber. De forskellige flangematerialers evne til opslugning af parafiner vil blive undersøgt, og varmekapaciteten målt. Tilgængelig udenlandsk viden på området vil blive udnyttet i størst muligt omfang.
2. fase: Såfremt 1. fase fører frem til brugbare elementer, vil disse blive detailudviklet i en anden fase, der også vil omfatte samplingsdetaljer mellem elementerne indbyrdes og tilslutninger til andre byggekomponenter som vinduer, døre, tag og fundament.

Aktivitetens og tidsplan for 1. fase fremgår af BILAG 1 "Aktivitetsplan" af 1987-07-09.

Under projektets gennemførelse er der hentet informationer i litteraturmateriale som angivet i BILAG 2.

4. ELEMENTPRINCIP Dimensioner og Vægt

I projektbeskrivelsen er det anført, at der er tale om et lavenergielement. Tykkelse må dog ikke være så stor, at det giver praktiske problemer, eller at det giver andre betænkeligheder hos brugerne. Det er besluttet, at gennemføre projektet med et element med 200 mm tyk ROCKWOOL A-Batts + 2 gange beklædningsstykkelse. Dette giver en U-værdi på 0,16-0,17 W/m² K, afhængig af valg af klimaskærm, hvilket med rimelighed kan betegnes som et lavenergielement, når der tages hensyn til den forøgede termiske kapacitet.

Det ideelle vil umiddelbart være et format på 1,2 x 2,5 m. Bredden skal dog tilpasses således, at et element kan bæres af 2 personer.

Der findes imidlertid ikke faste (aftalte) regler for max. vægt. Dette er afhængig af løfteform, byrdegeometri, løftehyppighed o. lign.

Vi er bekendt med, at man for elementer kan gå op til ca. 50 kg/person, dvs. at vi i projektet bør sigte efter, at et element, som bæres af 2 personer, max. må veje 80 kg, idet der så er indbygget "reserve" i tilfælde af, at praksis ændres til lavere vægtgrænser.

Forudsat

- elementformat 1,2 x 2,4 m (= 2,88 m²)
- beklædningsplader (2 sider) af 12 mm gipsplader
- gipsdensitet 800 kg/m³
- ROCKWOOL-isolering tykkelse = 200 mm
densitet = 30 kg/m³

vil elementet veje ca. 75 kg.

Med træbaserede beklædningsmaterialer vil vægten være lavere, dvs. at elementvægten ikke forventes at give problemer med det angivne format.

5. SAMMENSPÆNDING

Baseret på erfaringer indhøstet under indledende forsøg hos Rockwool i 1986 er det valgt at "forspænde" elementerne med en kraft på 50 kg/m². Sammenspændingsbeslag skal helst være af rustfrit stål, idet dette giver minimal kuldebroeffekt.

Ved valg af sammenspændingsbeslag skal man være opmærksom på, at plastbeslag kan give problemer med hensyn til brandegenskaber. Dette kan eventuelt elimineres med en supplerende gipsbeklædning. Herved kunne der samtidig etableres hulrum/kanaler til skjulte installationer. Metoden er dog fordyrende og bør vurderes nærmere sammenholdt med valg af beklædningspladetype og beslagstype.

Det har vist sig at være vanskeligt at finde beslag, som er skjult på begge sider af elementet. En metode til sammenspænding er vist på BILAG 3. Det forudsætter, at kun én elementside skal have skjult beslag. Denne side kan så enten være en færdig facadeside (til erhvervs/institutionsbyggeri) eller en indvendig ydervægsflade (til skalmuret boligbyggeri).

De viste trapezlægter skal udformes således, at "klæbefladen" mod beklædningen har tilstrækkelig styrke til at optage sammenspændingskraften. Lægtens side mod isolering skal være tilstrækkelig bred til at sikre, at skruen "fanges" af lægten, og lægtens tykkelse skal dimensioneres efter, at skruen ikke må kunne trækkes ud af sammenspændingskraften. Antal og dimension af skruer/skiver skal afpasses med beklædningspladens stivhed, idet denne ikke må få synlige deformationer mellem beslagene.

Trapezlægterne kan være anbragt lodret eller vandret. Vandret placering vil give de bedste muligheder for befæstigelse i vindueshuller o. lign. samt for fugeløsninger.

Ved dette princip er der behov for at sikre elementet mod deformation (sammentrykning) på grund af vandrette påvirkninger under brug (fra møbler, personer o. lign.) samt ved eventuel vandret transport. Dette kan sikres med indbyggede afstands-"beslag". Plast el-rør anses for at være uhensigtsmæssige på grund af kuldebroeffekt. Åbne plastprofiler (T- eller I-formede), hvoraf der findes standard-profiler på markedet, vil være bedre.

Sammenspænding med skruer som skitseret kan formentlig anvendes med krydsfinér på den flade, hvori skrueerne skrues. Alternativt kan fladen forsynes med "revler" af krydsfinér eller stål.

Der har været kontakt med et firma angående skruetyper og disses styrkemæssige egenskaber. Hovedkonklusionen heraf er, at med en sammenspændingskraft på 50 KN/m^2 skal vi regne med skruer pr. $250 \times 250 \text{ mm}$ (16 stk/m^2) hvilket virker voldsomt.

Der har desuden været kontakt til et plastfirma angående afstandsprofiler. Firmaet Primo Plast kan udføre profiler, der er egnede til anvendelse i elementet.

Det er desuden blevet observeret, at de elementer, der tidligere er udført hos Rockwool viser tydelige deformationer, dette gælder især spånpladebeklædninger.

Gruppens vurderinger af disse forhold er, at et forspændt element vil give problemer af produktionsmæssig og muligvis også af anvendelsesmæssig karakter.

En alternativ løsning kan baseres på et kassettebyggesystem til lavenergihuse ("Domikas" huset) udviklet med støtte fra Energiministeriet og BUR. Principielt er disse elementer bygget op af spånplader forbundet med masonitplader, der er limet ind i noter i spånpladerne. Dette element har dog vist sig at krumme på grund af uens fugtpåvirkning på yder- og inderside. Dette problem kan formentlig løses ved at undlade limning på en af beklædningspladerne, til gengæld skal det så sikres, at pladerne hænger sammen fx. ved hjælp af skruer.

Drøftelserne omkring dette alternativ endte med, at det blev aftalt at arbejde videre med et element uden forspænding, opbygget som vist på BILAG 4.

Trælægten er gennemgående og skal have en dimension, som giver tilstrækkelig vedhæftning (med fugtbestandig polyurethanlim) til beklædningspladen. Desuden skal der sikres mod flækning ved montering af skruer. $35 \times 35 \text{ mm}$ skønnes indledningsvis at være tilstrækkelig til at opfylde de to krav. Dog kan der opstå problemer ved klæbning på gipsplader, som er belagt med karton, idet kartonen bliver det svage led. Dette problem kan muligvis løses ved at supplere limningen med søm eller skruer.

6. TERMISK KAPACITETSMEDIUM

Ved projektets start blev der arbejdet med at skulle anvende et termisk kapacitetsmedium af såkaldt Phase Change Material, forkortet til PCM. Disse materialer er en slags parafin, som afgiver/optager energi ved faseskifte fra flydende til fast form og vice versa. Sådanne produkter er allerede udviklet og afprøvet fx. til anvendelse som medie for lagring/transport af energi i solvarmeanlæg. Der opstod dog tidligt i projektet tvivl om materialetypernes egnethed, især med hensyn til risikoen for, at materialet kan/vil omfordele sig i flydende tilstand.

Derfor blev det besluttet alene at arbejde videre med såkaldte Solid State Phase Change Materials, forkortet til SSPCM. Disse materialer forekommer i krystalinsk form, som de bibeholder ved faseskift. Af amerikansk litteratur fremgår det endvidere, at sådanne materialer kan "dimensioneres" til at optage/afgive energi (faseskift) ved valgte temperaturer. I dette projekt sigtedes der efter faseskift omkring komforttemperatur dvs. ved 20-23°C.

Ved en grov beregning baseret på materialedata oplyst i litteraturen blev det fastlagt, at faseændringsvarmen af ca. 70 kg SSPCM svarer til transmissionstabet gennem ca. 30 m² ydervæg med $U = 0,30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ved en temperaturdifference på 32°C. 70 kg SSPCM svarer til, at der indbygges ca. 1 kg SSPCM pr. m² væg- og loftsflade i et rum på 20 m². Den angivne faseændringsvarme svarer til varmeakkumuleringsevnen af et lag gipsplade i tykkelse 12,5 mm ved temperaturforskel på 32°C.

Ud fra litteraturen blev der valgt 3 forskellige blandinger af SSPCM, som blev testet med hensyn til "indbygning" i byggematerialer, samt med hensyn til faseskiftetemperatur og energiakkumuleringseffekt.

7. "INDBYGNING" AF TERMISK KAPACITETSMEDIUM

Forsøg med "indbygning" af de valgte SSPCMs omfattede i første omgang fastlæggelse af i hvilken grad disse i smeltet tilstand kan opsuges i

- spånplader
- kryfsfinér
- gipskartonplader
- fibergipsplader

Resultatet af forsøgene er følgende:

- Spånplader opsuger relativt store mængder SSPCM men bindemidlet i spånpladen opløses kraftigt.
- Krydsfinér og fibergipsplader opsuger næsten intet SSPCM.
- Gipskartonplader opsuger relativt store mængder SSPCM.

Supplerende forsøg med opsugning i ROCKWOOL har vist, at det er særdeles let at få opsuget smeltet SSPCM heri, det går faktisk så hurtigt, at det vil kunne give problemer i en løbende produktion.

Detaljeret beskrivelse af forsøgene fremgår af BILAG 5

Det blev på dette grundlag besluttet at arbejde videre med gipskartonplader som beklædning. Heraf følger i øvrigt, - som tidligere anført - at der kan opstå problemer, såfremt det samtidig vælges at sammenspænde vægelementerne.

Efter forslag fra gipspladeproducenten blev det valgt at arbejde videre med gipsplader med SSPCM indbygget direkte i pladerne under produktionen, idet dette forventes at være en simplere (billigere) metode end smeltning og opsugning.

Vi er opmærksomme på, at der findes et patent i USA med nr. 4.572.864 af Feb. 25.1986, samt at lignende patenter er søgt i Japan og Frankrig. Heri beskrives anvendelse af specifikke (bestemte) SSPCM i en række specificerede materialer, herunder gipsplader og mineraluldsplader. Dette betyder, at de nævnte SSPCM kombineret med de nævnte materialer i USA, Japan og Frankrig kun kan anvendes efter aftale med patentindehaverne.

8. FASTLÆGGELSE AF FASESKIFTFORHOLD

Forsøg til bestemmelse af faseskifttemperatur og energiakkumulering blev udført på Danogips' laboratorier i samarbejde med lic. scient. Erik Petersen.

Forsøgene blev udført i flere omgange med varierende forsøgsforhold og blandingsforhold for SSPCM.

Resultaterne af forsøgene viste, at faseskift for energioptagelse for de valgte materialer ligger i området 35-45°C dvs. alt for højt, medens energiafgivelse sker ved ca. 16°C, hvilket er rimelig tæt på komforttemperaturen.

Detaljeret beskrivelse af forsøgene fremgår af BILAG 5.

Forsøgsresultaterne indebærer, at en væsentlig forudsætning for idéen med elementer med høj termisk kapacitet ikke har kunnet eftervises, hvilket betyder, at der formentlig skal gennemføres en omfattende, ressourcekrævende grundforskning/granskning for at kunne komme videre med projektet. Det blev derfor besluttet at indstille videre arbejde i projektet, d.v.s. at fase 2 udgår helt.

Under forsøgene er der i øvrigt observeret/vurderet en række forhold af praktisk karakter fx.:

- SSPCM forsøg er kun udført med relativ små prøveserier.
- dvs. det er ikke med sikkerhed vist, om SSPCM bibeholder evnen til energiakkumulering efter et større antal faseskift.
- SSPCM kan muligvis afgive giftige dampe og
- under opvarmning (fx. ved hærdning af gipsplader) optræder der lugtgener fra SSPCM.
- SSPCM kan (vil) give brandmæssige problemer og
- ved opsugning er det vanskeligt at styre den opsugede mængde SSPCM (især i porøse materialer).
- Det skønnes at indbygning af SSPCM ikke vil øge fugtopsugning i pladematerialer eller at disses overflader bliver mindre egnede til overfladebehandling (maling, tapetsering).

Disse forhold er dog baseret på et begrænset grundlag og kræver derfor nærmere undersøgelser, før der kan foretages en sikker vurdering.

KONKLUSION

Konklusionen for projektet er, at det formodentlig er muligt at udvikle et let vægelement med høj termisk kapacitet, opbygget af gipskartonplader med indbygget SSPCM, med ROCKWOOL-isolering uden "sammenspænding" og med lille kuldebroareal. Forudsat at et egnet SSPCM kan findes og at de produktions-tekniske og miljømæssige problemer kan løses.

I projektet er der fastlagt/belyst en række konstruktive detaljer samt konstateret en række uafklarede spørgsmål, hvoraf det væsentligste er fastlæggelse af hvilken type (blanding) af SSPCM der skifter fase ved komforttemperatur, og hvilke energimængder der akkumuleres/afgives ved faseskift.

Besvarelsen af dette spørgsmål kræver omfattende ressourcer, som ikke har været til rådighed i dette projekt.

Såfremt dette problem skal løses, vil det formentligt være nødvendigt at samarbejde med en erhvervsvirksomhed, som er interesseret i at udnytte idéen erhvervsmæssigt eller med forskere/forskerinstitutioner i USA og/eller Canada, som har indhøstet erfaringer med SSPCM.

LITTERATURLISTE

- In Review June 1986
- In Review Okt./Nov. 1986
- D.K. Benson mfl.:
"New Phase-Change Thermal Energy
Storage Materials for Buildings"
(SERI-report Sept. 1985)
- Smeltevarmelagringsmateriale til anvendelse i solvægge
(LFV-rapport)
- D.K. Benson, R.W. Burrows and J.D. Webb:
"Solid State Phase Transition in Pentaerythrifol
and related Polyhydric Alcohols" - Oktober 1985
- Liste over ca. 100 litteraturemner, udarbejdet af
Danmarks Tekniske Bibliotek
- SERI-report TR-255-1828 DE 85008779, March 1985:
"Materials Research for Passive Solar Systems: SSPCMs"
- M.M. Shapio, D. Feldman, D. Hawes and D. Bann:
"Solar Today" - Jan./Feb. 1988 (page 7-9)

POS NR.	AKTIVITET	UDFØRES AF	TIDSPUNKT						BEMÆRKNINGER
			1987		1988				
			3.kv.	4.kv.	1.kv.	2.kv.	3.kv.	4.kv.	
1	<u>ELEMENTPRINCIP</u>	VK/KS							
1.1	- tykkelse								
1.2	- format								
1.3	- max vægt								
1.4	- sammenspændingskraft								
1.5	- prisniveau								
1.6	- beklædning								
2	<u>TERMISK KAP. MEDIE</u>	VK/KS KS VK							
2.1	- Litteratursøgning								
2.2	- Dokumentationsmat.								
2.3	- Leverandørkontakt								
3	<u>BEKLÆDNINGSMATERIALE</u>	KS VK							
3.1	- fysiske egenskaber								
3.2	- samvirke med "2"								
4	<u>PRODUKTION AF ELEMENTER</u>	TT							
4.1	- til måling termisk kapacitet								
4.2	- til brandprøvning								
4.3	- til styrkeprøvning								
4.4	- til lydmåling								
5	<u>PRØVNING</u>	VK RW DTH RW							
5.1	- termisk kapacitet								
5.2	- brand								
5.3	- styrke								
5.4	- lyd								
6	<u>PRISKAIKUATION</u>	TT							
7	<u>RAPPORTERING</u>								

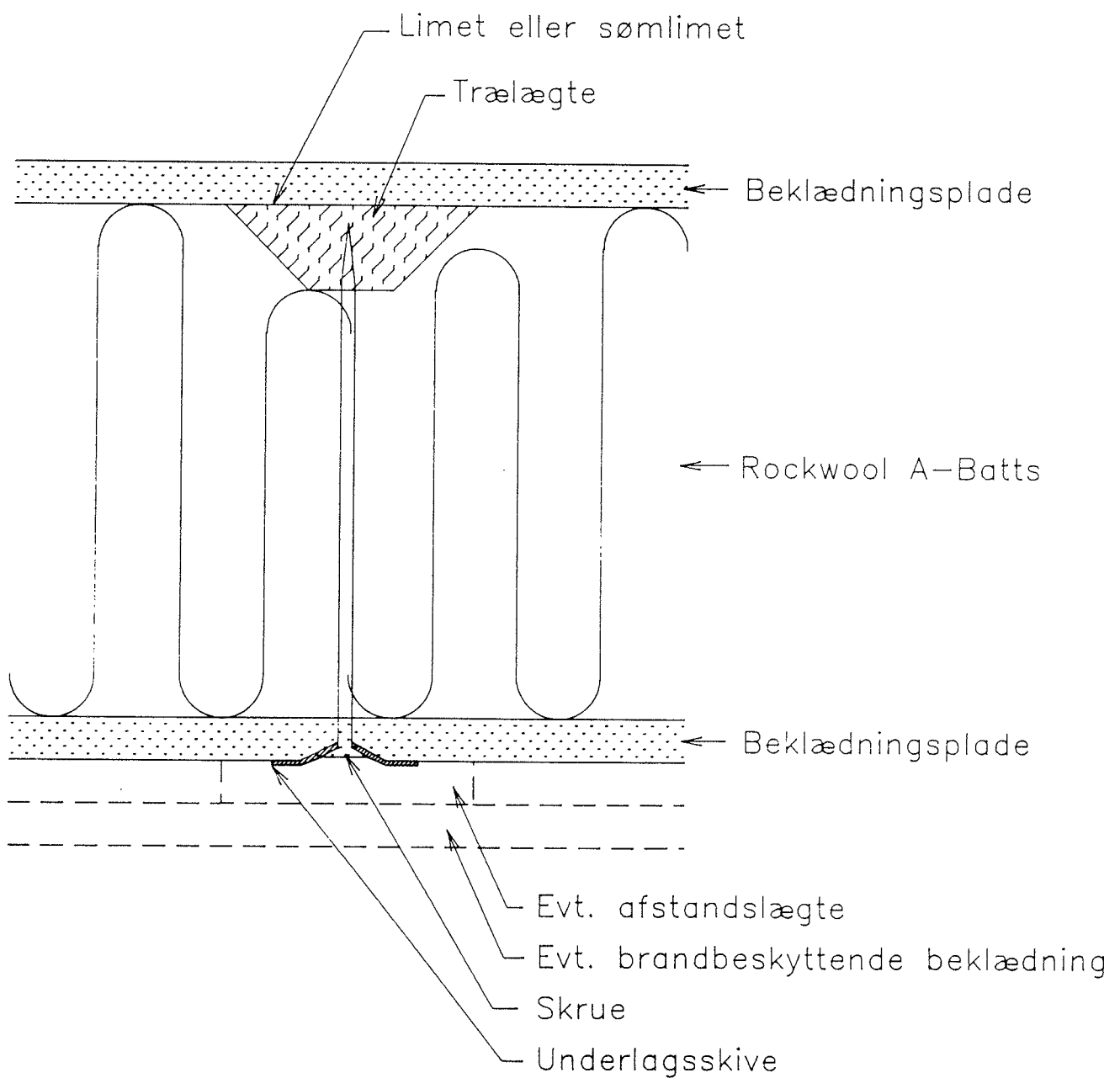
LITTERATURLISTE

- In Review June 1986
- In Review Okt./Nov. 1986
- D.K. Benson mfl.:
"New Phase-Change Thermal Energy
Storage Materials for Buildings"
(SERI-report Sept. 1985)
- Smeltevarmelagringsmateriale til anvendelse i solvægge
(LFV-rapport)
- D.K. Benson, R.W. Burrows and J.D. Webb:
"Solid State Phase Transition in Pentaerythritol
and related Polyhydric Alcohols" - Oktober 1985
- Liste over ca. 100 litteraturemner, udarbejdet af
Danmarks Tekniske Bibliotek
- SERI-report TR-255-1828 DE 85008779, March 1985:
"Materials Research for Passive Solar Systems: SSPCMs"
- M.M. Shapio, D. Feldman, D. Hawes and D. Bann:
"Solar Today" - Jan./Feb. 1988 (page 7-9)

87-09-14/KS

EFP-PROJEKT

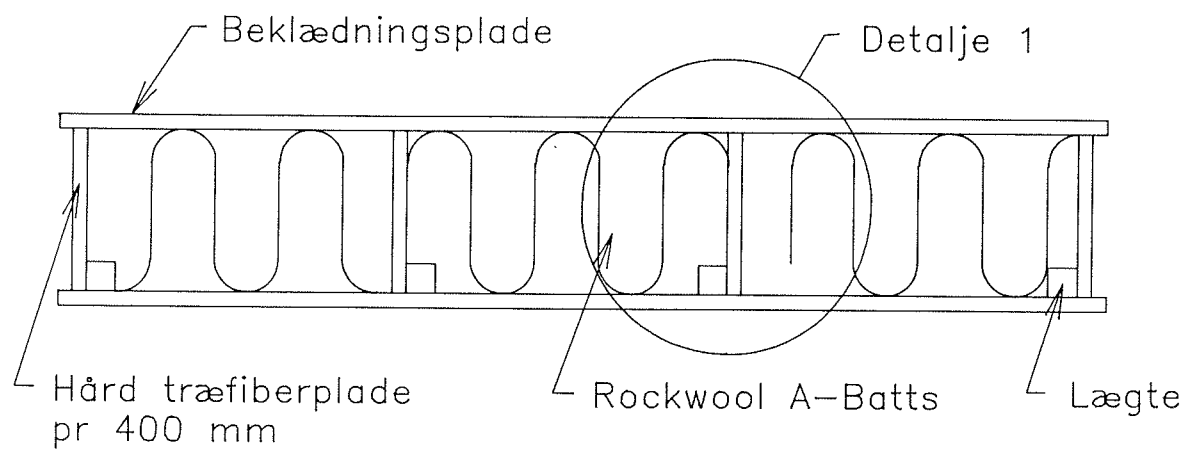
Let vægelement med høj termisk kapacitet

FORSLAG TIL SAMMENSPÆNDING

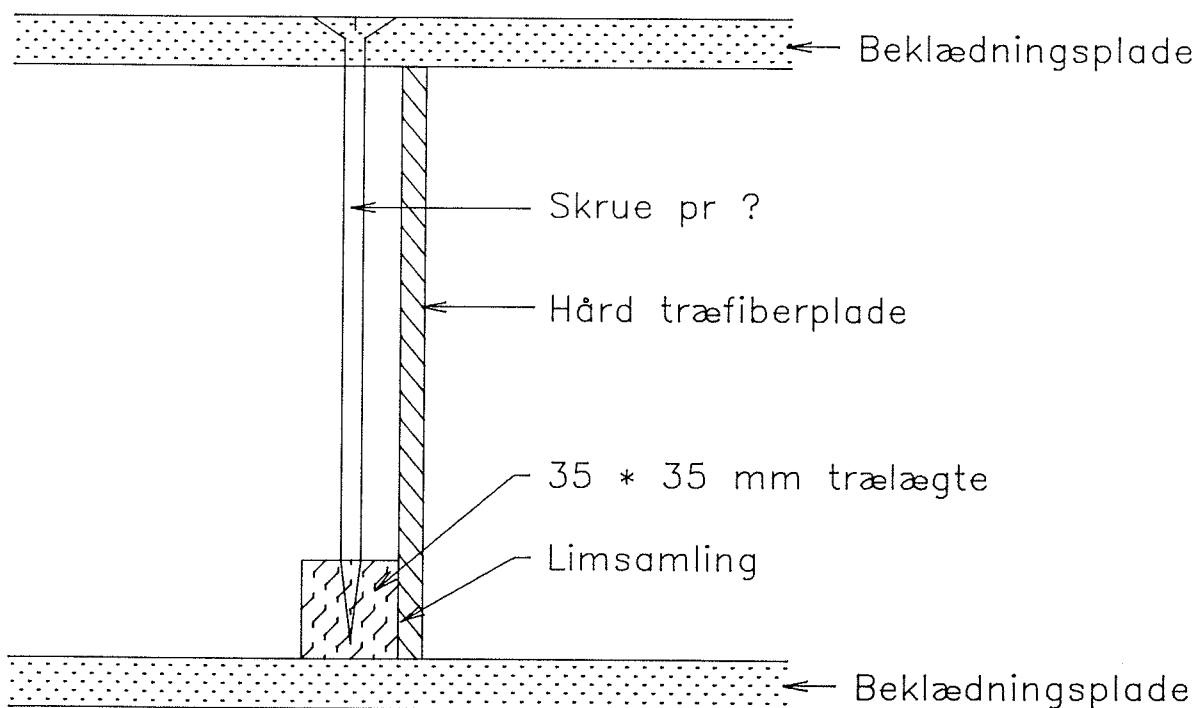
EFP-PROJEKT

Let vægelement med høj termisk kapacitet

FORSLAG TIL ELEMENT UDEN FORSPÆNDING



Vandret snit



Detalje 1

BILAG 5

14. dec., 1989.

SOLID STATE PHASE CHANGE MATERIALS
SSPCM

HØJISOLERET LET VÆGELEMENT
MED STOR TERMISK KAPACITET

Anvendelsen af solid state phase change materials (SSPCM) til energiakkumulering i lette bygningsmaterialer har givet anledning til adskillige optimistiske overvejelser og eksperimenter i den seneste tid (se litteraturlisten).

Omdannelse mellem to faste faser er velkendt i mange kemiske systemer. Men for at have nogen praktisk interesse i forbindelse med bygningsmaterialer skal disse SSPCM's opfylde en lang række krav, som tilsammen er meget vanskelige at opfylde. F. eks. kan nævnes: 1) Faseomdannelse skal ske omkring stuetemperatur og skal være reversibel inden for rimelig tidsskala. 2) Temperaturhysteresen skal være lille. 3) Overgangsenthalpien skal være stor (stor energitæthed). 4) Smeltepunktet skal være højt. 5) Materialet må hverken under bearbejdning eller brug være særlig giftigt, brændbart, lugtende eller på anden vis skadeligt. 6) Prisen skal være særdeles lav, hvis der sammenlignes med priser på kemikalier.

Kravene 1) - 4) forekommer uforenelige. En klar forudsætning må være ret små molekyler, bundet sammen ved middelstærke kemiske vekselvirkninger, som på trods af ændringer i bindingsforholdene kan holde sammen på molekylerne i en fast fase. I denne sammenhæng er det nærliggende at tænke på molekyler bundet sammen med stærke hydrogenbindinger, som vi kender dem i f. eks. vand, alkoholer og lignende polære forbindelser. Næsten alle kendte stoffer smelter imidlertid, når der tilføres så stor varmeenergi, at hydrogenbindingerne brydes. Det svarer til, at molekylerne bevæger sig kaotisk rundt mellem hinanden. I nogle enkelte stoffer begynder molekylerne imidlertid at rotere om sig selv ved temperaturer et godt stykke under smeltepunktet. Ingen rene stoffer, hvorefter der er kendt mange millioner, menes at opfylde kravene 1) - 6). Egenskaber for blandinger/opløsninger, hvorefter der jo derfor er et utal, kan ikke forudsiges med særlig stor nøjagtighed, især ikke når det drejer sig om reversible fastfase-omlejninger.

På denne baggrund valgte vi indledningsvis at undersøge SSPCM's, som var mere eller mindre velkarakteriserede i litteraturen (se

litteraturlisten), og først derefter foretage mindre variationer af sammensætningen. Valget af mindre polyalkoholer med høj molekylsymmetri er ret oplagt ud fra kravene 1) - 6).

Blandinger af følgende komponenter blev undersøgt:

- 1,1,1-tris(hydroxomethyl)ethan, ("PG").
- 1,1,1-tris(hydroxomethyl)propan, ("HG").
- 2,2-dimethyl-1,3-propandiol, ("NPG").
- 1,2,3-propantriol, glycerol, ("G").
- Vand.

Undersøgelser af disse blandinger er beskrevet i de efterfølgende rapporter fra DANOGIPS, ROCKWOOL og herfra. Detaljer vil ikke blive resumeret her.

Tidligt koncentreredes interessen omkring en blanding "A", bestående af 40 mol-% PG og 60 mol-% NPG, fordi overgangstemperaturen her syntes at være i nærheden af den ønskede stuetemperatur. Denne blanding undersøgtes dels i ren tilstand, dels opsuget efter smeltning (ca. 150 gr.C) i forskellige materialer som gips, rockwool, fiberplade, spånplade, m.m. Limen i de to sidste kunne ikke tåle denne behandling.

"A" opsuget i hærdet gips eller "A" blandet i gips/vand før den efterfølgende hærkning skal ikke nødvendigvis opføre sig som ren "A". I nærvær af gips er der mulighed for at molekylerne i "A" også kan lave hydrogenbindinger til Ca^{2+} , SO_4^{2-} og H_2O . De forøgede muligheder for hydrogenbinding giver tendens til stigende overgangstemperatur; de forskellige muligheder giver tendens til bredere temperaturinterval for overgangen. Det er lige netop det, som ses i praksis.

Fasesammensætningen af "A" i gips undersøgtes ved hjælp af röntgen-pulver-teknik (Guinier). "A" viste sig som ventet at bestå af én fase uden spor af PG og NPG. Gips med ca. 10 vægt-% "A" viste skarpe linier fra ren gips, meget brede linier fra "A", samt en diffus baggrund. De sidste to sæt linier var svage. Når blandingen "A" befinder sig på gips, synes fasesammensætningen derfor ikke at være helt velbestemt. Måske består den af både ekstremt små og noget større krystaller. Dette er også i overensstemmelse med det brede temperaturinterval.

Den eksperimentelt fundne overgangstemperatur, som er en del højere end den i litteraturen beskrevne, forsøgtes reduceret ved at ændre sammensætningen. F. eks. undersøgtes "A" tilsat 10 vægt-% HG, 10 vægt-% G og 5 vægt-% vand, samt blandingerne 50/50 mol-% PG/NPG og 30/70 mol-% PG/NPG. Disse ændringer havde ikke den mirakuløse virkning. Hertil må siges, at hvis det havde drejet sig om at reducere et smeltepunkt, så ville den slags forsøg have nogenlunde forudsigelige udfald og normalt føre til reduktion af smeltepunktet.

Med hensyn til giftighed betragtes de nævnte alkoholer normalt som harmløse. Selv NPG, som jo er en glycol, er fredelig. Den omdannes ikke som ethylenglycol i organismen til oxalsyre. I

rapporten fra DANOGIPS af 29/9-89 omtales, at dampene er giftige ved høje koncentrationer ($LD_{50} = 0.0032$ g/g kropsvægt angives). Hertil må tilføjes oplysninger fra ECDIN databasen (Ispra Establishment of the Joint Research Centre of the Commission of the European Communities). Heraf fremgår kun, at $LD_{50} = 3200.0$ mg/kg for en enkelt oral dosis til rotter. Hvis dette kan overføres til mennesker, vil det svare til, at et voksent menneske skal indtage mindst 0.2 kg NPG for at få påviselige gener. Køkkensalt er langt mere giftigt. For PG fandtes ikke tilsvarende data. Det skal imidlertid pointeres, at eksperimentatorerne hos DANOGIPS har fuldstændig ret i, at varm teknisk NPG ikke er rar at omgås på grund af lugtgener. Lugten fra forskellige præparater er dog meget forskellig, og det formodes derfor, at generne skyldes urenheder, som kan udgøre op til 1 % i flg. specifikationerne. LD-værdierne for urenhederne kan være langt mere truende.

Med hensyn til brandfare kan nævnes, at NPG, som er den værste, har flammepunkt og antændelsestemperatur på hhv. 115 og 380 gr.C.

Foreløbige priser ved levering på det europæiske marked opnåedes fra de store producenter. Billigste tilbud på NPG var 10 kr./kg ved levering af mindst 30 tons pr. gang. Tilbud på PG var 8.22 DM/kg uden kvantumrabat op til senere forhandling. Dato for tilbud var 28/4-89.

KONKLUSION

De resultater, som er omtalt i litteraturen om SSPCM's, kan ikke alle reproduceres. Mindre variationer i sammensætninger for mere lovende blandinger af polyalkoholer har ikke givet håb om at finde en umiddelbart anvendelig sammensætning. Forsøg på at finde en sådan sammensætning falder helt uden for dette projekts rammer, idet det vil kræve et meget stort og trivielt arbejde.

Til : Vagn Korsgaard, Viggo Thrane, Erik Petersen, Kurt Stokbæk	LAB-NR: -
Kopi: CS, TJJ	PU-NR: 88/001
Fra : Carl Erik Bech	PG-NR: *
Højisoleret let vægelement med stor termisk kapacitet. DSC hystereseforsøg på forskellige SSPCM blandinger.	

Indledning.

De tidligere DSC forsøg med forskellige SSPCM blandinger blev lovet fulgt op med forsøg, som skulle afklare ved hvilken temperatur den optagne varme afgives igen. Med andre ord hvor stor hysteres, der er ved faststof-faseændringen. Disse forsøg afrapporteres i denne rapport.

Desuden vil de opnåede resultater blive diskuteret på baggrund af den litteratur, som jeg modtog fra Kurt Stokbæk d. 26.09.89.

Forsøget.

Til forsøget er brugt de samme 5 blandinger som blev brugt i de foregående forsøg (se rapport af 18.04.89/CEB). De gennemførte hysteres forsøg er gennemført ved, at en passende mængde prøvemateriale er afvejet i en aluminiums-digel forsynet med et lille hul til trykudligning. Diglen opvarmes og nedkøles et antal gange under samtidig registrering af temperatur og tilført varmemængde (DSC).

Ved de første forsøg var prøveopstillingen placeret i laboratoriet, og nedkøling kunne derfor kun gennemføres til minimalt 18 C, når der var koldt nok udenfor (hvilket der ikke var hele sommeren). Dette troede vi var tilstrækkeligt, men de opnåede kurver tydede på, at der først begyndte at ske varmeafgivelse igen lige omkring forsøgets afslutning. Derfor besluttede vi at placere prøveopstillingen i et køleskab, således at vi kunne starte og slutte prøvecyklus ved en lavere temperatur. Blanding 2 - 4 er startet ved 15 C.

Resultater af DSC-forsøg.

Uddrag af kurver ses i bilag 1 - 5 (ialt 15 bilagssider).

Blan- ding nr.	PG mol- %	NPG mol- %	HG G H +vægt-%	Temperaturøgning			Temperatursænkning		
				Start C	Spids C	Slut C	Start C	Spids C	Slut C
1	50	50		31	44	51	?		
2	30	70		20	42	58	?		
3	40	60	10	33	43	50	19	16	?
4	40	60	10	32	41	47	?		
5	40	60	5	35	42	48	?		

Tabel 1. Blandinger og omdannelses starttemperatur.

- =====
- Blanding 1: Varmeoptagelsen ødelægges efter blot 1 cyklus til 58 C.
- Blanding 2: Varmeoptagelseseffekten meget svag fra starten.
- Blanding 3: Effekten ødelægges delvist efter 1. cyklus, men der bliver en tydelig tvedelt top tilbage. Varmeafgivelsen er tydelig ved denne blanding, men skubbes tilsyneladende 1 grad nedad efter blot 2 cykler. Hysteresen er bestemt til 27 C.
- Blanding 4: Varmeoptagelsen ødelægges efter blot 1 cyklus til 58 C.
- Blanding 5: Varmeoptagelsen ødelægges efter blot 1 cyklus til 58 C.

=====

Tabel 2. Kommentarer til DSC kurverne.

Diskussion.

I rapporten SERI/TR-255-1828 "Materials Research for Passive Solar Systems: Solid-State Phase-Change Materials" fra marts 1985 genfindes alt det arbejde, som vi har gennemført siden marts. Kopi af figur 3-1, 3-3, 3-9 og 1-2 er gengivet i bilag 6.

Overgangsenthalpien for faststofblandinger af PG og NPG fremgår af tabel 3-1 og figur 3-3. Heraf kan aflæses, at overgangsenthalpien for en 40 mol-% PG og 60 mol% NPG kan forventes at blive 8.4 kJ/mol, hvilket omregnet giver 76 J/g. Vi har tidligere bestemt denne blandings overgangsenthalpi til 80.5 J/g, hvilket må siges at være en god overensstemmelse. De rene blandinger har begge højere overgangsenthalpi og overgangstemperatur:

PG : 139 J/g ved 89 C
NPG: 119 J/g ved 48 C

Den forventede overgangstemperatur for 40/60 blandingen er 26 C, men som det fremgår af figur 3-1, er der i virkeligheden tale om et overgangsinterval på ca. 20 grader. Hvis man ser godt efter, vil man kunne se, at blandingerne med lavt indhold af PG (25 og 12.5 mol-%) begge har en tvedelt top. Tidligere har vi målt overgangstemperaturen til et interval mellem 28 og 44 C med en top ved 39 C, og det er ikke lykkedes at påvirke disse overgangstemperaturer væsentligt ved tilsætning af andre kemikalier.

I figur 3-9 ses hvorledes den lagrede varmeenergi afgives igen ved betydeligt lavere temperatur. Denne hysteres er hos SERI målt til 43 C ved en temperaturændringshastighed på 20 C/min og til 16 C ved 0.1 C/min. Ved den hastighed, som vi har kørt med (1 C/min) kan forventes en hysteres mellem 17 og 27 C. For blanding nr. 3, som er den eneste, det har været muligt at bestemme hysteresen på, har vi målt 27 C. Da hysteresen hænger sammen med, at vi arbejder med en termisk aktiveret kemisk proces, kan denne ikke fjernes. Den kan imidlertid påvirkes. SERI har fundet frem til, at fint formalet grafit kan påvirke denne proces, idet varmelednings- evnen bliver forbedret. En tilsætning på 0.1 vægt-% var

tilstrækkelig til at bringe hysteresen ned på ca. 10 C.

Det sikkerhedsmæssige aspekt er også nævnt i SERI rapporten. PG regnes for ikke-farligt. NPG kan give svage irritationer på huden. Derimod er NPG dampe giftige ved høje koncentrationer (LD50 = 0.0032 g/g kropsvægt) og irriterer slimhinderne i øjne, næse og svælg.

SERI regnede også på økonomien ved sammenligning mellem en solfangervæg af beton og en tilsvarende solfangervæg indeholdende SSPCM. Selvom betonvæggen skal veje 8 gange så meget for at have samme termiske lagringskapacitet, så bliver væggen med SSPCM alligevel 11 % dyrere. Hos SERI er konklusionen, at der enten skal ske væsentlige forbedringer hos SSPCM materialernes termiske lagringskapacitet eller anden optimering ved fremstillingsprocessen.

Konklusion.

Med de overgangstemperaturer, som vi har fundet, kan man sige, at SSPCM materialerne formentlig er teknisk egnet til passiv solvarme på steder, hvor solen skinner direkte på væggen.

Andre stoffer kan påvirke varmeoptagelsesevnen i negativ retning, og blandingerens stabilitet ser ikke ud til at være alt for god.

Miljømæssigt har jeg store betænkeligheder, idet opvarming af blot nogle få gram af SSPCM blandingerne giver en kvalmende lugt. Når dampene oven i købet er klassificeret som farlige, ser jeg ingen grund til at bringe dem ind i vore boliger i store mængder.

Da de billigste kostpriser på SSPCM blandinger er på mindst 10 kr/kg, er 2 almindelige gipsplader en billigere løsning end 1 gipsplade med 10 vægt-% SSPCM. Varmeoptagelsen vil være den samme, hvis blot overgangintervallet er større end 6.4 C, hvilket det ser ud til at være.

Komfort-aspektet omkring et plademateriale med SSPCM er sværere at tolke éntydigt. Hvis starttemperaturen for varmeoptagelse ligger over 25 C og hvis varmeafgivelse ikke starter lige omkring 20 C, så kan jeg ikke forestille mig, at komforten vil blive særlig forbedret.

De nødvendige forbedringer for at nå frem til noget kommercielt brugeligt ligner mere og mere grundforskning, som vist falder uden for dette projekts rammer. Jeg foreslår derfor, at projektet afsluttes, og at vi i de kommende år holder øje med, hvad der fremkommer af forskningsresultater på området.

20-SEP-89 14:03

BLANDING NR 1.

IDENT. NO.
WEIGHT

mg

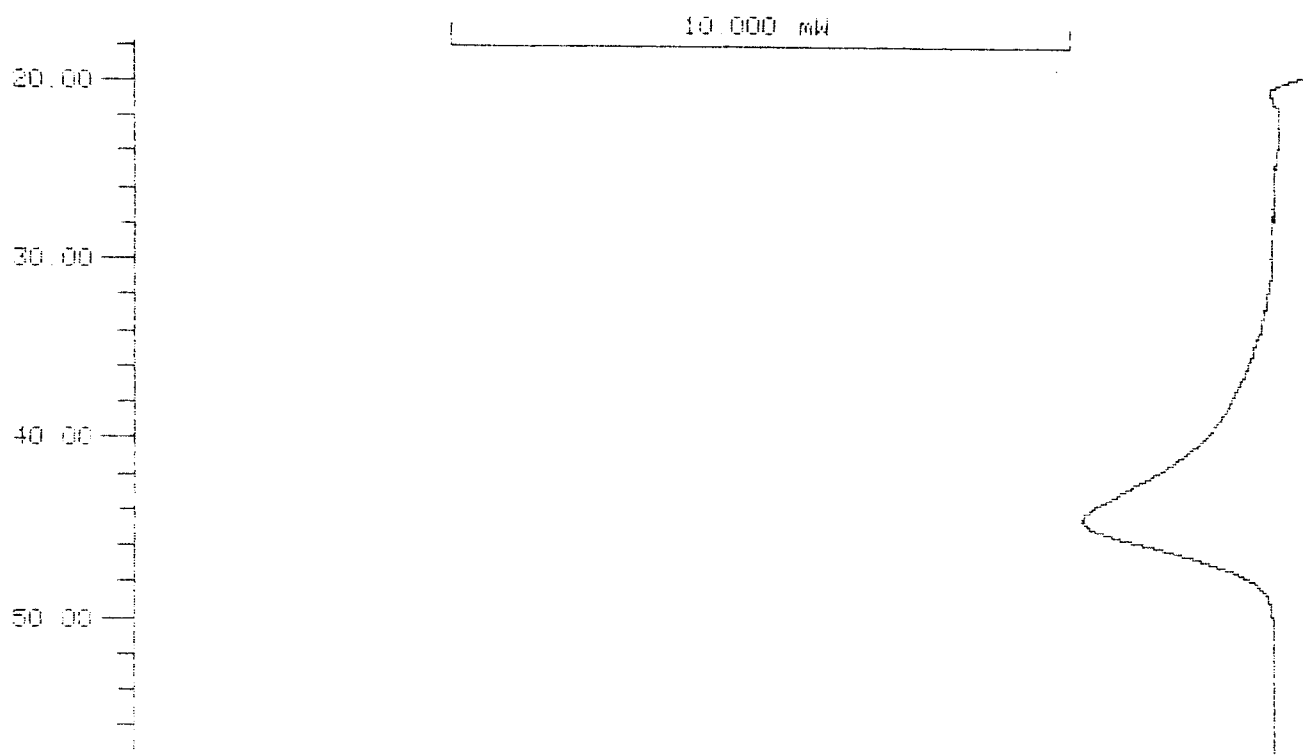
88.011
11.399

HYSTERESE FORSØG

BILAG 1A.

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

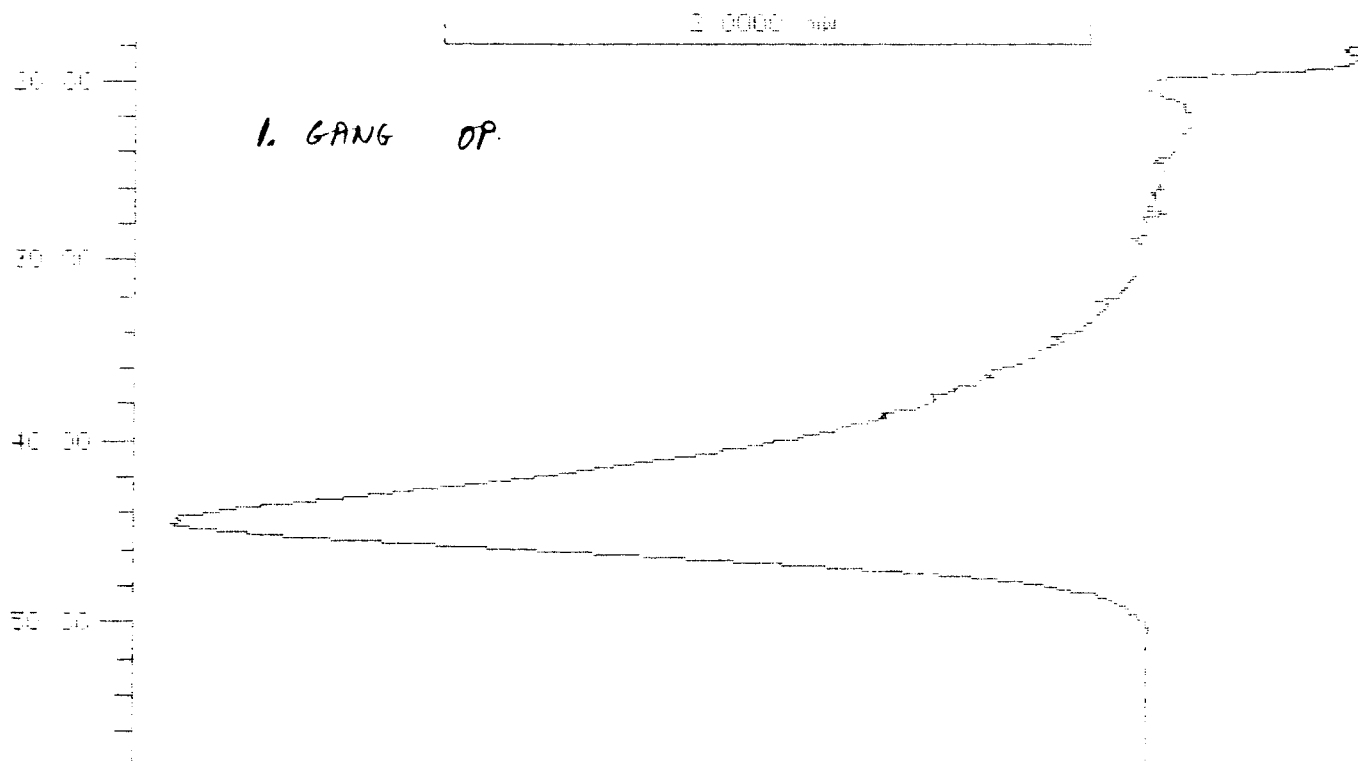


END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

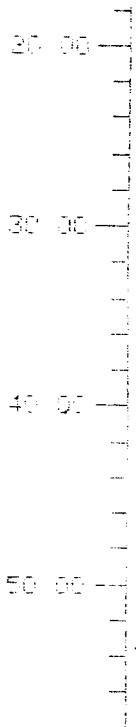


TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

BILAG 1 B.

10.000 mW



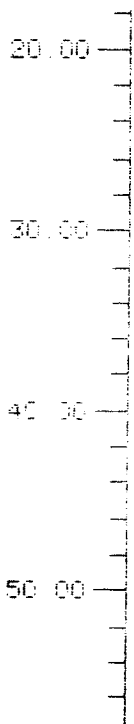
END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

50000 mW



2. GANG OP

METHOD NO. 1

21-SEP-89 9:52

BLANDING NR. 2

IDENT. NO.

89.021

HYSTERESEFORSØG.

WEIGHT mG

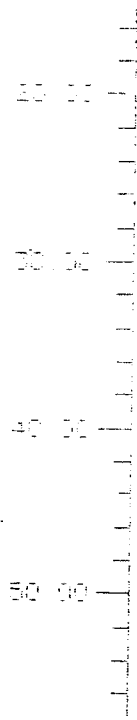
12.862

BILAG 2A.

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

10 000 mW



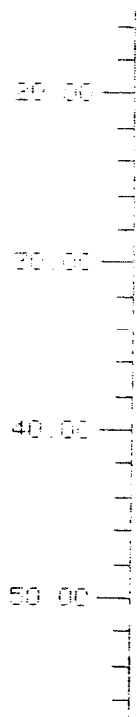
END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

50000 mW



1. GANG OP

BILAG 2 B.

END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

.50000 mW

3. GANG OP

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

10 000 mW

B/LAG 2 C.

40.00

30.00

20.00

END SCREEN °C

15.1

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

50000 mW

2. GANG NED

50.00

40.00

30.00

20.00

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

10 000 mW

30.00

IDENT. NO.
WEIGHT mG

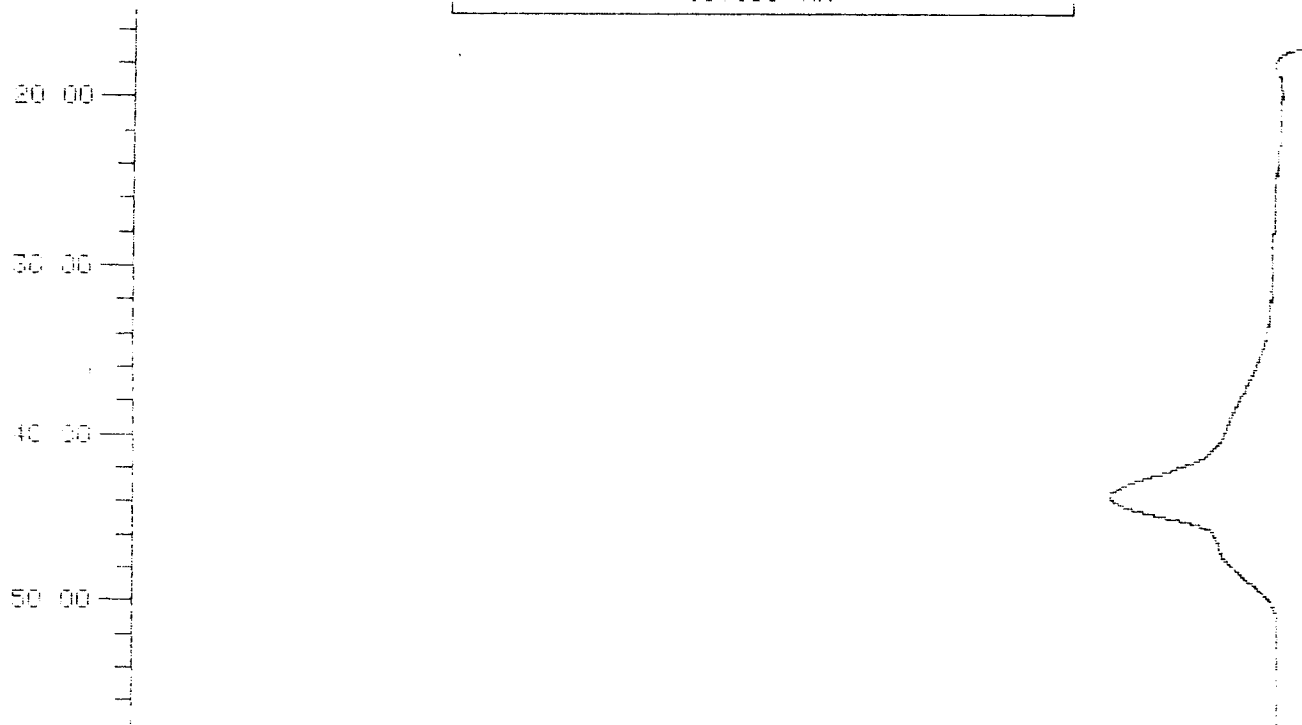
89.031
9.022

BILAB 3 A.

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

10.000 mW



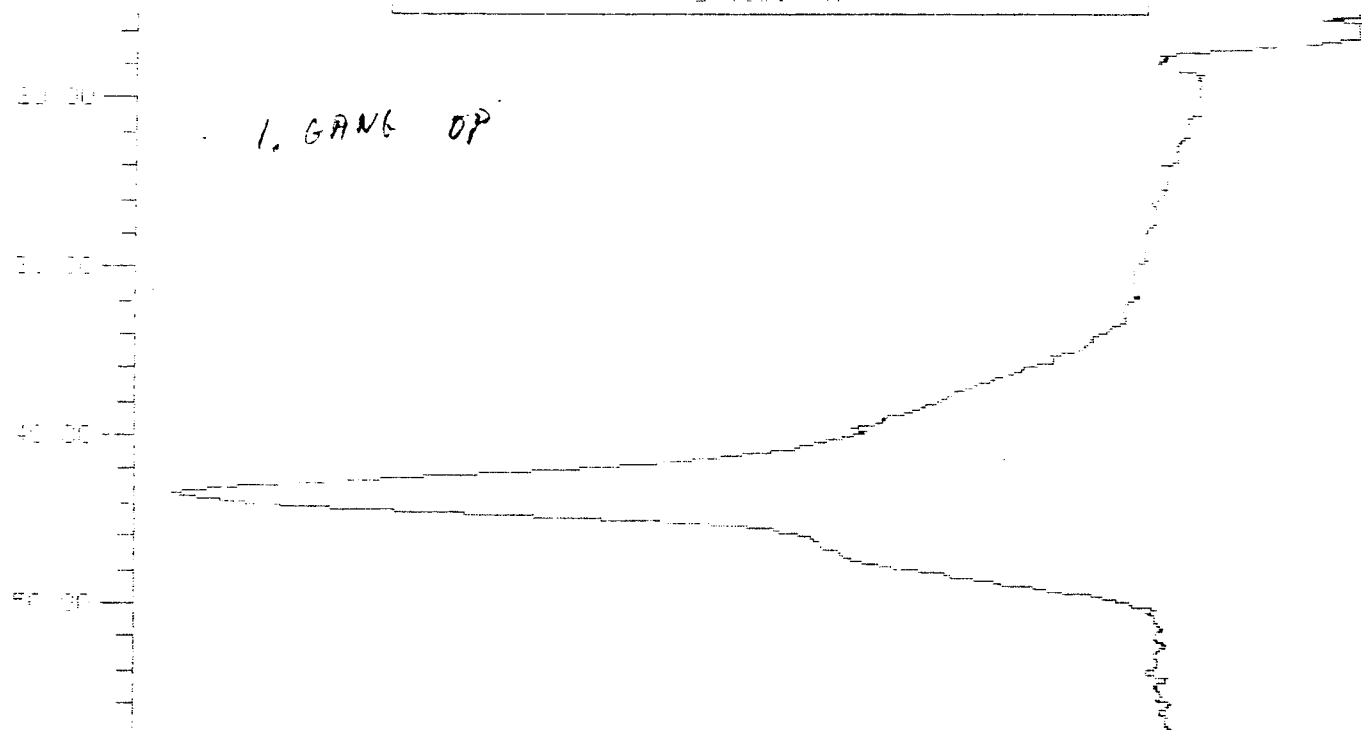
END SCREEN °C

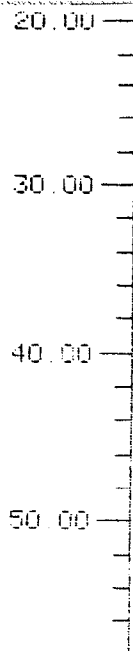
57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

2.0000 mW





B/LA6 3 B.

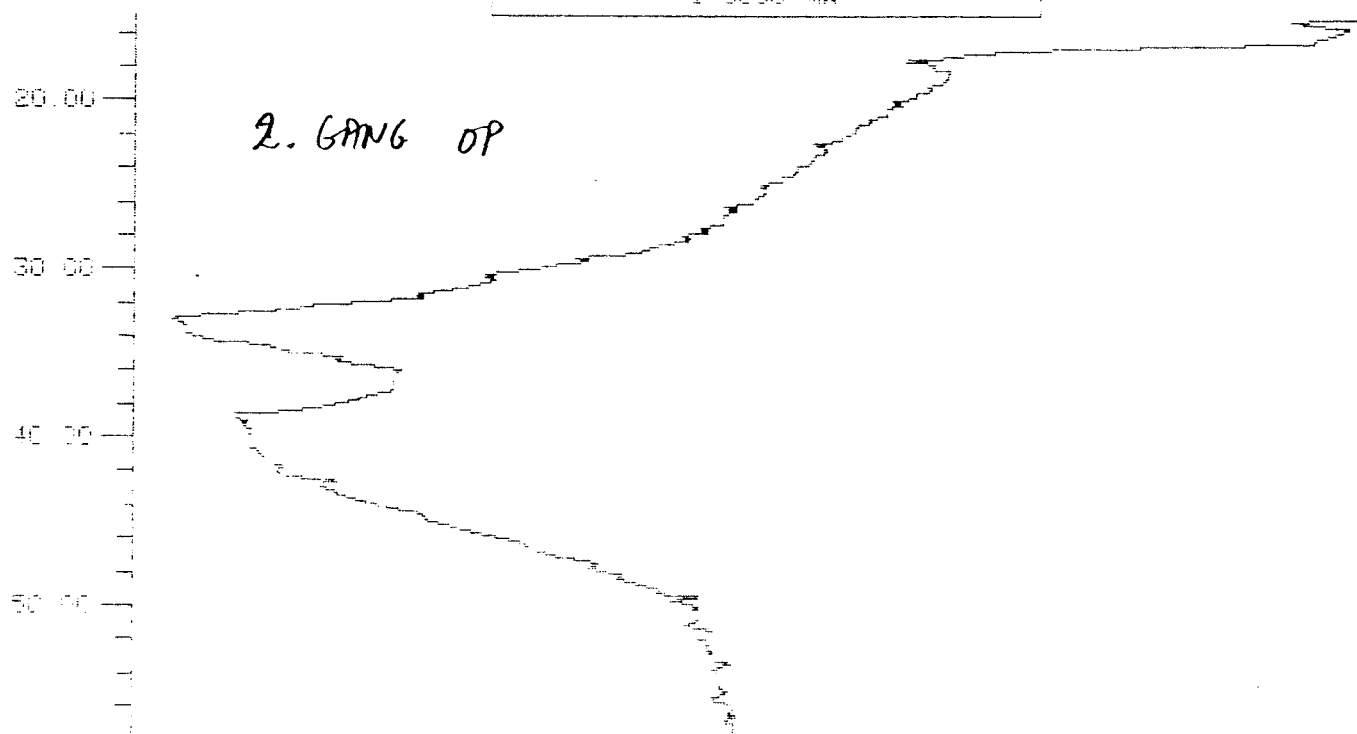
END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

1.0000 mW

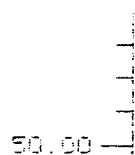


2. GANG OP

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

10.0000 mW



50.00

BILAG 3 C

END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

1 0000 mW

3. GANG OP

20.00

30.00

40.00

50.00

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

10 000 mW

30.00

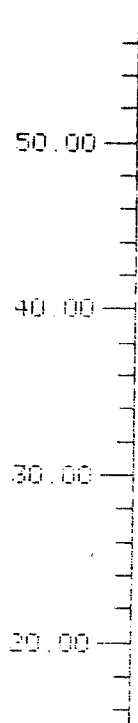
40.00

50.00

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

10.000 mW



BILAG 3 D.

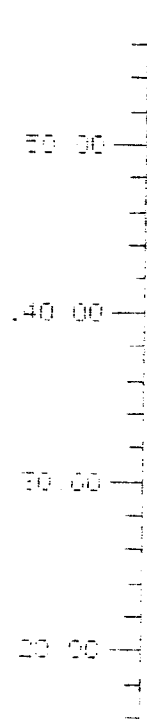
END SCREEN °C

15.1

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

2.0000 mW



1. GANG NED

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

BILAG 3E.

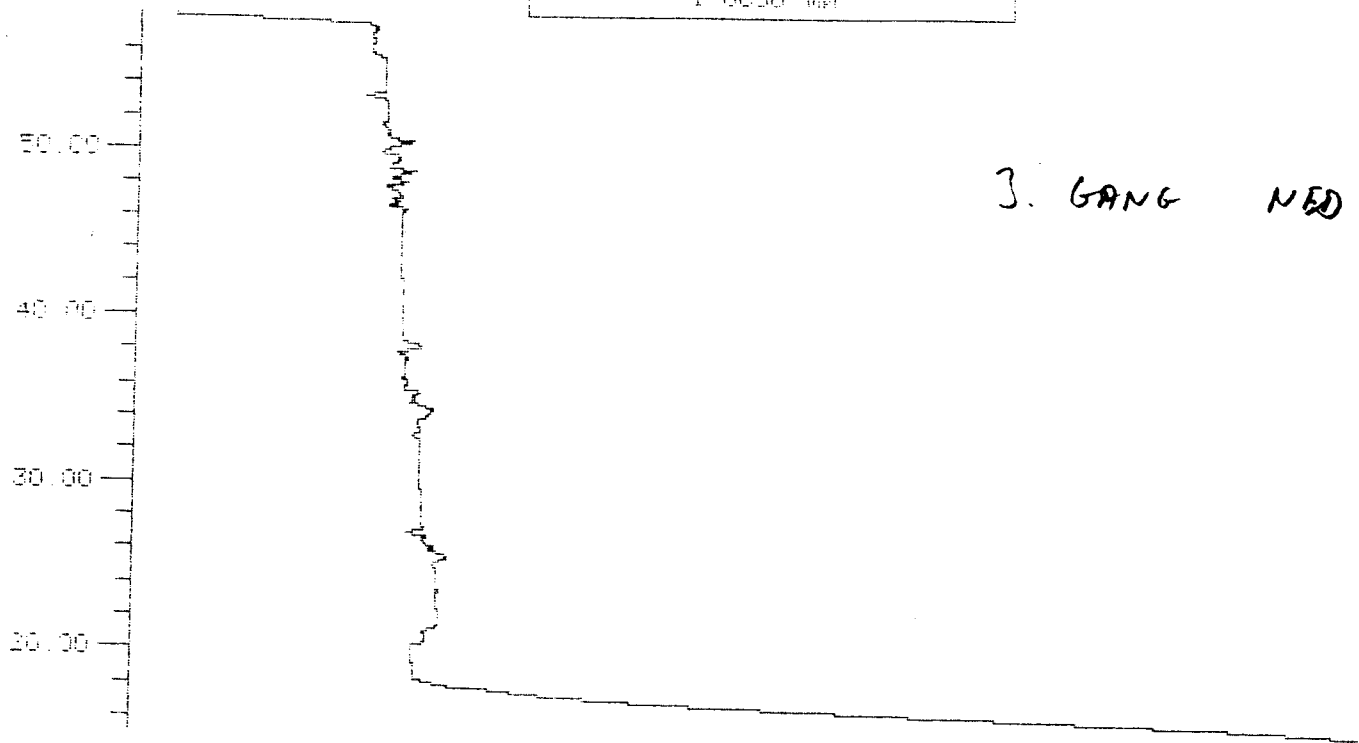
END SCREEN °C

15.1

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

1 0000 min



3. GANG NED

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

METHOD NO.

1 IV

BLANDING NR. 4

25-SEP-89 11:33

HYSTERESE FORSG

IDENT. NO.

89.041

WEIGHT

mg

23.180

BILAG 4 D.

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

10.000 mW

20.00

30.00

40.00

50.00

END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

5.0000 mW

1. GANG OP

20.00

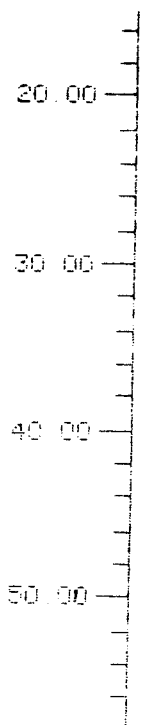
30.00

40.00

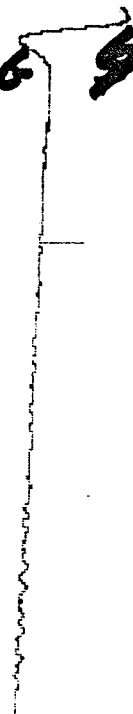
50.00

EXOTHERMAL-->

10.000 mW



BILAB 4B.



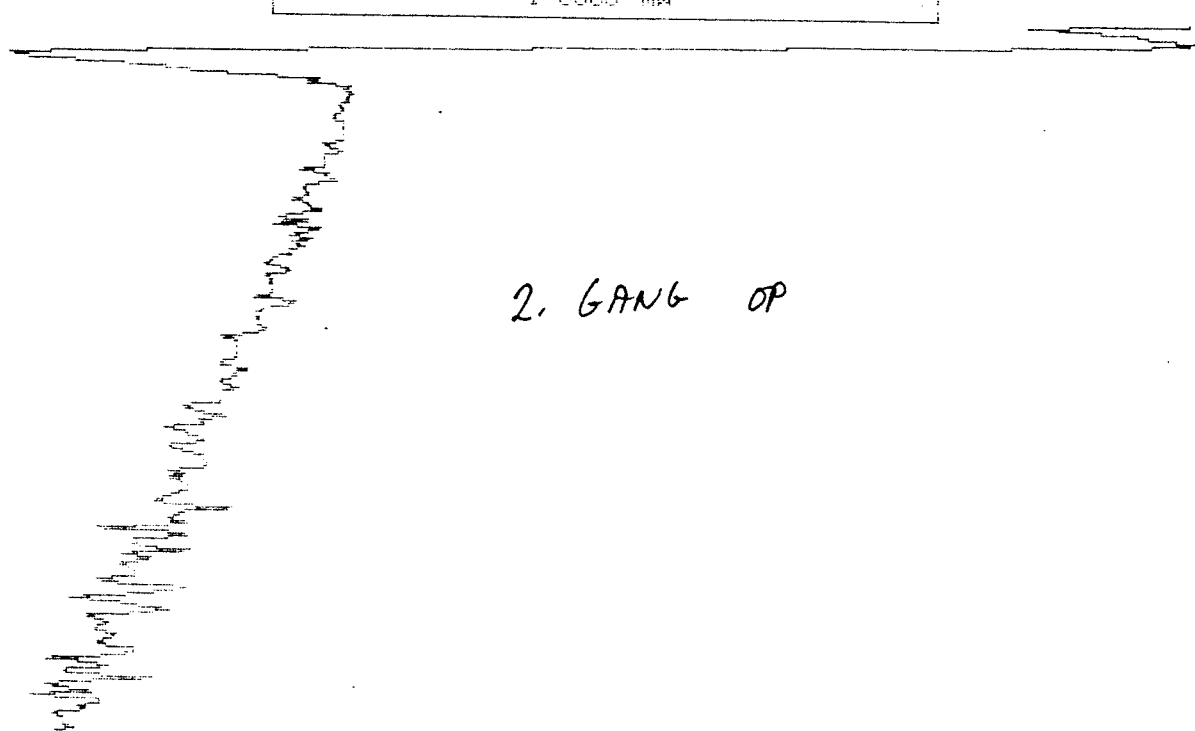
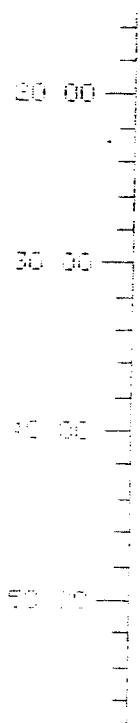
END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

1.0000 mW



2. GANG OP

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

10.000 mW

METHOD NO.

1

V

25-SEP-89

15:08

BLANDING NR. 5.

IDENT. NO.

89.051

WEIGHT

mg

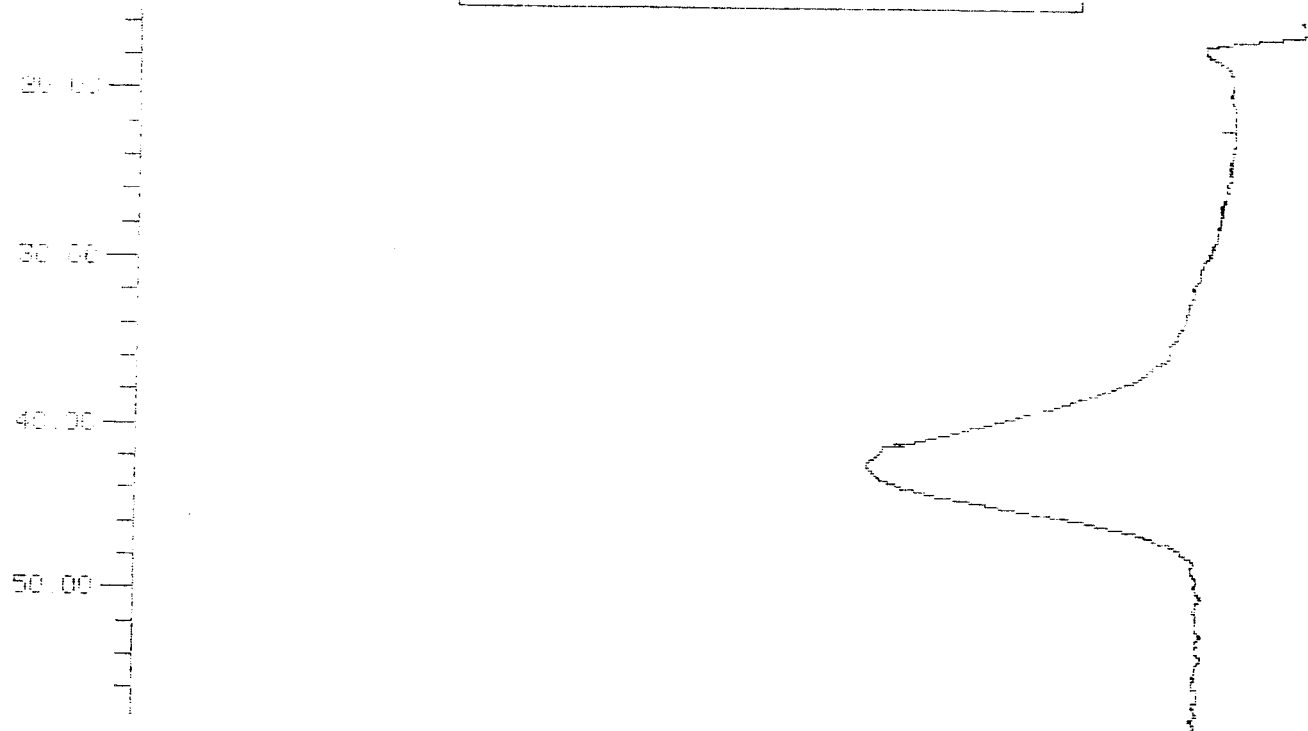
30.565

HYSTERESEFORSØG

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

BILAG 5A

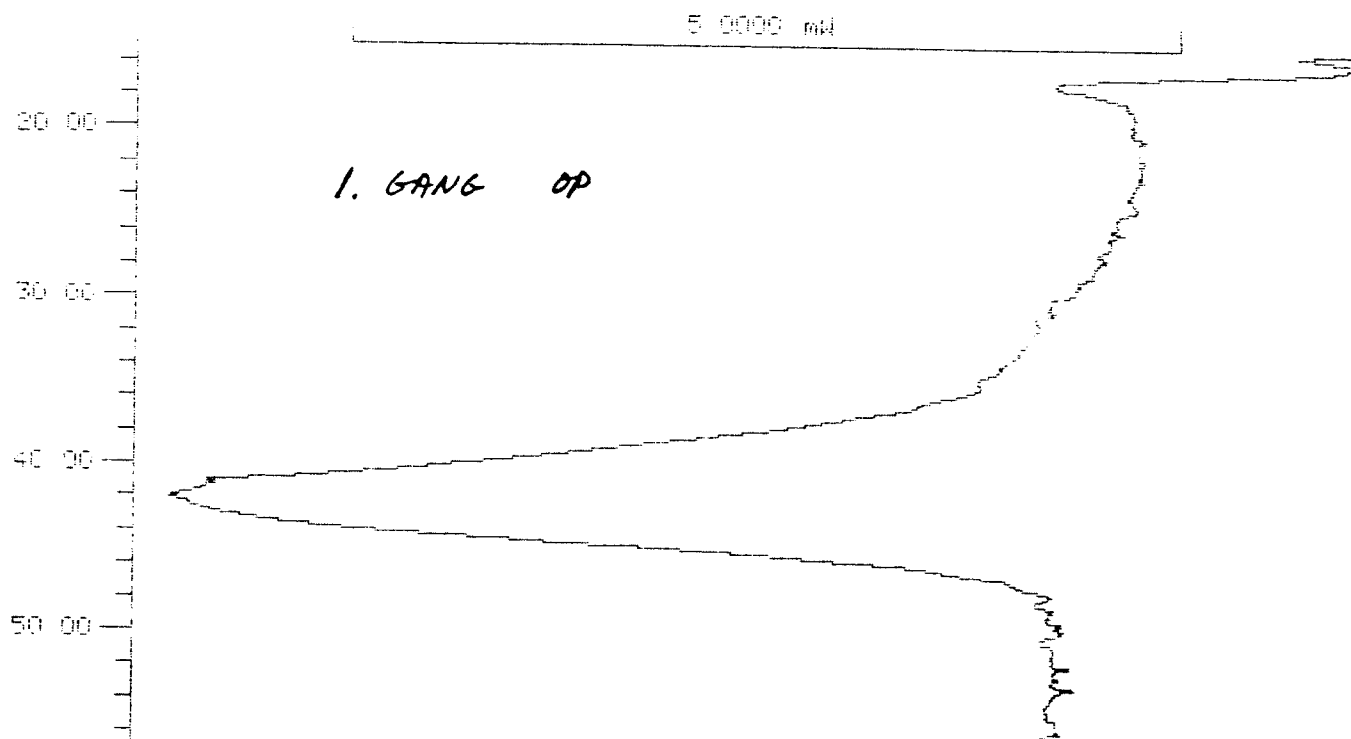


END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



10.0000 mW

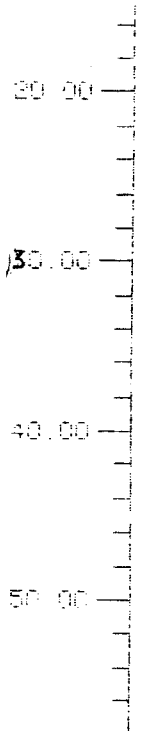


B/LAG 5B

END SCREEN °C 57.9

TEMPERATURE °C HEAT FLOW EXOTHERMAL-->

1.0000 mW



2. GANG OP

TEMPERATURE °C HEAT FLOW EXOTHERMAL-->

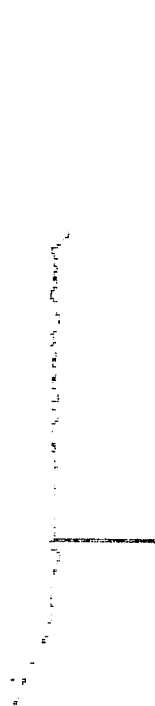
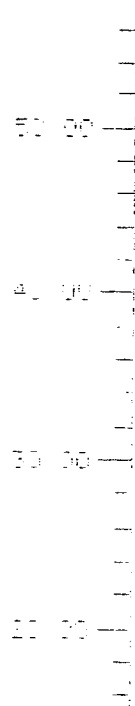
10.0000 mW

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

B/LA6 5C

10.000 mW



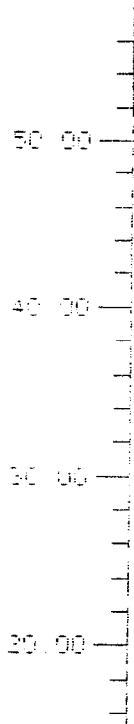
END SCREEN °C

15.1

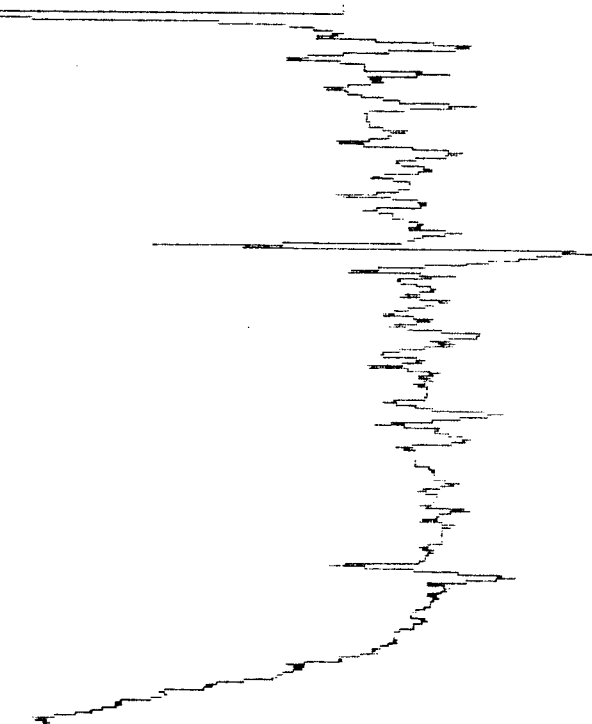
TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

1.0000 mW



1. GANG NED



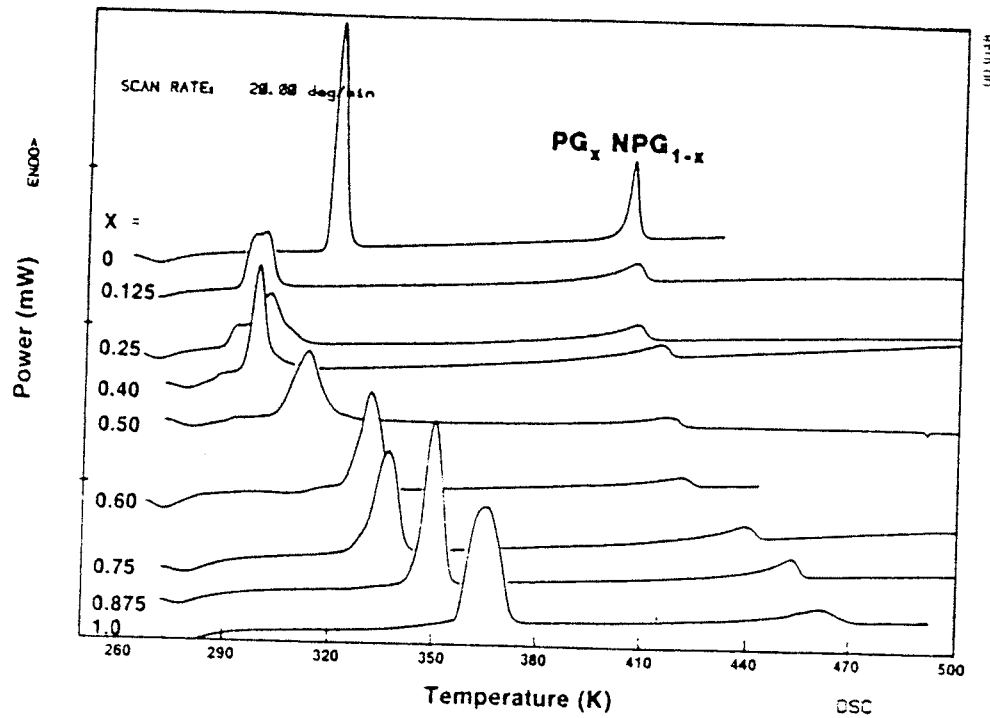


Figure 3-1. Differential Scanning Calorimetry Recordings of Solid Solution Mixtures of PG and NPG (x = molar fraction of PG in the mixture)

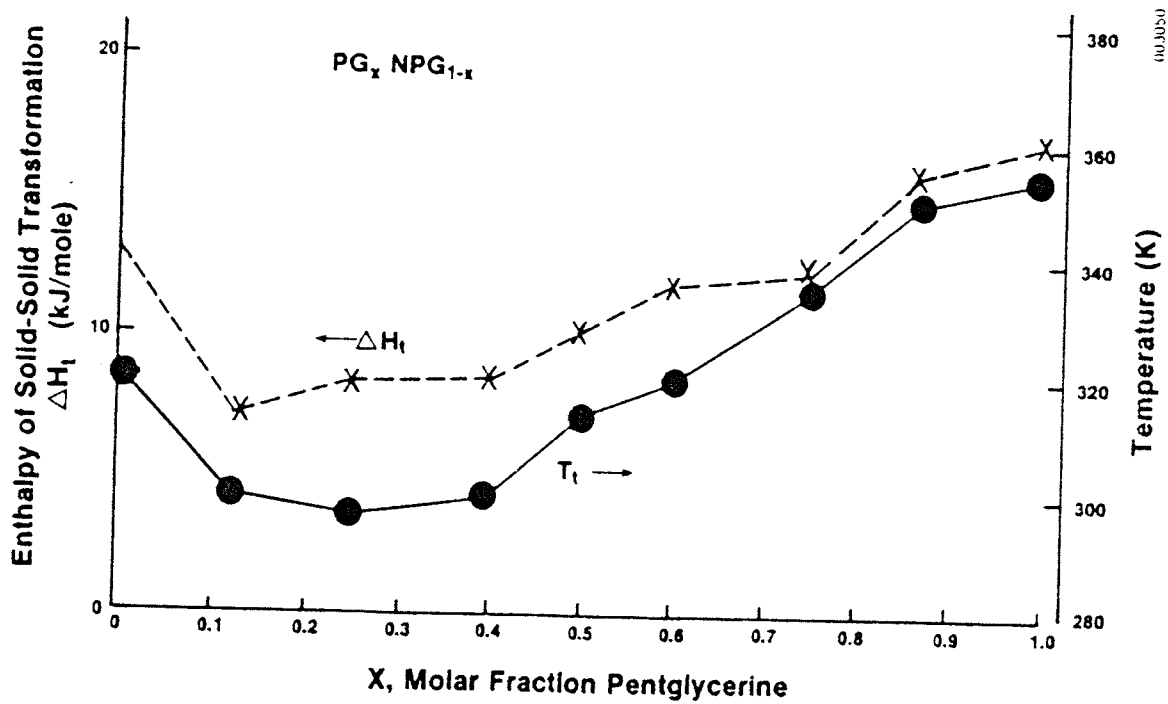


Figure 3-3. Measured Enthalpies and Temperatures of Solid-State Transformation for Mixtures of PG in NPG (Heating rate of 20 K/min)

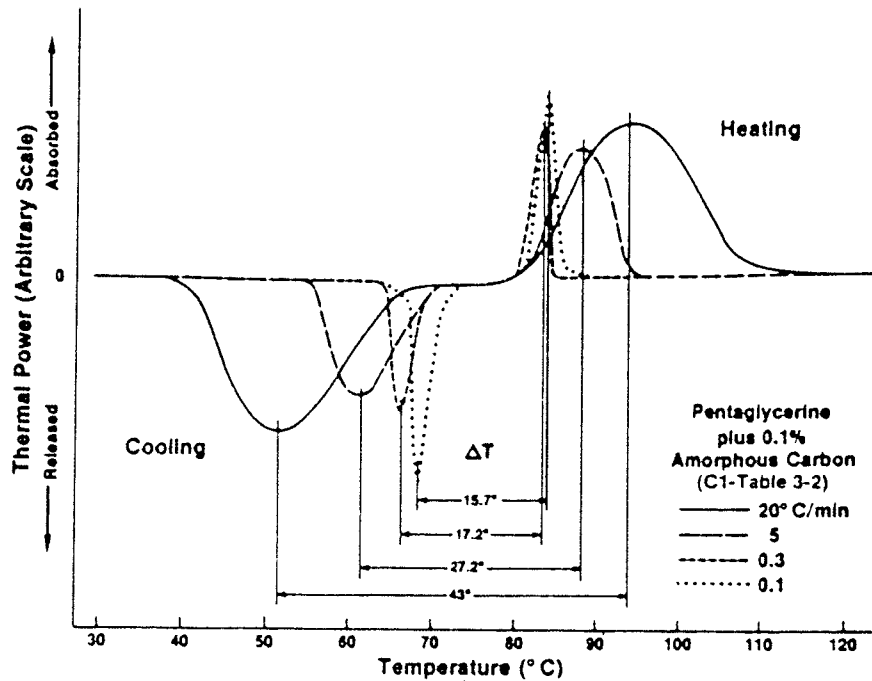


Figure 3-9. Differential Scanning Calorimetry Recordings of the Thermal Absorption and Thermal Energy Release from PG at Different Heating and Cooling Rates. (The temperature difference ΔT between the solid-state transition during heating and the reverse transition during cooling is an undercooling effect attributable to the kinetics of transformation.)

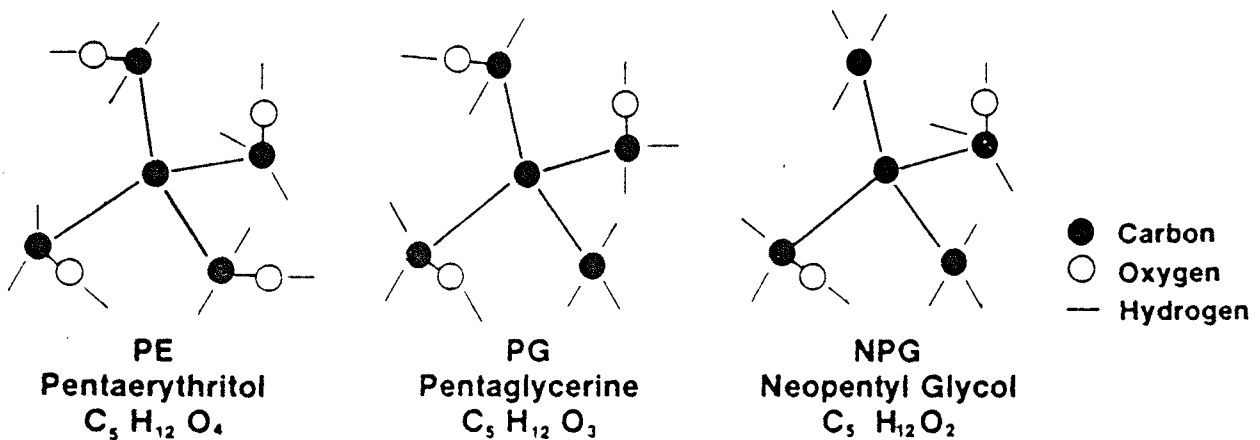


Figure 1-2. Structural Formulas for Three Polyols. (All are tetrahedral molecules with two to four hydroxyl groups attached at the vertices of the tetrahedron.)

Til : Vagn Korsgaard, Viggo Thrane, Erik Petersen, Kurt Stokbæk	LAB-NR: -
Kopi: CS, TJJ	PU-NR: 88/001
Fra : Carl Erik Bech	PG-NR: *
Højisoleret let vægelement med stor termisk kapacitet. DSC forsøg på gips med SSPCM.	

Indledning.

Ved mødet d. 15.11.88 blev det af EP fremført, at polyalkoholblanding A skulle have været reageret for at virke efter hensigten. En spand reageret materiale fremstillet af EP blev modtaget fra Rockwool medio februar.

Forsøget.

Til brug for forsøget blev der i laboratoriet støbt 2 gipspladeprøver, som i forhold til stucco blev tilsat 10 % af den fremstillede SSPCM blanding A, som har følgende sammensætning:

4 mol-% af 1,1',1''-tris(hydroxomethyl)ethan
6 mol-% af 2,2'-dimethyl-1,3-propandiol.

Efter hærkning vil matricen indeholde 7.8 vægt-% polyalkohol.

Resultater.

Afbindingsforsøg.

Forud for støbningen af prøvepladerne blev det undersøgt, om den fremstillede blandingspolyalkohol havde nogen uheldig indflydelse på gipsens hærdeforløb. Temperaturforløbet i en gipsslurry hældt i en isoleret beholder blev fulgt ved hjælp af termoelementer. Af temperaturstigningskurven udledes to tidspunkter, som mål for henholdsvis starttidspunkt og sluttidspunkt for hærningen. Resultaterne af disse forsøg ses i tabel 1.

Tilsætningsstof	1. set min	2. set min
1,1',1''-tris(hydroxomethyl)ethan		
2,2'-dimethyl-1,3-propandiol	6	17.5

Benyttet recept: 50 g stucco, 38 g vand, 5 g polyalkohol.

Tabel 1. Retarderingsforsøg med polyalkoholer.

DSC-forsøg.

Hos Danogips har vi fremskyndet en planlagt investering i et differentielt scanning calorimeter fra Mettler. I stedet for at gennemføre de sammenlignende forsøg på samme måde som sidst, er undersøgelserne derfor gennemført på det nye udstyr.

Fra de støbte plader (tørret ca. 2 uger ved 40 C) og fra den reagerede klump polyalkohol afskrabes en lille mængde materiale, som vejes og anbringes i en aluminiumdigel forsynet med et lille hul til trykudligning. Diglen opvarmes under samtidig registrering af temperatur og tilført varmemængde. Resultaterne ses i bilagene.

- Bilag 0: Rent SSPCM (blanding A). Ikke tørret på forhånd.
Bilag 1: Gipsplade med 7.8 % SSPCM.
Bilag 2: Gipsplade med 7.8 % SSPCM.
Bilag 3: Reference gipsplade produceret på pladefabrikken.

Diskussion.

Den rene blanding starter sit faseskift ved 28 C og toppe ved 39 C, som det ses af bilag 0.2. I bilag 0.3 er overgangsenthalpien beregnet til 80.5 J/g, hvilket stemmer fint overens med litteraturværdien 76 J/g.

Imellem 18 og 23 C optræder der 2 eller 3 toppe på kurverne for såvel rent SSPCM, gips + SSPCM og reference gipsen. Om disse toppe evt. skyldes indsvingningsfænomener eller evt. kan tilskrives, at udstyret kun er kalibreret fra 20 C og opad er endnu uafklaret. Hvis de er reelle fænomener kan toppen ved ca. 19 C kan stamme fra SSPCM, men kan også stamme fra fordampningen af adsorberet vand (hygroskopiske materialer). Toppen ved ca. 21 C er ret markant og vil blive undersøgt nærmere under nedkøling og ved opvarmning fra lavere temperaturer end 18 C.

Som bilag 1.1 viser, er det umuligt at få øje på en markant top ved 39 C, men om dette evt. skyldes at SSPCM ikke er repræsenteret i den udtagne prøve er endnu uvist. Der vil blive undersøgt flere prøver for at afklare dette.

Konklusion.

Støbningen af prøvepladerne var også med det reagerede materiale forbundet med store lugtgener.

Det udvalgte SSPCM salt har tilsyneladende en overgangstemperatur, der ligger i intervallet 28 - 44 C med top i nærheden af 39 C. Denne værdi stemmer godt sammen med de tidligere forsøg med opvarmning af gipsplader, der viste et overgangsinterval mellem 24 og 44 C.

Overgangstemperaturen for saltet skal være lavere, ellers vil den ønskede temperaturregulering ikke finde sted.

Det er endnu ikke lykkedes at eftervise saltets varmeakkumulerende evner i en gipsplade. Flere forsøg er på vej.

PEAK INTEGRATION

BILAG 0.1.

16-MAR-89 15:44

16-MAR-89 15:22 **

PEAK INTEGRATION

DYN/ISO 1/2 1
 AUTOLIMIT 0/1 0
 START 18
 END 23
 START B. LINE 18
 END B. LINE 23
 BASELINE TYPE 8
 PLOT CM 10
 PLOT MODE 101

SSPCM

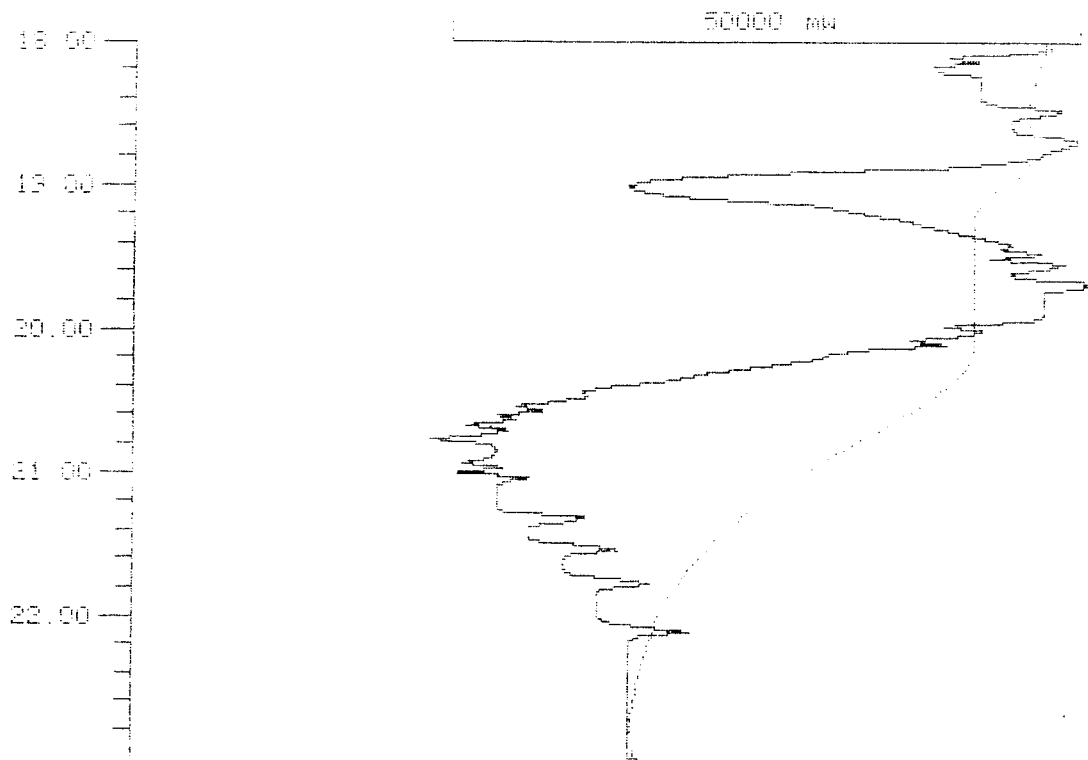
1.0PVARNING 18-28 °C

IDENT. NO. 88.001
 RATE K/MIN. 1
 WEIGHT mG 9.243

WARNING 7

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
 EXOTHERMAL-->



ΔH ENDO mJ 25.477
 ΔH J/G 2.7563
 PEAK TEMP. °C 20.7

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

SCREEN

17-MAR-89 8:22

BILAG 0.2.

16-MAR-89 15:50 **

SCREEN

DYN/ISO 1/2

START

END

BASELINE TYPE

PLOT CM

PLOT MODE

1

18

58

1

10

1

SSPCH

2. OPVARMNING 18-58 °C

IDENT. NO.

88.001

RATE K/MIN.

1

WEIGHT mg

9.243

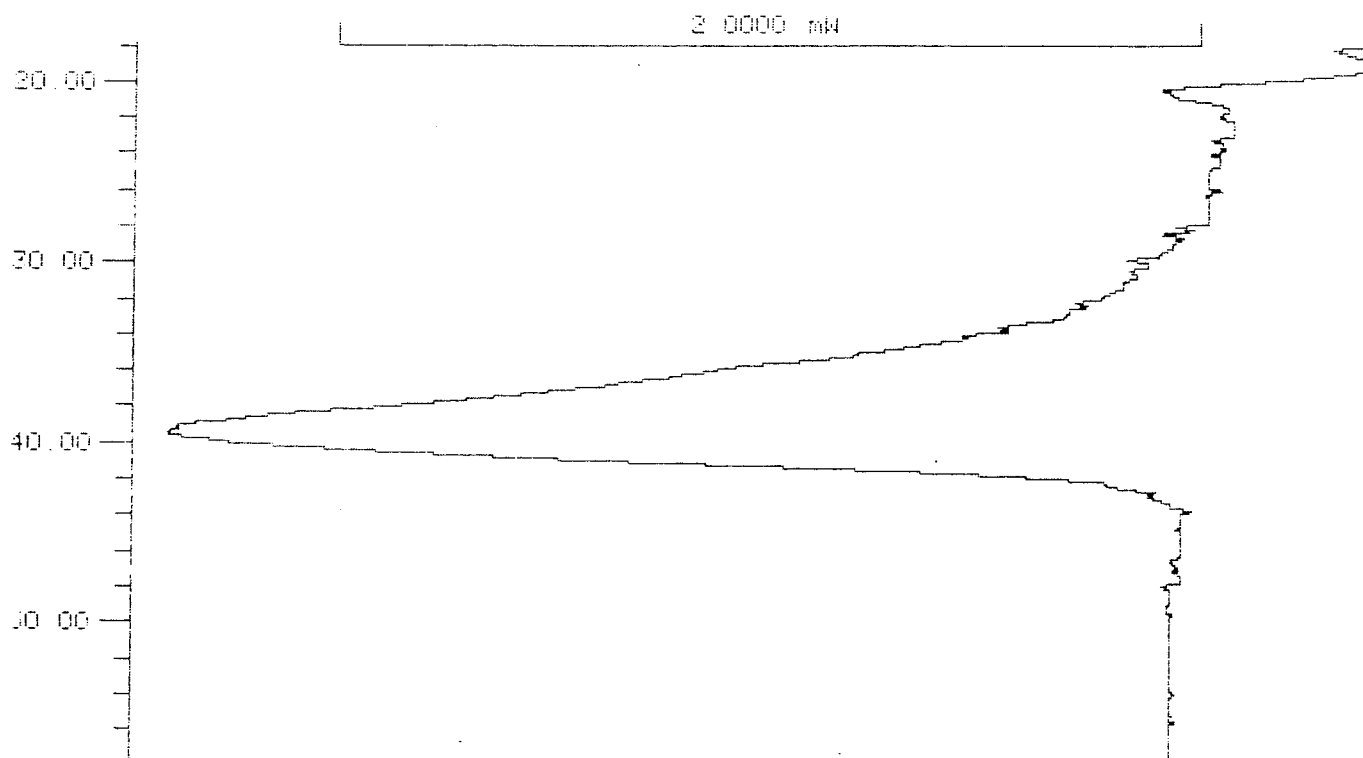
END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW

EXOTHERMAL-->



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

PEAK INTEGRATION

17-MAR-89 8:39

BILAG 0.3

16-MAR-89 15:50 **

PEAK INTEGRATION

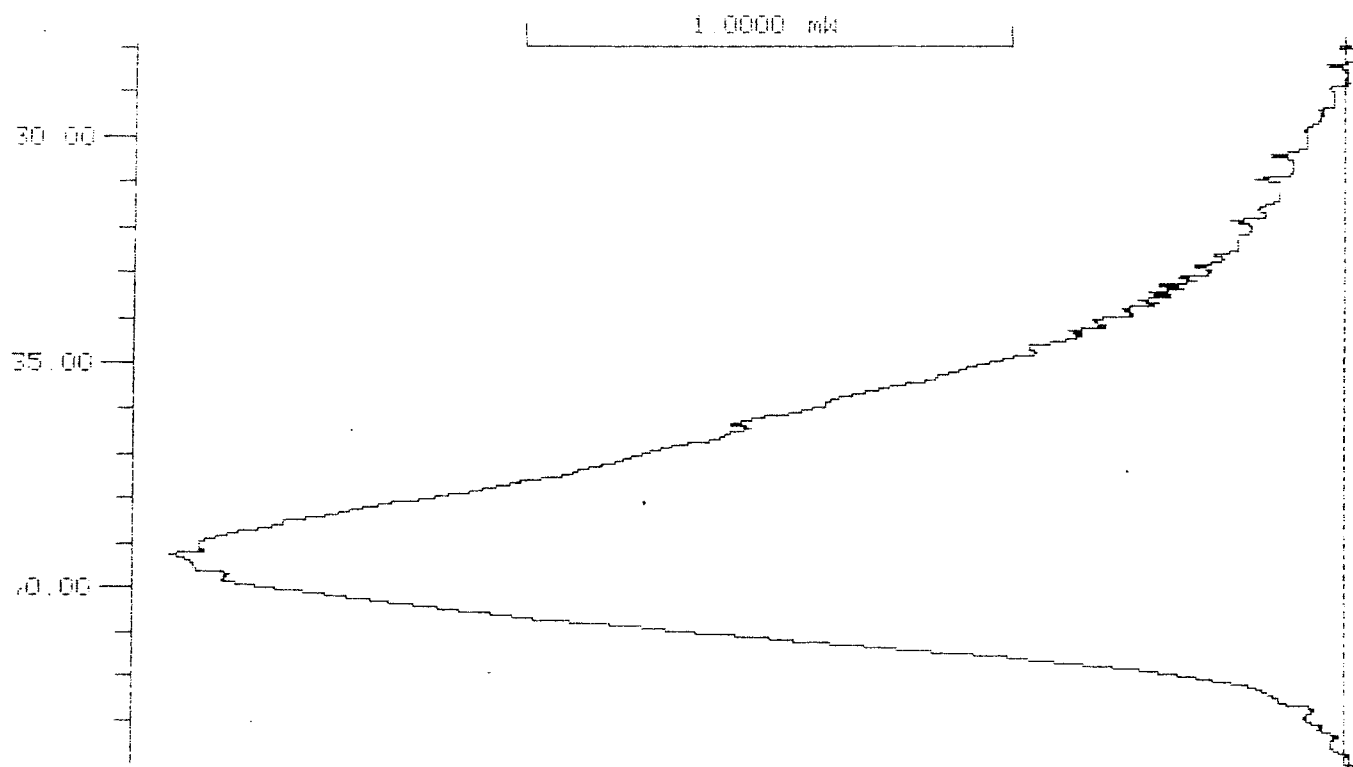
DYN/ISO 1/2 1
 AUTOLIMIT 0/1 0
 START 28
 END 44
 START B. LINE 28
 END B. LINE 44
 BASELINE TYPE 8
 PLOT CM 10
 PLOT MODE 101

SSPCM

IDENT. NO. 88.001
 RATE K/MIN. 1
 WEIGHT mg 9.243

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
 EXOTHERMAL-->



CH ENDO mJ 744.20
 CH J/G 80.515
 PEAK TEMP. °C 39.1

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

SCREEN

17-MAR-89 14:31

BILAG 1.1.

17-MAR-89 11:44 **

SCREEN

DYN/ISO 1/2 1

START 18

END 58

BASELINE TYPE 1

PLOT CM 10

PLOT MODE 1

GIPS + SSPCM

1. GANG 18-58 °C.

IDENT. NO. 88.201

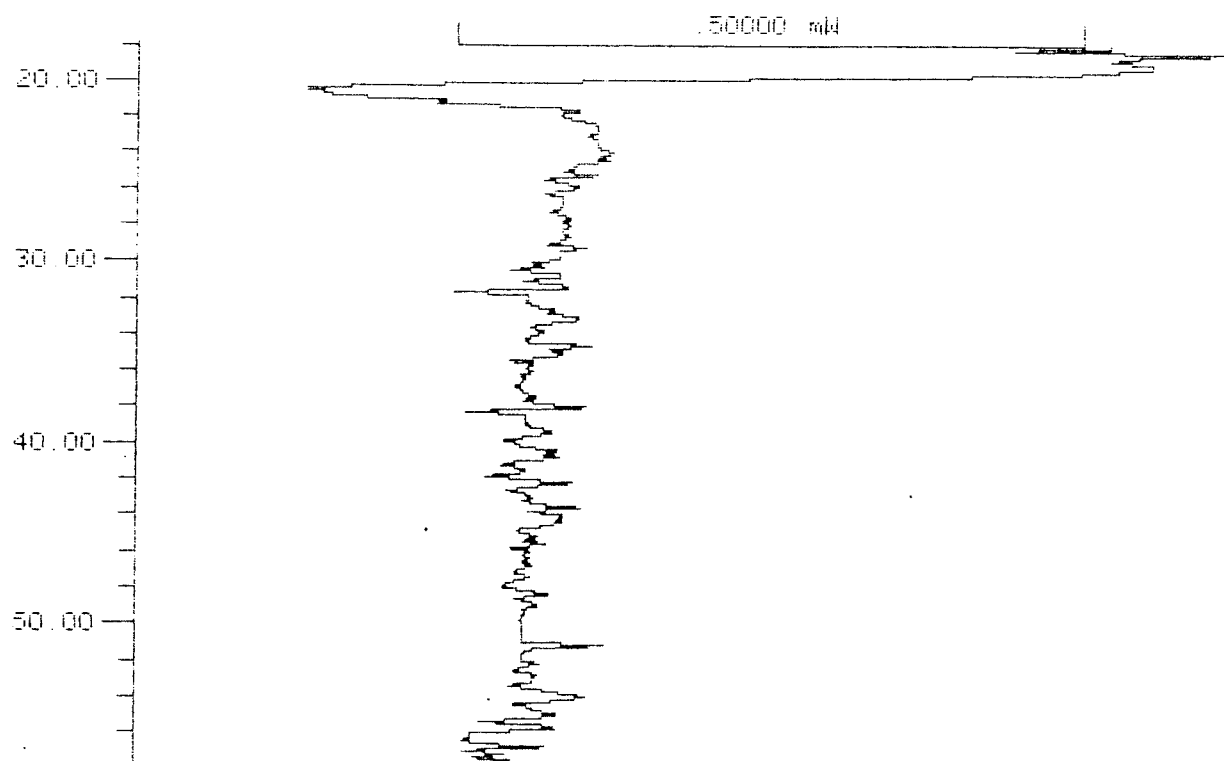
RATE K/MIN. 1

WEIGHT mG 21.339

END SCREEN °C 57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

PEAK INTEGRATION

17-MAR-89 14:38

BILAG 1.2.

17-MAR-89 11:44 **

PEAK INTEGRATION

DYN/ISO 1/2 1
 AUTOLIMIT 0/1 0
 START 18
 END 23
 START B. LINE 18
 END B. LINE 23
 BASELINE TYPE 8
 PLOT CM 10
 PLOT MODE 101

GIPS + SSPCM

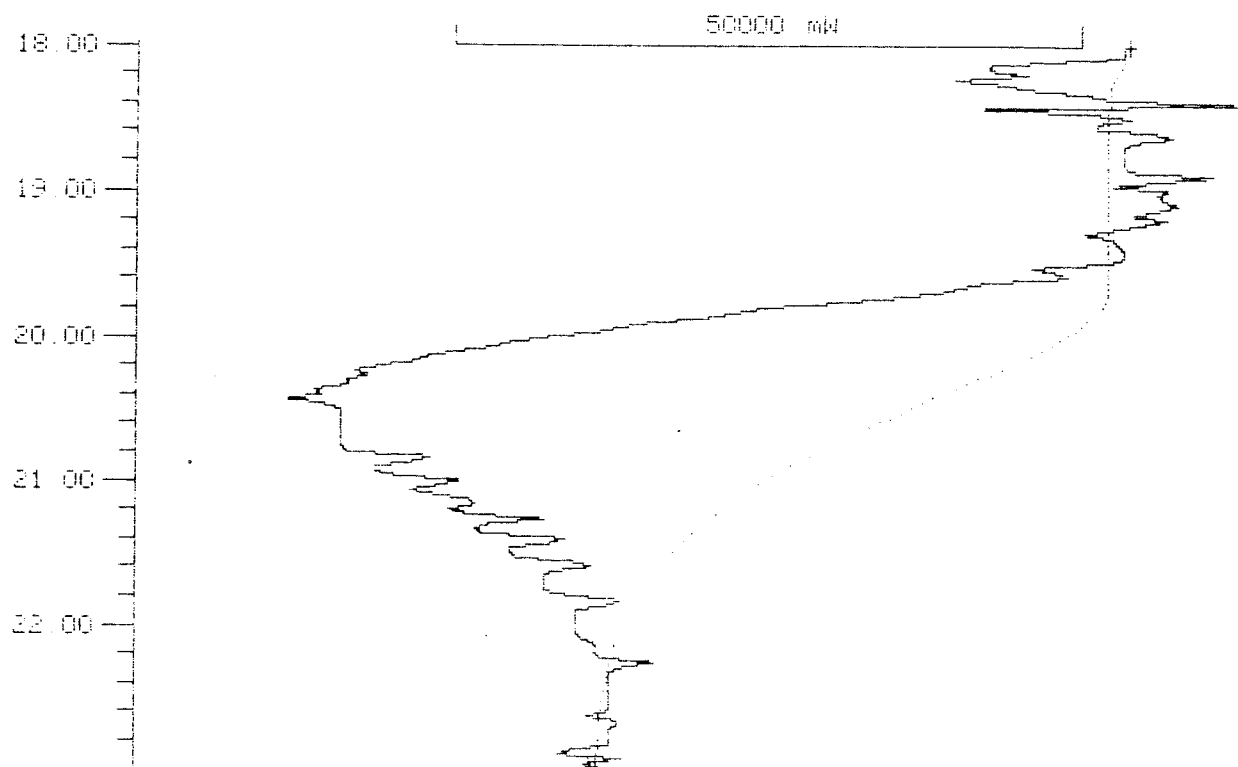
1. GANG 18-58 °C

IDENT. NO. 88.201
 RATE K/MIN. 1
 WEIGHT mG 21.339

WARNING 7

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
 EXOTHERMAL-->



CH ENDO mJ 39.711
 CH J/G 1.8610
 PEAK TEMP. °C 20.4

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

SCREEN

16-MAR-89 10:46

BILAG 2.1.

16-MAR-89 10:12 **

SCREEN

DYN/ISO 1/2

START

END

BASELINE TYPE

PLOT CM

PLOT MODE

1

20

30

1

10

2132

GIPS + SSPCM

1. OPVARNING TIL 40°C

IDENT. NO.

RATE K/MIN.

WEIGHT mG

88.201

1

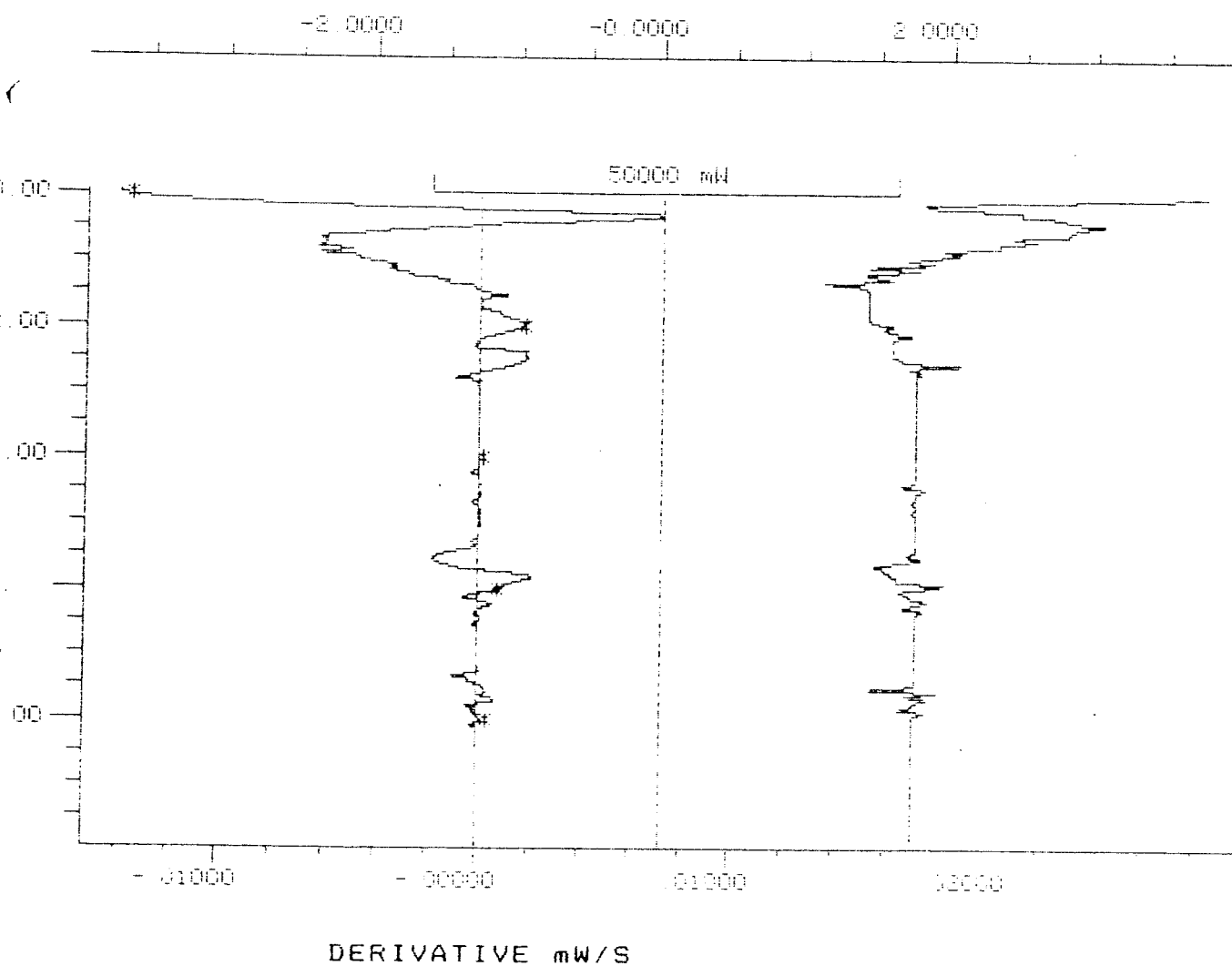
15.441

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW

EXOTHERMAL-->

mW/100mG



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

PEAK INTEGRATION

16-MAR-89 11:46

BILAG 2.2.

16-MAR-89 11:15 **

PEAK INTEGRATION

DYN/ISO 1/2 1
 AUTOLIMIT 0/1 0
 START 18
 END 23
 START B. LINE 18
 END B. LINE 23
 BASELINE TYPE 8
 PLOT CM 10
 PLOT MODE 101

GIPS + SSPCM

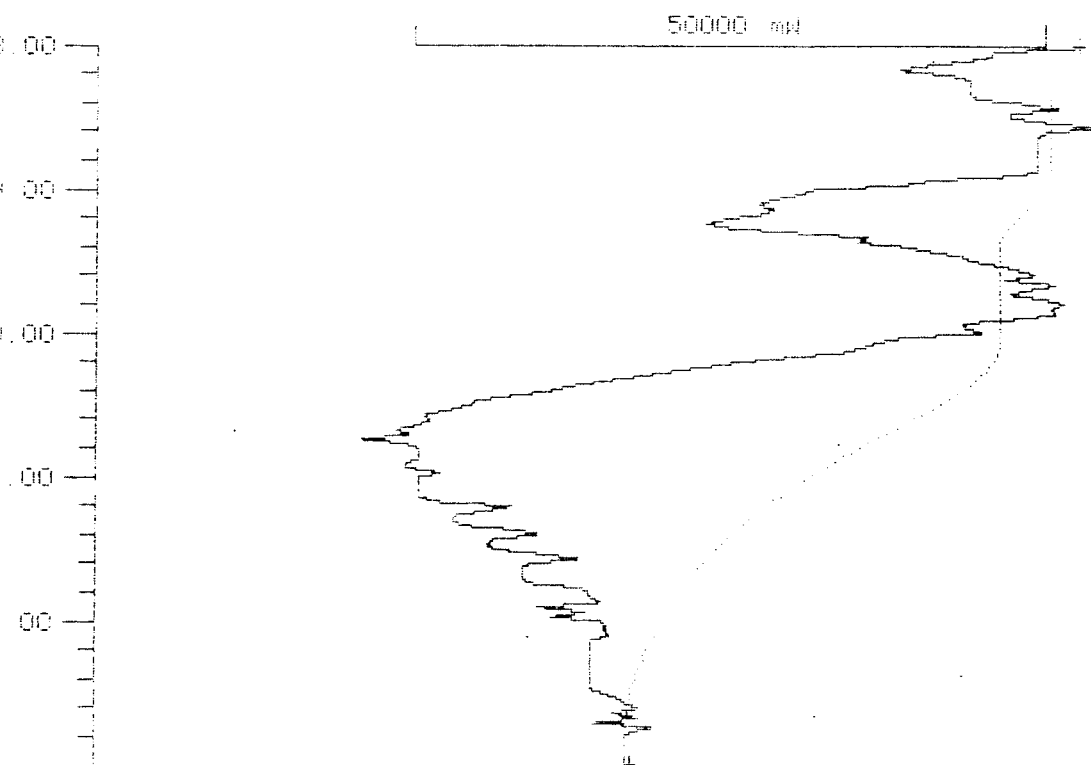
2 OPVARNING TIL 28°C

IDENT. NO. 88.201
 RATE K/MIN. 1
 WEIGHT mG 15.441

WARNING 7

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
 EXOTHERMAL-->



CH ENDO mJ 35.982
 ΔH J/g 2.3303
 PEAK TEMP. °C 20.8

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

SCREEN

17-MAR-89 11:10

BILAG 2.3.

17-MAR-89 10:04 **

SCREEN

DYN/ISO 1/2

START

END

BASELINE TYPE

PLOT CM

PLOT MODE

1

18

58

1

10

1

GIPS + SSPCM

3. OPVARMING TIL 58 °C

IDENT. NO.

RATE K/MIN.

WEIGHT mg

88.201

1

15.441

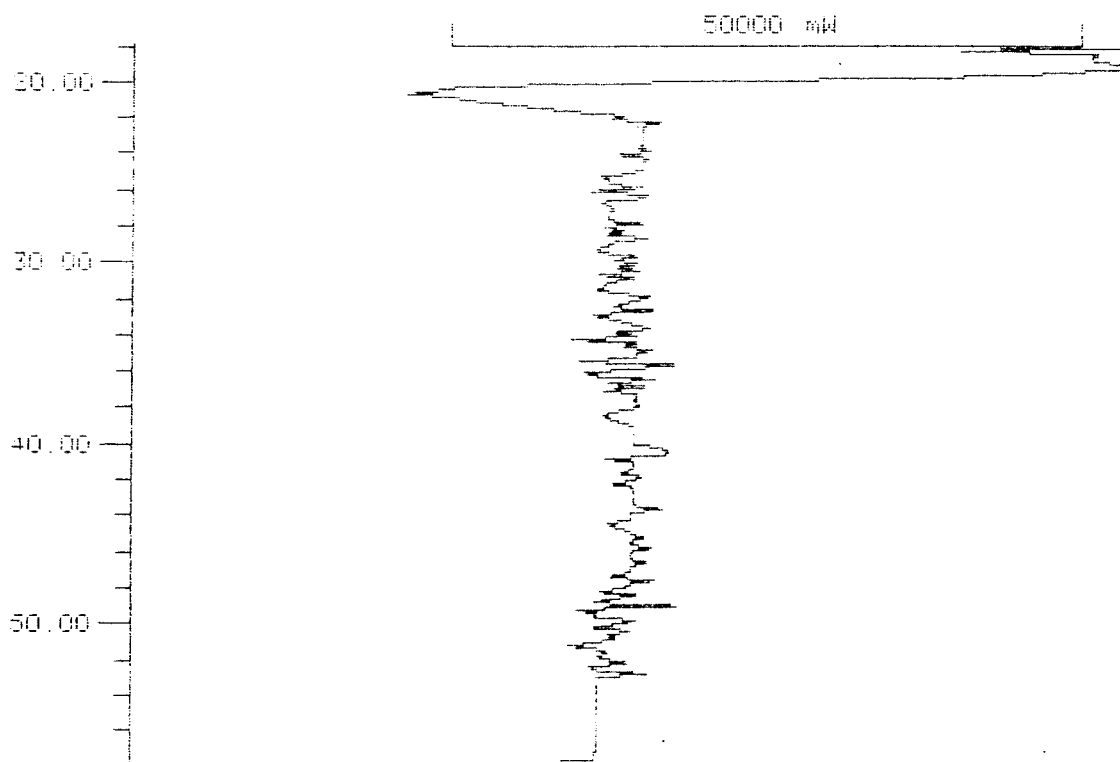
END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW

EXOTHERMAL-->



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

PEAK INTEGRATION

17-MAR-89 11:25

BILAG 2.4.

17-MAR-89 10:04 **

PEAK INTEGRATION

DYN/ISO	1/2	1
AUTOLIMIT	0/1	0
START		18
END		23
START B. LINE		18
END B. LINE		23
BASELINE TYPE		1
PLOT	CM	10
PLOT MODE		101

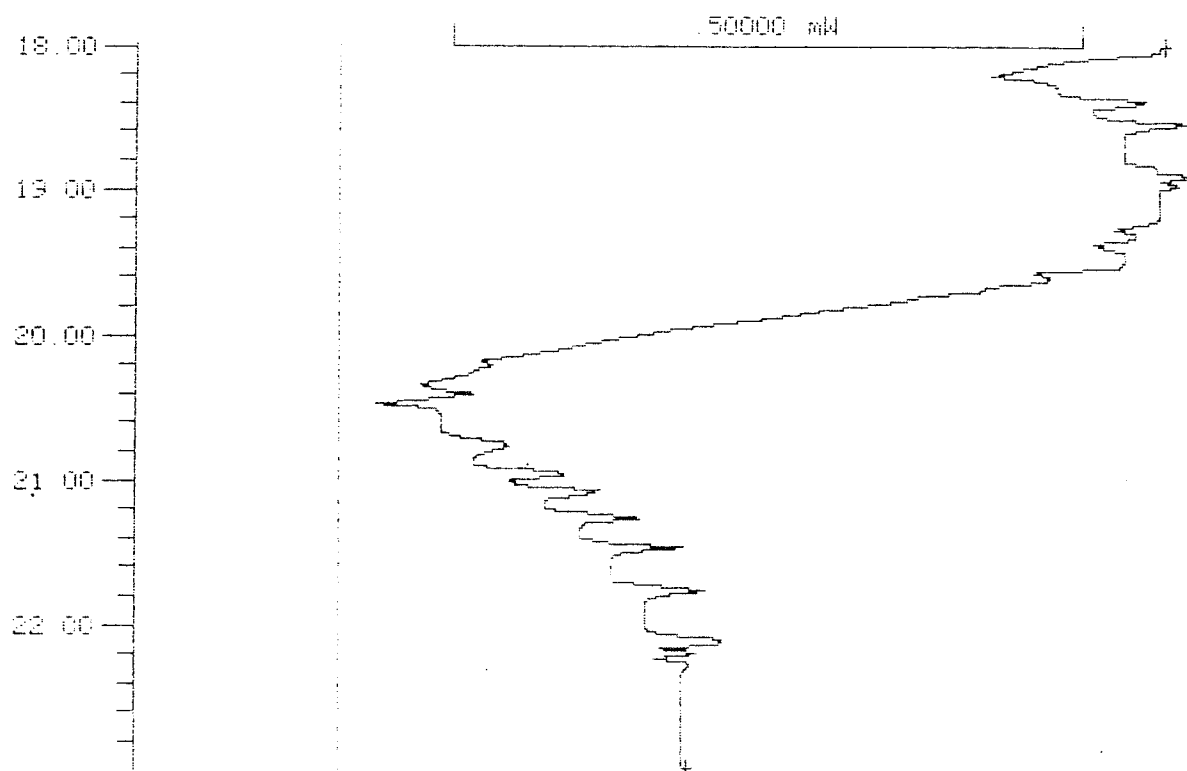
GIPS + SSPCM

3. OPVARNING TIL 58°C

IDENT. NO.	88.201
RATE K/MIN.	1
WEIGHT mg	15.441

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



ΔH EXO	mJ	105.26
ΔH	J/G	6.8169
PEAK TEMP.	°C	18.6

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

SCREEN

BILAG 3.1

16-MAR-89 13:51

16-MAR-89 13:16 **

SCREEN

DYN/ISO 1/2

START

END

BASELINE TYPE

PLOT CM

PLOT MODE

1

18

28

1

10

1

REFERENCE GIPS PLADE.

IDENT. NO.

88.301

RATE K/MIN.

1

WEIGHT mg

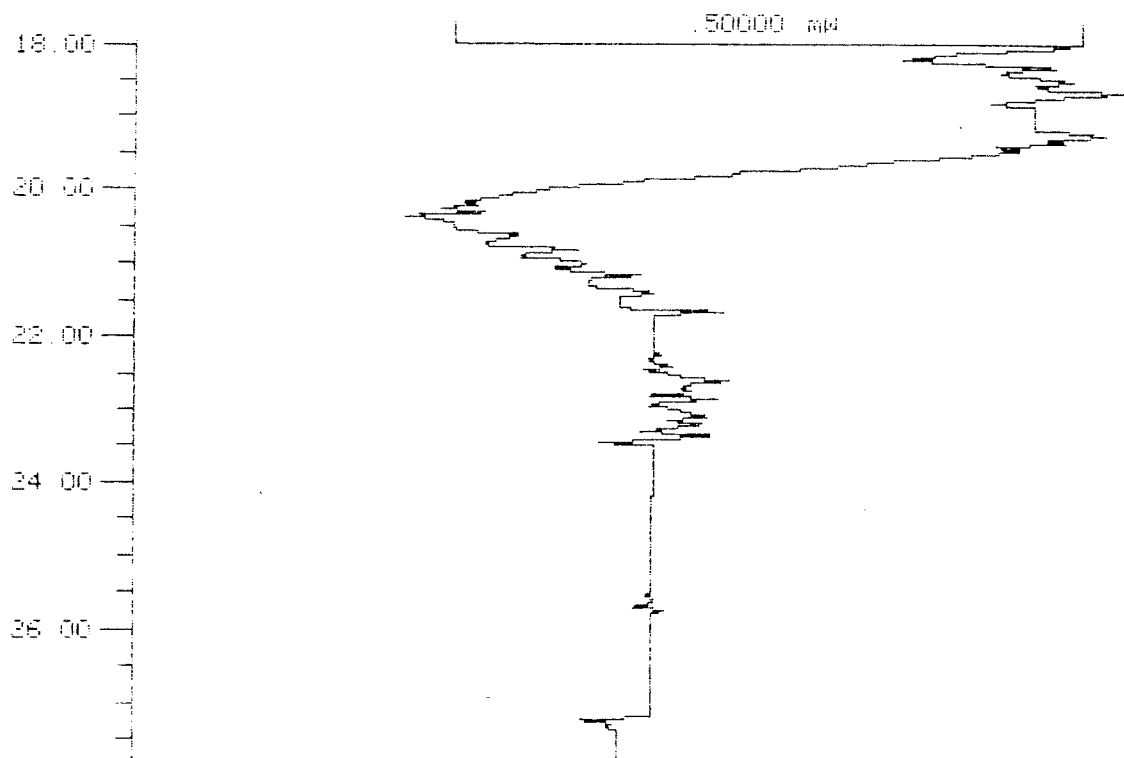
15.817

END SCREEN °C

27.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

PEAK INTEGRATION

16-MAR-89 13:55

B/LAG 3.2

16-MAR-89 13:16 **

PEAK INTEGRATION

DYN/ISO 1/2 1
AUTOLIMIT 0/1 0
START 18
END 23
START B. LINE 18
END B. LINE 23
BASELINE TYPE 8
PLOT CM 10
PLOT MODE 101

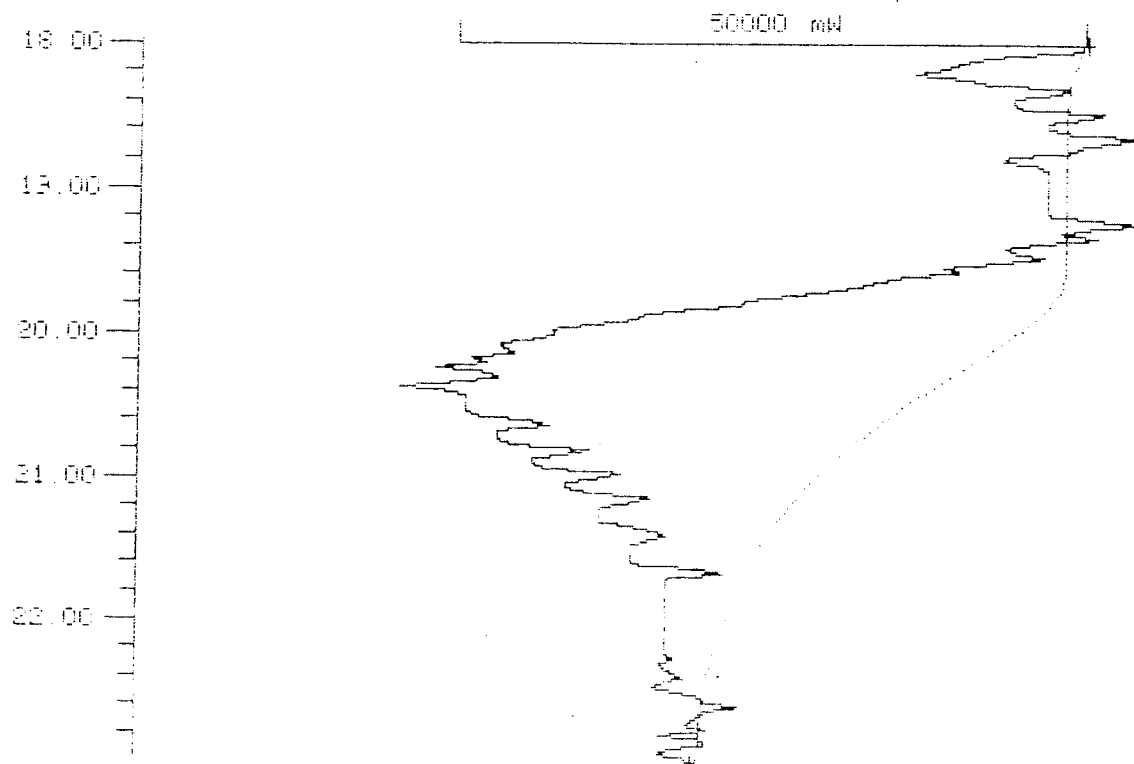
REFERENCE GIPSPLADE.

IDENT. NO. 88.301
RATE K/MIN. 1
WEIGHT mG 15.817

WARNING 7

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



CH ENDO mJ 35.203
CH J/G 2.2256
PEAK TEMP. °C 20.4

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

Til : Vagn Korsgaard, Viggo Thrane, Erik Petersen, Kurt Stokbæk	LAB-NR: -
Kopi: CS, TJJ	PU-NR: 88/001
Fra : Carl Erik Bech	PG-NR: *
Højisoleret let vægelement med stor termisk kapacitet. DSC forsøg på forskellige SSPCM blandinger.	

Indledning.

I forbindelse med mødet hos Rockwool d. 20.03.89 blev det aftalt, at EP fremstillede nogle blandinger af polyalkoholer med forventet lavere omdannelses temperaturer. CEB lovede at undersøge disse i DSC.

Forsøget.

I slutningen af marts modtog vi 5 prøver med sammensætninger som ses i bilag 6. De fire første blandinger var faste, hvorimod den 5. prøve virkede cremeagtig. Fra toppen i hvert glas blev der afskrabet prøvemateriale, som vejes og anbringes i en aluminiumdigel forsynet med et lille hul til trykudligning. Diglen opvarmes under samtidig registrering af temperatur og tilført varmemængde (DSC).

Resultater af DSC-forsøg.

Resultaterne ses i bilagene 1-5. Blandingsnummer svarer til bilagsnumrene. I tabel 1 ses en opsummering af resultaterne.

Blan- ding nr.	PG mol- %	NPG mol- %	HG + vægt-%	G H	Temperaturer Spids Interval C C		Omdannelses- enthalpi J/g
1	50	50			36.3	23 - 44	83
2	30	70			30.7	24 - 41	24
3	40	60	10		41.0	25 - 51	94
4	40	60		10	34.4	26 - 41	24
5	40	60		5	38.1	25 - 44	60

Tabel 1. Blandinger og aflæste værdier fra DSC-kurverne.

Diskussion.

Som det kan ses af tabel 1 og kurvernes udseende er der stor forskel på omdannelsesenthalpien og på omdannelsesforløbets udseende:

Blanding 1 har tendens til en tredeling af toppen.

Blanding 2 har en meget bred spids.

Blanding 3 og 4 har ret skarpe spidser.

Blanding 5 har todelt spids.

Konklusion.

På grund af vanskelighederne med at tolke kurverne, blev det aftalt med EP, at vi skulle forsøge at køre nogle forsøg oppe fra og ned samt at undersøge hysteres og repeterbarheden. Dette vil blive gjort.

PEAK INTEGRATION

11-APR-89 13:54

B/LAG 1 A

11-APR-89 11:30 **

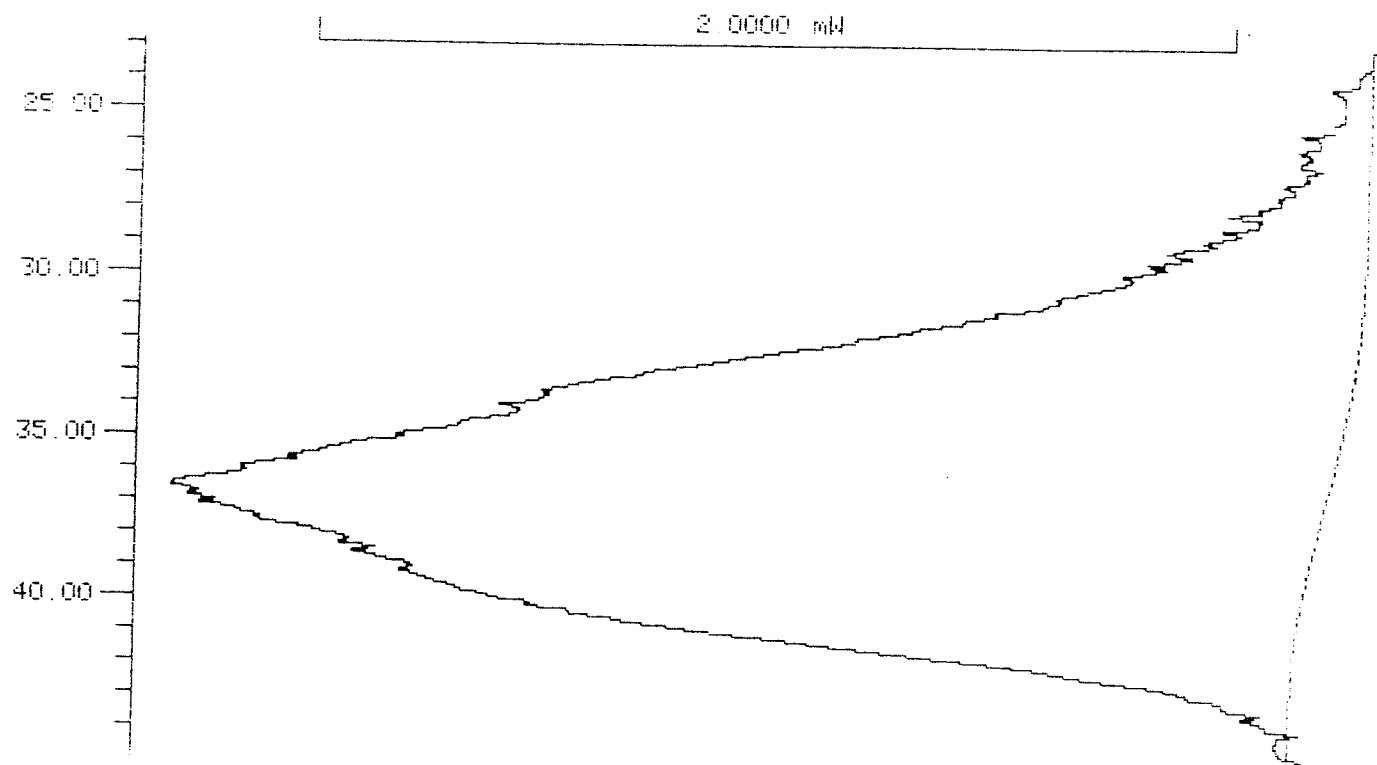
PEAK INTEGRATION

DYN/ISO	1/2	1
AUTOLIMIT	0/1	0
START		23
END		45
START B. LINE		23
END B. LINE		45
BASELINE TYPE		8
PLOT	CM	10
PLOT MODE		101

IDENT. NO.	88.011
RATE K/MIN.	1
WEIGHT mG	15.470

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



ΔH ENDO	mJ	1280.2
ΔH	J/G	82.755
PEAK TEMP.	°C	36.3

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

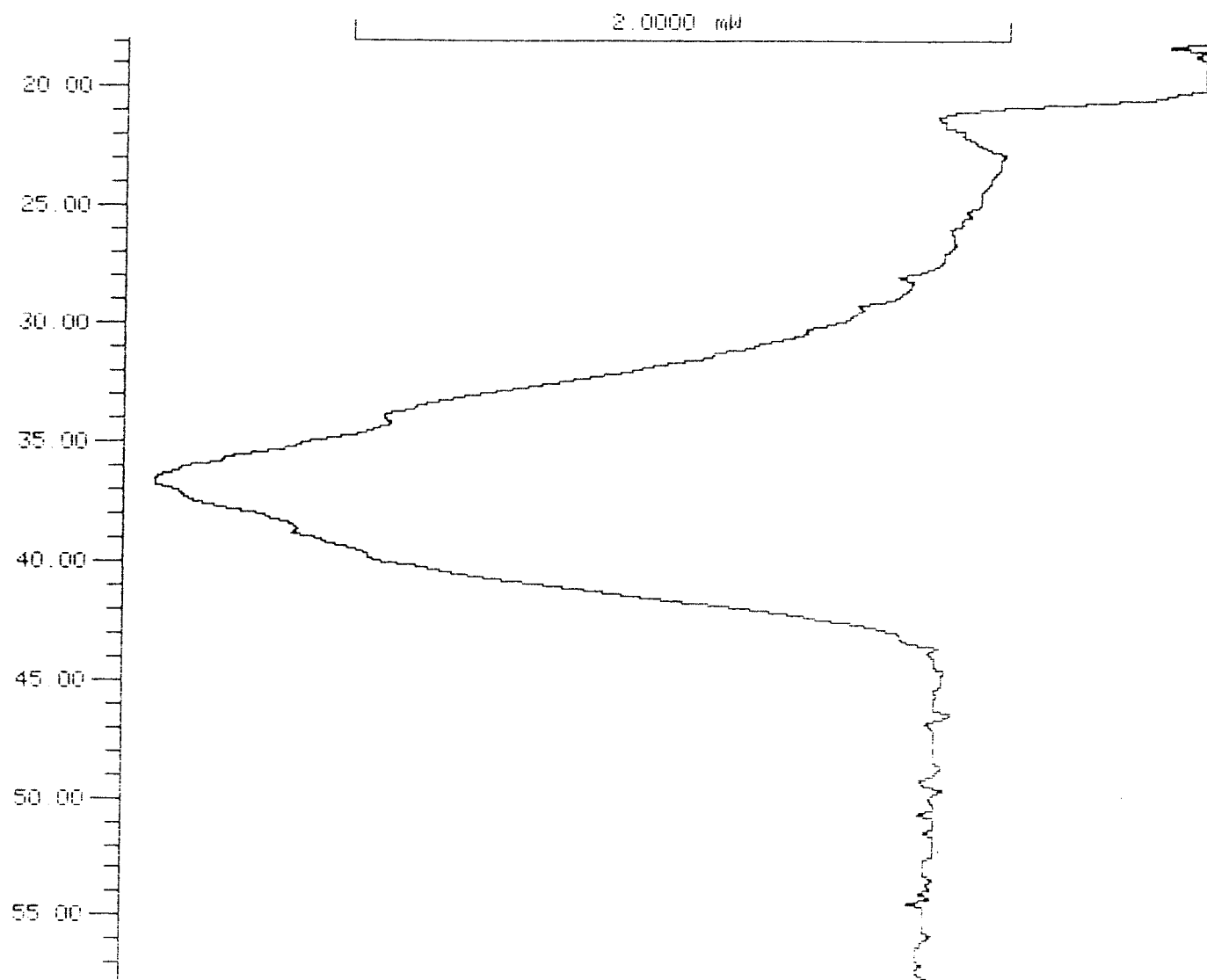
B/LAG 1 B

END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

PEAK INTEGRATION

12-APR-89 9:43

11-APR-89 13:57 **

BILAG 2 A

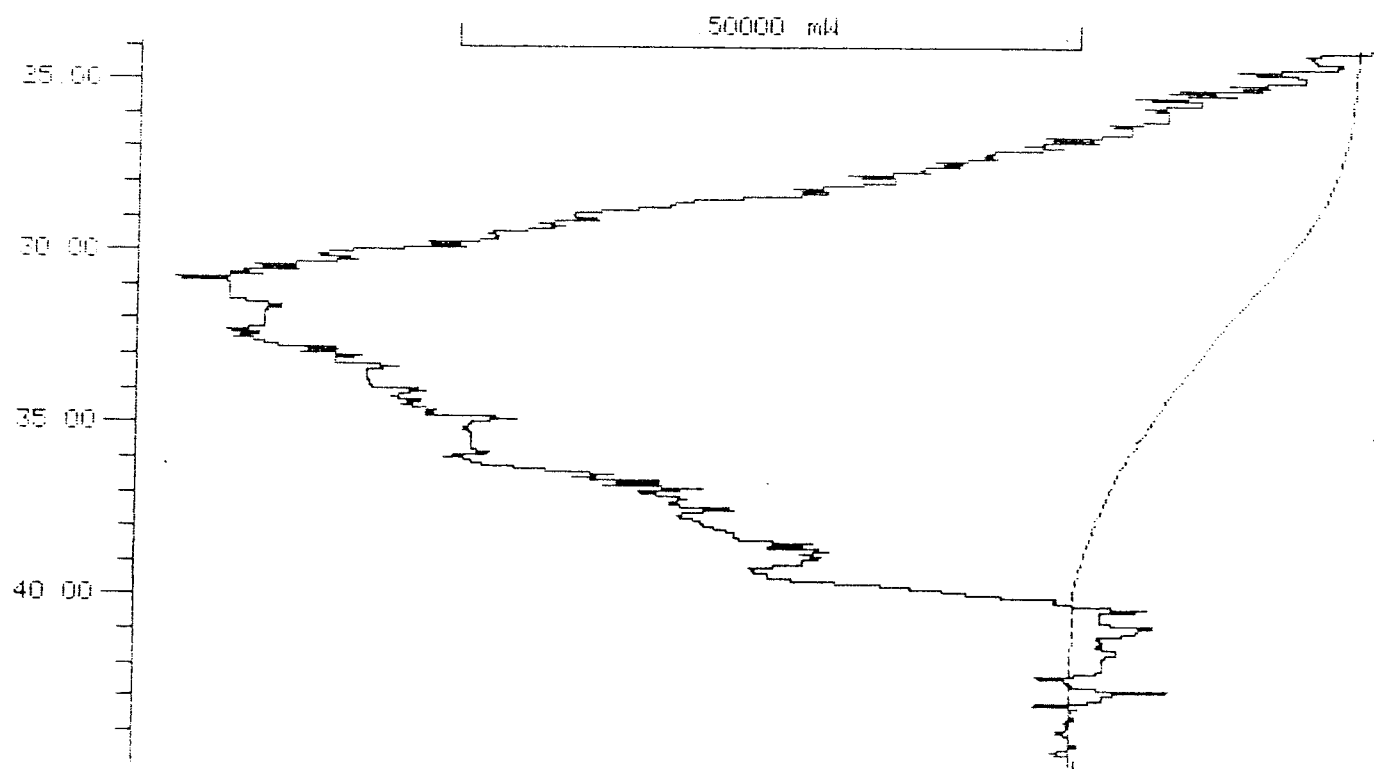
PEAK INTEGRATION

DYN/ISO	1/2	1
AUTOLIMIT	0/1	0
START		24
END		45
START B. LINE		24
END B. LINE		45
BASELINE TYPE		8
PLOT	CM	10
PLOT MODE		101

IDENT. NO.	88.021
RATE K/MIN.	1
WEIGHT mg	17.374

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



CH ENDO	mJ	422.96
CH	J/G	24.344
PEAK TEMP.	°C	30.7

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

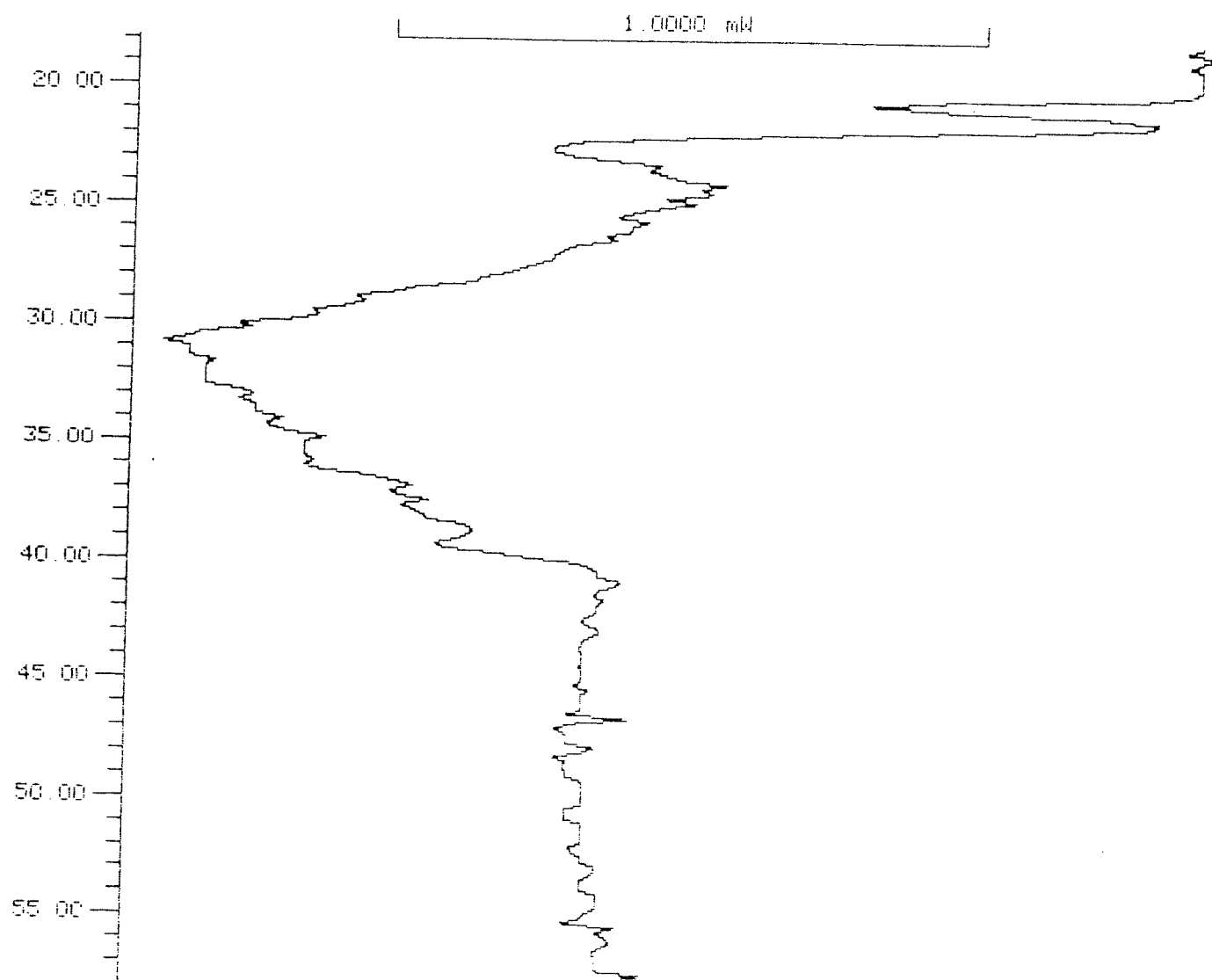
B/LAG 2 B.

END SCREEN °C

57.9

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

PEAK INTEGRATION

6-APR-89 16:12

5-APR-89 10:38 **

B/LAG 3 A.

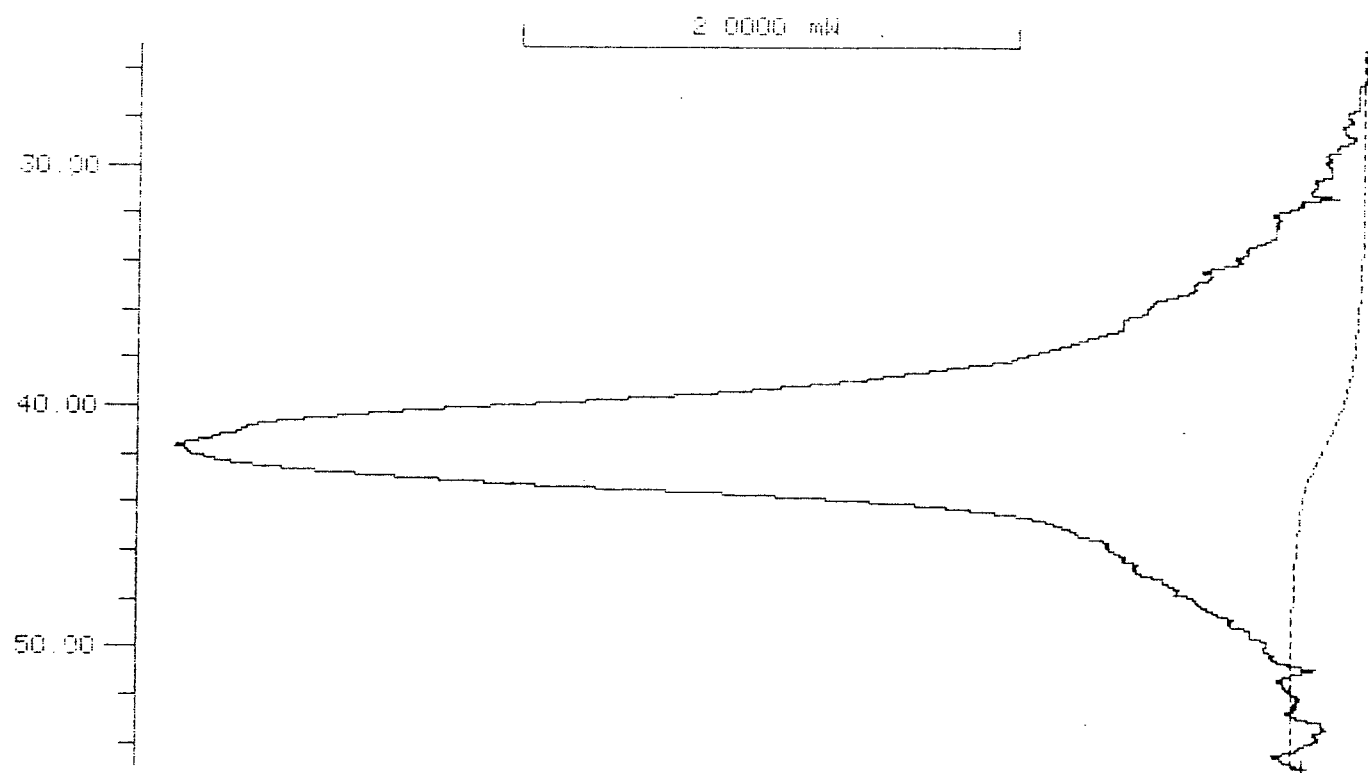
PEAK INTEGRATION

DYN/ISO	1/2	1
AUTOLIMIT	0/1	0
START		25
END		55
START B. LINE		25
END B. LINE		55
BASELINE TYPE		8
PLOT	CM	10
PLOT MODE		101

IDENT. NO.	88.031
RATE K/MIN.	1
WEIGHT mg	17.725

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



ΔH ENDO	mJ	1675.1
ΔH	J/G	94.506
PEAK TEMP.	°C	41.0

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

END SCREEN °C

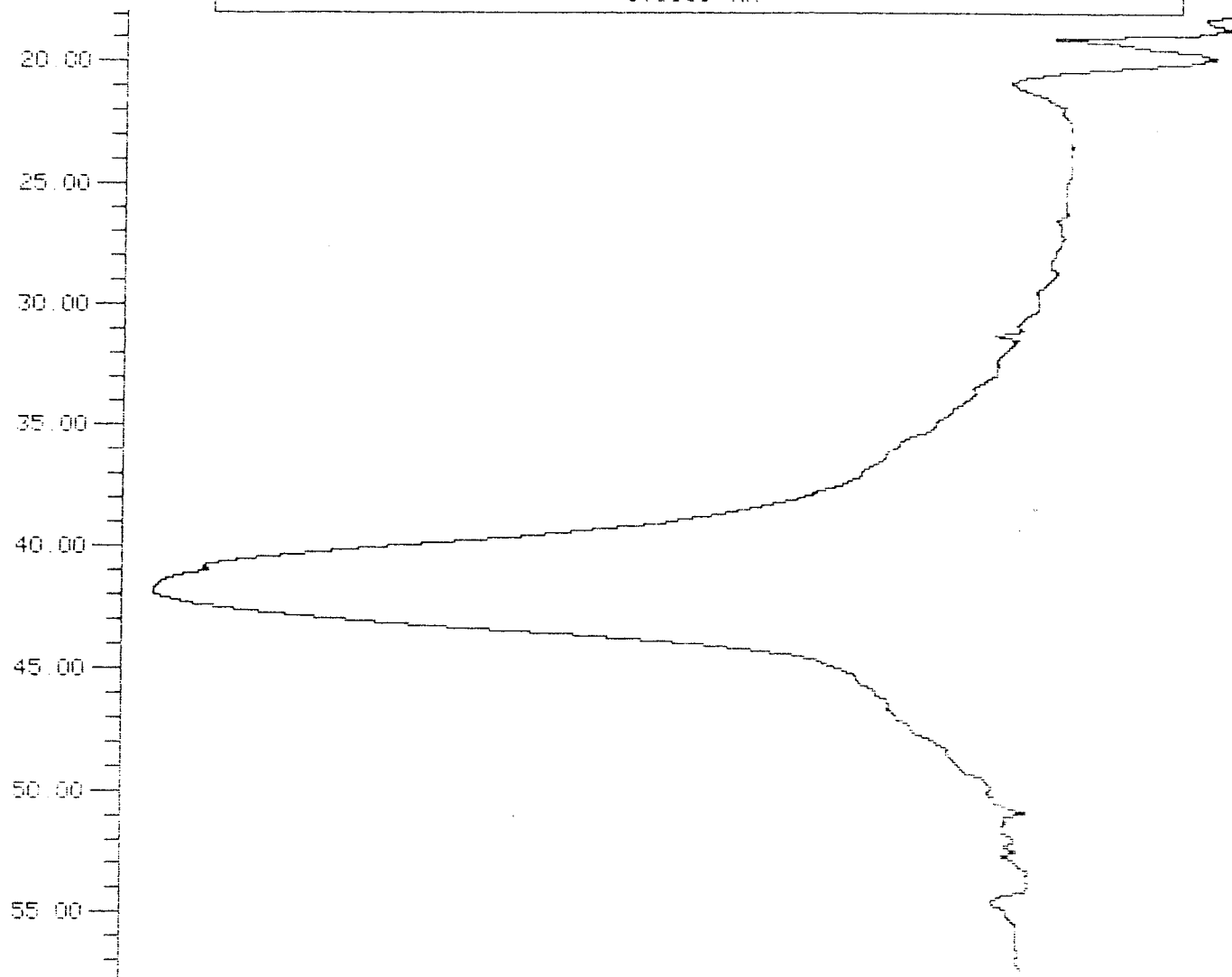
57.9

BILAG 3 B.

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

5.0000 mW



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

PEAK INTEGRATION

12-APR-89 11:08

12-APR-89 9:47 **

BILAG 4A

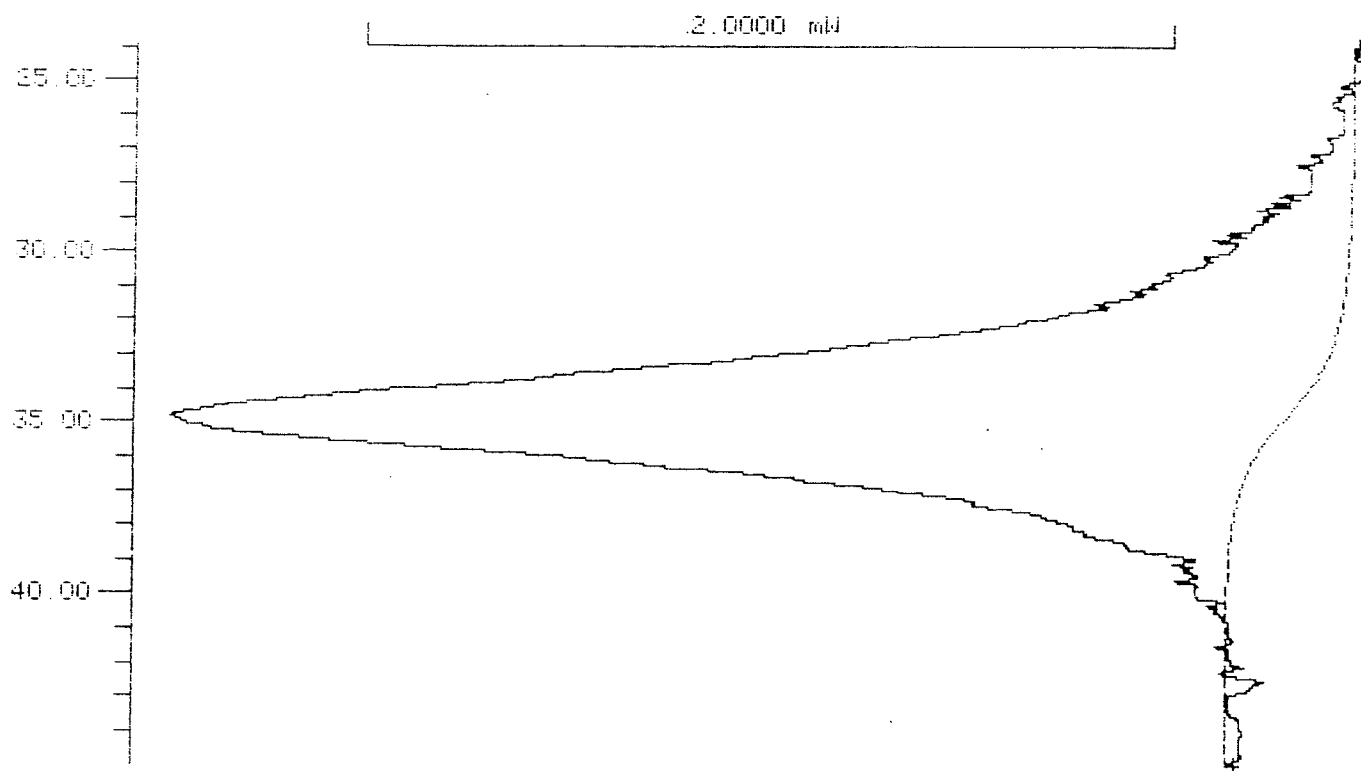
PEAK INTEGRATION

DYN/ISO	1/2	1
AUTOLIMIT	0/1	0
START		24
END		45
START B. LINE		24
END B. LINE		45
BASELINE TYPE		8
PLOT	CM	10
PLOT MODE		101

IDENT. NO.	88.041
RATE K/MIN.	1
WEIGHT mG	28.125

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



ΔH ENDO	mJ	678.07
ΔH	J/G	24.109
PEAK TEMP.	°C	34.4

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

END SCREEN °C

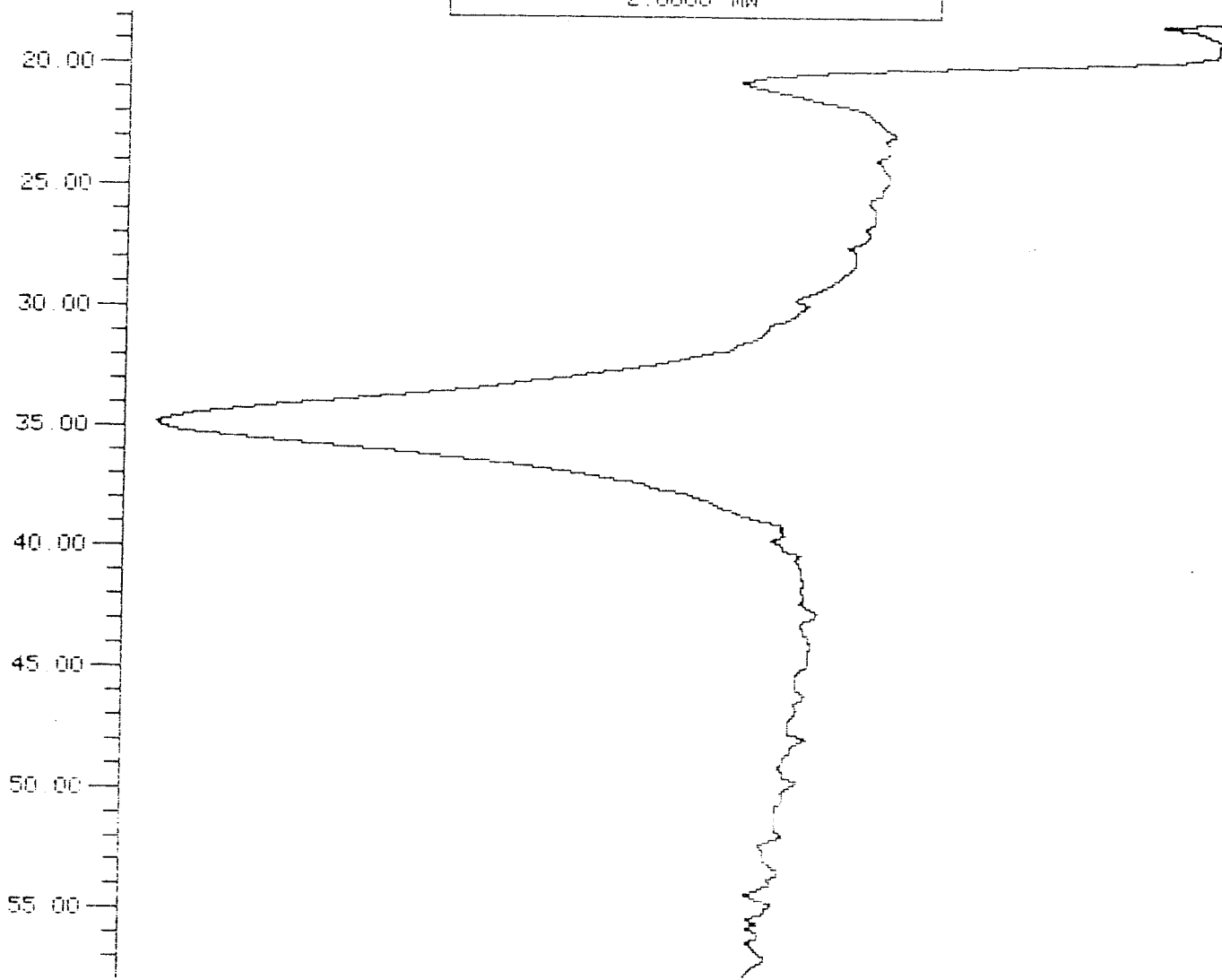
57.9

B/LAG 48

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->

2.0000 mW



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

PEAK INTEGRATION

12-APR-89 13:02

12-APR-89 11:11 **

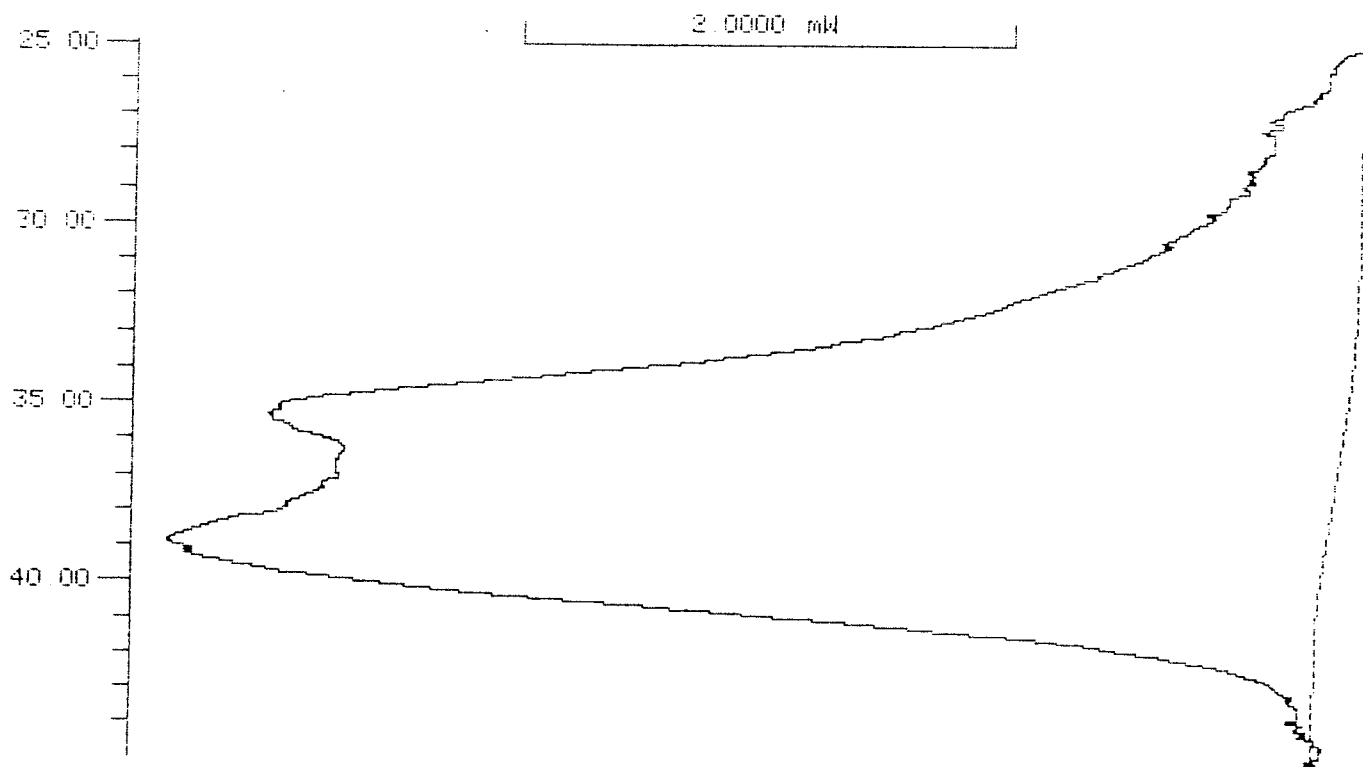
BILAG 5A

PEAK INTEGRATION

DYN/ISO	1/2	1
AUTOLIMIT	0/1	0
START		25
END		45
START B. LINE		25
END B. LINE		45
BASELINE TYPE		8
PLOT	CM	10
PLOT MODE		101
IDENT. NO.		88.051
RATE	K/MIN.	1
WEIGHT	mg	36.570

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



ΔH ENDO	mJ	2200.1
ΔH	J/G	60.162
PEAK TEMP.	°C	38.1

***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

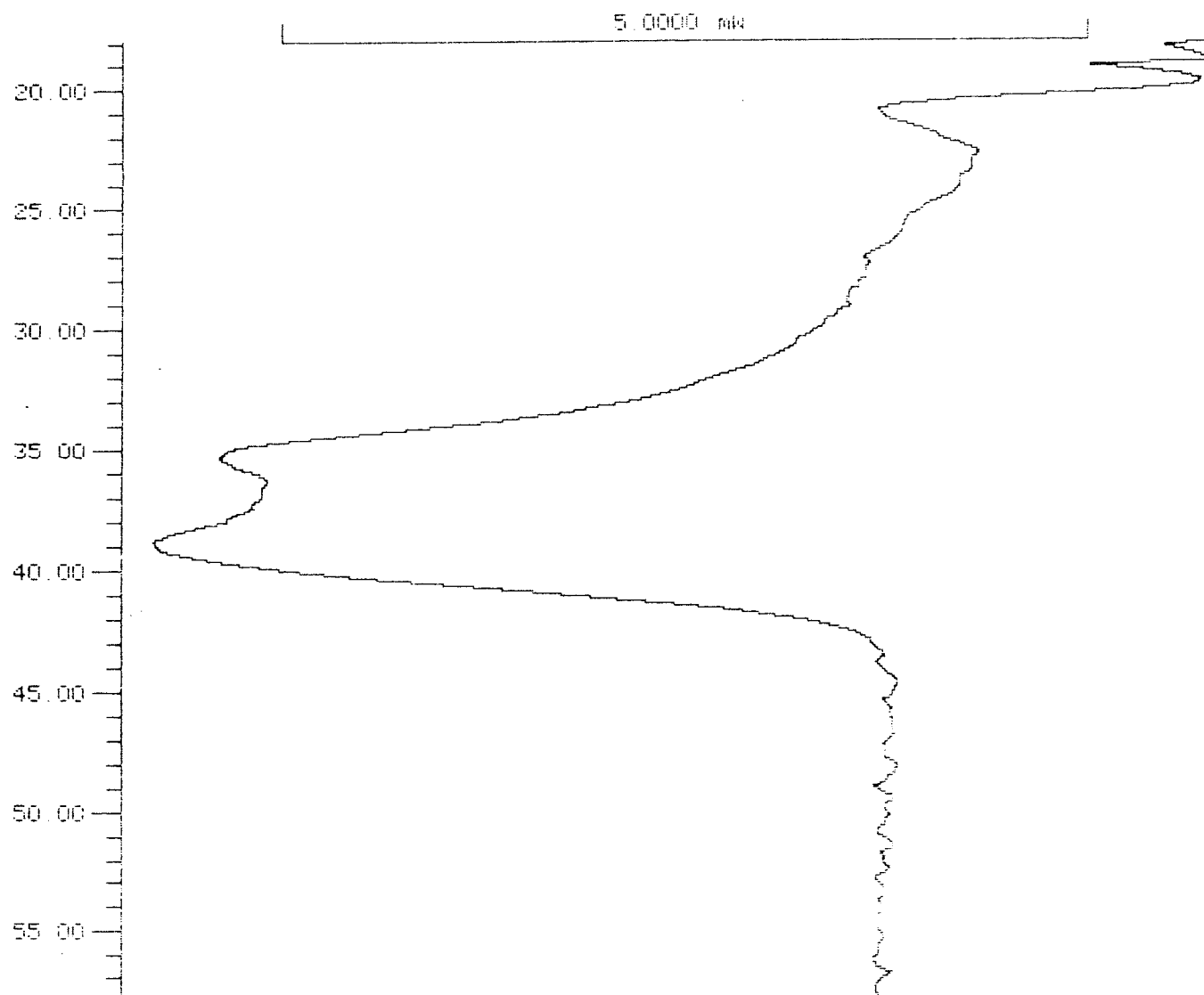
END SCREEN °C

57.9

BLAG 58

TEMPERATURE °C

HEAT FLOW
EXOTHERMAL-->



***** METTLER TA3000 SYSTEM *****

Bybjergvej 21 2970-Hørsholm 02864068

Den 27. marts, 1989.

Civ.ing. Carl Erik Bech
Danogips A/S
Kløvermarksvej
9500 Hobro.

Som vi aftalte på mødet hos Rockwool sender jeg hermed fem prøver til DSC. Så godt som intet fordampede under smeltningerne, så de anførte sammensætninger er pålidelige.

Flg. forkortelser er brugt: NPG = neopentylglycol = 2,2-dimethyl-1,3-propandiol, PG = pentaglycerol (afsindigt trivialnavn) = 1,1,1-tris(hydroxymethyl)ethan og HG = hexaglycerol (lige så afsindigt hjemmegjort trivialnavn) = 1,1,1-tris(hydroxymethyl)propan.

- I 50 mol-% PG
50 mol-% NPG
- II 30 mol-% PG
70 mol-% NPG
- III 40 mol-% PG
60 mol-% NPG
Denne blanding tilsat
10 vægt-% HG
- IV 40 mol-% PG
60 mol-% NPG
Denne blanding tilsat
10 vægt-% glycerol (85 %)
- V 40 mol-% PG
60 mol-% NPG
Denne blanding tilsat
5 vægt-% vand

40/60 mol-% blandingen er den vi tidligere har eksperimenteret med.

Med venlig hilsen,



Erik Pedersen.

cc: Vagn Korsgaard, Kurt Stokbæk, Viggo Thrane.

Til : Vagn Korsgaard, Viggo Thrane, Erik Petersen, Kurt Stokbæk	LAB-NR: -
Kopi: MT, CS, TJJ	PU-NR: 88/001
Fra : Carl Erik Bech	PG-NR: *

Højisoleret let vægelement med stor termisk kapacitet. Forsøg med varmeakkumulering i gipskartonplader med SSPCM.
--

Indledning.

Det gennemførte forsøg havde til formål at undersøge, om gipsplader tilsat 10 vægt-% af fastfaseskiftende polyalkoholer vil have en anden varmeakkumuleringsevne end en referenceplade. Desuden skulle det undersøges, om tilsætningsstofferne umiddelbart havde uheldig indflydelse på gipspladen eller dens fremstilling.

Forsøget.

Til brug for forsøget var der i laboratoriet støbt en gipsplade, som i forhold til stucco blev tilsat

4 vægt-% af 1,1',1''-tris(hydroxomethyl)ethan
6 vægt-% af 2,2'-dimethyl-1,3-propandiol.

Efter hærdning vil matricen indeholde 7.8 vægt-% polyalkohol. Blandingen skulle ifølge Erik Pdersens notat af 21.06.88 have en overgangstemperatur på 26 C.

For at undersøge varmeakkumuleringen blev der lavet en forsøgsopstilling. To gipspladestumper af hver af henholdsvis prøvepladen og en referenceplade placeres på hver side af en elektrisk varmemefolie. For at kunne følge temperaturen er der forsænket i overfladen monteret et termoelement. Et tredje termoelement berører en del af varmemefolien, som rager uden for gipspladerne, og de sidste to termoelementer måler omgivelsernes temperatur lige over overfladen af referencepladen. Det ene af de to udvendige termoelementer er sluttet til et kompenseret håndmåleapparat og bruges til at efterkorrigere de øvrige termoelementers målinger med. Alle 4 prøvestykker (ca. 100 x 100 mm) og de 2 varmemefolier er spændt sammen ved hjælp af to skruetvingere og placeret i et ovnkammer, hvis temperatur kan styres. De 2 varmemefolier er forbundet i serie til en variabel vekselstrøms spændingsforsyning.

Resultater.

Afbindingsforsøg.

Forud for støbningen af prøvepladerne blev det undersøgt, om de mulige polyalkoholer havde nogen uheldig indflydelse på

gipsens hærdeforløb. Temperaturforløbet i en gipsslurry hældt i en isoleret beholder blev fulgt ved hjælp af termoelementer. Af temperaturstigningskurven udledes to tidspunkter, som mål for henholdsvis starttidspunkt og sluttidspunkt for hærdeningen. Resultaterne af disse forsøg ses i tabel 1.

=====		
Tilsætningsstof	1. set	2. set
	min	min

1: 1,1',1''-tris(hydroxomethyl)ethan		
2: 2,2'-dimethyl-1,3-propandiol	3.8	16
3: pentaerythritol	2	11.5
4: Retarder + 4 dele 1) og 6 dele 2)	7.5	21.5
5: Reference	4	11.5

Benyttet recept: 50 g stucco, 38 g vand, 5 g polyalkohol.

=====

Tabel 1. Retarderingsforsøg med polyalkoholer. LAB-NR 88-065.

Styrkeforsøg.

Det blev også undersøgt, om styrken skulle være påvirket. Resultatet af bøjetrækstyrkeforsøgene i langs retning ses i bilag 1. Med fladevægte på henholdsvis 12.8 og 12.3 kg/m² ser styrkerne normale ud.

Varmeakkumuleringsforsøgene.

For at bestemme overgangstemperaturen blev det besluttet at tilføre pladematerialet en energimængde, som skulle kunne hæve temperaturen med ca. 2 C. Varmetilførslen skulle gentages med forskellige udgangstemperaturer.

Forsøgene blev udført på følgende måde: Efter opnåelse af temperaturligevægt, blev der tændt for varmemfolien i 2 min. Da der ikke blev benyttet en stabiliseret spænding svingende spændingen over de to folier op til 5 % afhængig af starttemperatur. Med en typisk målt vekselspænding på 10.7 V og en samlet modstand i de to varmemfolier på 4.5 ohm er det beregnet, at der blev afsat 106 W/m² gipsplade - i løbet af de 2 min. altså 12740 J/m².

Prøvepladen havde en fladevægt på 12.52 kg/m² og en tykkelse på 12.7 mm, hvilket giver en densitet på 986 kg/m³. Referencepladen havde en fladevægt på 11.30 kg/m² og en tykkelse på 12.45 mm, hvilket giver en densitet på 908 kg/m³.

I bilagene 2 til 7 ses resultaterne af impulsforsøgene.

Starttemperaturerne var følgende:

- Forsøg nr 2: 22.6 C.
- Forsøg nr 3: 29.1 C.
- Forsøg nr 4: 30.4 C.
- Forsøg nr 5: 34.8 C.

Forsøg nr 6: 40.9 C.

Forsøg nr 7: 45.8 C.

Ved det sidste forsøg var der en tydelig sødlig, vammel lugt af de tilsatte polyalkoholer.

Da de første 6 forsøg ikke gav det forventede resultat (en tydelig temperaturforskul mellem de to plader) blev det forsøgt at tilføre en betydeligt større energimængde ved hjælp af en impuls med en varighed på 30 min. Dette forsøg svarer næsten til en differentiell termisk analyse, DTA. Resultatet af det sidste forsøg ses i bilag 8A - 8F.

Diskussion.

Gipsens varmekapacitet ved 25 C er 1.08 J/g C. Med den tilførte energimængde på 12740 J/m² og en fladevægt på 12520 g/m² skulle pladen i gennemsnit kunne opvarmes med 0.94 C. På grund af temperaturgradienten over pladen ses i forsøgene temperaturstigninger på ca. 3 grader.

De første 6 forsøg viser ikke nogen tydelig forskel i opførsel mellem pladen med SSPCM og referencepladen. I forsøg 6 og 7 ses en temperaturforskul, men den skyldes vist snarere, at der ikke var opnået temperaturligevægt ved forsøgets start. Temperaturforskullen holder sig i hvert fald konstant.

I forsøg 8 observeres en temperaturforskul imellem prøvepladen og referencepladen. Referencepladen varmes hurtigere op end prøvepladen. Denne effekt ophører igen inden varme-tilførslen stopper, hvilket ikke skulle forventes, hvis der kun var tale om en temperaturforskul forårsaget af de forskellige densiteter. Den temperatur, ved hvilken effekten ophører, synes at ligge imellem 35 og 40 C.

Konklusion.

Hvis de gjorte observationer er forårsaget af det faseskiftende salt, så må det konkluderes, at faseskiftet ikke sker ved en bestemt temperatur, men snarere over et temperaturinterval på op til 15 grader. Intervallets grænser kan ikke fastlægges præcist på grundlag af de gennemførte forsøg, men en øvre grænse omkring 35 - 40 C er formentlig ikke helt ved siden af.

Det er muligt at fremstille gipsplader med polyalkoholer, men det er urealistisk at fremstille dem på det eksisterende anlæg på grund af lugtgenerne. Blot fremstillingen af laboratoriepladerne, hvortil der blev brugt nogle få hundrede gram af polyalkoholerne, gav en uacceptabel stank i hele laboratoriet.

Internt afsnit.

Eksempel 1.

Det temperaturinterval, som en gipsvæg i et hus må have lov til at svinge indenfor, er ukendt for mig, men lad os i første eksempel antage et stort temperaturinterval på 15 grader.

En normal gipsplade på 9.3 kg/m^2 vil over et temperaturinterval på 15 C kunne optage

$$1.08 * 15 * 9300 = 150660 \text{ J/m}^2.$$

Til sammenligning vil en gipsplade med 10 vægt-% polyalkohol kunne optage

$$(1.08 * 15 * 9300 * 0.9) + (76 * 9300 * 0.1) = 206274 \text{ J/m}^2.$$

Eksempel 2.

Hvis det tilladte temperaturinterval kun er 1 grad, så vil den normale gipsplade kunne optage

$$1.08 * 1 * 9300 = 10044 \text{ J/m}^2.$$

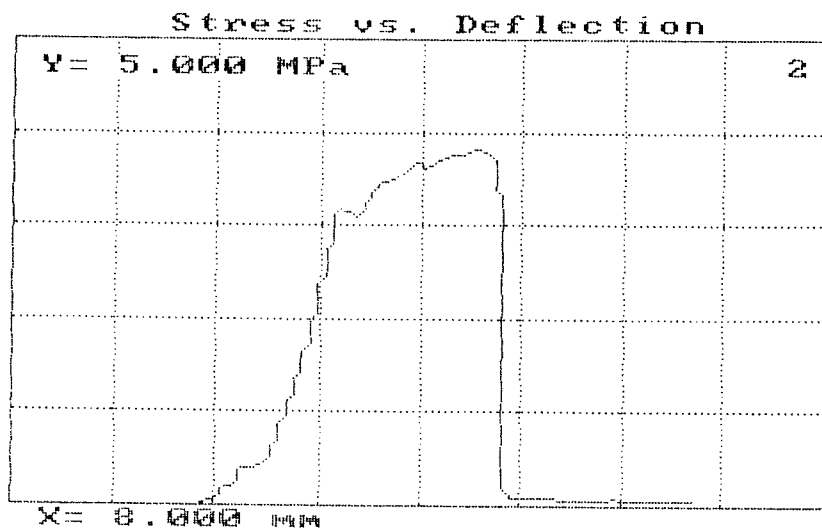
Gipspladen med 10 vægt-% polyalkohol vil kunne optage

$$(1.08 * 1 * 9300 * 0.9) + (76 * 9300 * 0.1) = 79719 \text{ J/m}^2.$$

Eksempel 3.

Varmekapaciteten i 2 lag gipsplader sammenlignet med 1 lag gipsplade med 10 vægt-% polyalkohol er den samme, hvis temperaturintervallet er 6.4 C.

Da polyalkoholerne koster 5-10 kr/kg, vil det i dette eksempel betyde, at det vil være billigere at opsætte 2 gipsplader, hvis der blot skal tages hensyn til pladens kostpris. Hvis transporthensyn og arbejds løn tages med i betragtningen, forøges grænsen selvfølgelig.



NENESoft

TEST REPORT

Product BYGGEPLADE M/POLYALKOHOLER
 Sample ID LAB.NR. 88-065
 Date 09 NOV 1988
 OPBEVARET V/40 GRADER I MIN. 7 DØGN
 PRØVENS LÆNGDE I MM 255
 PRØVENS VÆGT I GRAM:
 NR.1: 344.14
 NR.2: 330.56
 Test Speed (mm/min) 25.00

Key to calculation numbers:-

1 = Stress at Peak
 3 = Stress at End
 5 = Flexure Modulus
 8 = Deflection at 3.80MPa
 10 = Thickness

MPa 2 = Deflection at Peak
 MPa 4 = Deflection at End
 MPa 7 = Stress at 4.58mm
 mm 9 = Width
 mm

mm
 mm
 MPa
 mm

alc.No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sample										
1 :	3.802	4.619	0.054	6.795	2606		3.802	4.581	105.2	12.40
2 :	4.128	5.306	-0.008	6.375	2291		4.098	5.115	105.4	12.70
EAN :	3.965	4.962	0.023	6.585	2449		3.950	4.848	105.3	12.55
0.163		0.344	0.031	0.210	157.5		0.148	0.267	0.100	0.150
EDIAN:	3.965	4.962	0.023	6.585	2449		3.950	4.848	105.3	12.55
ANGE :	0.326	0.687	0.062	0.420	315.0		0.296	0.534	0.200	0.300

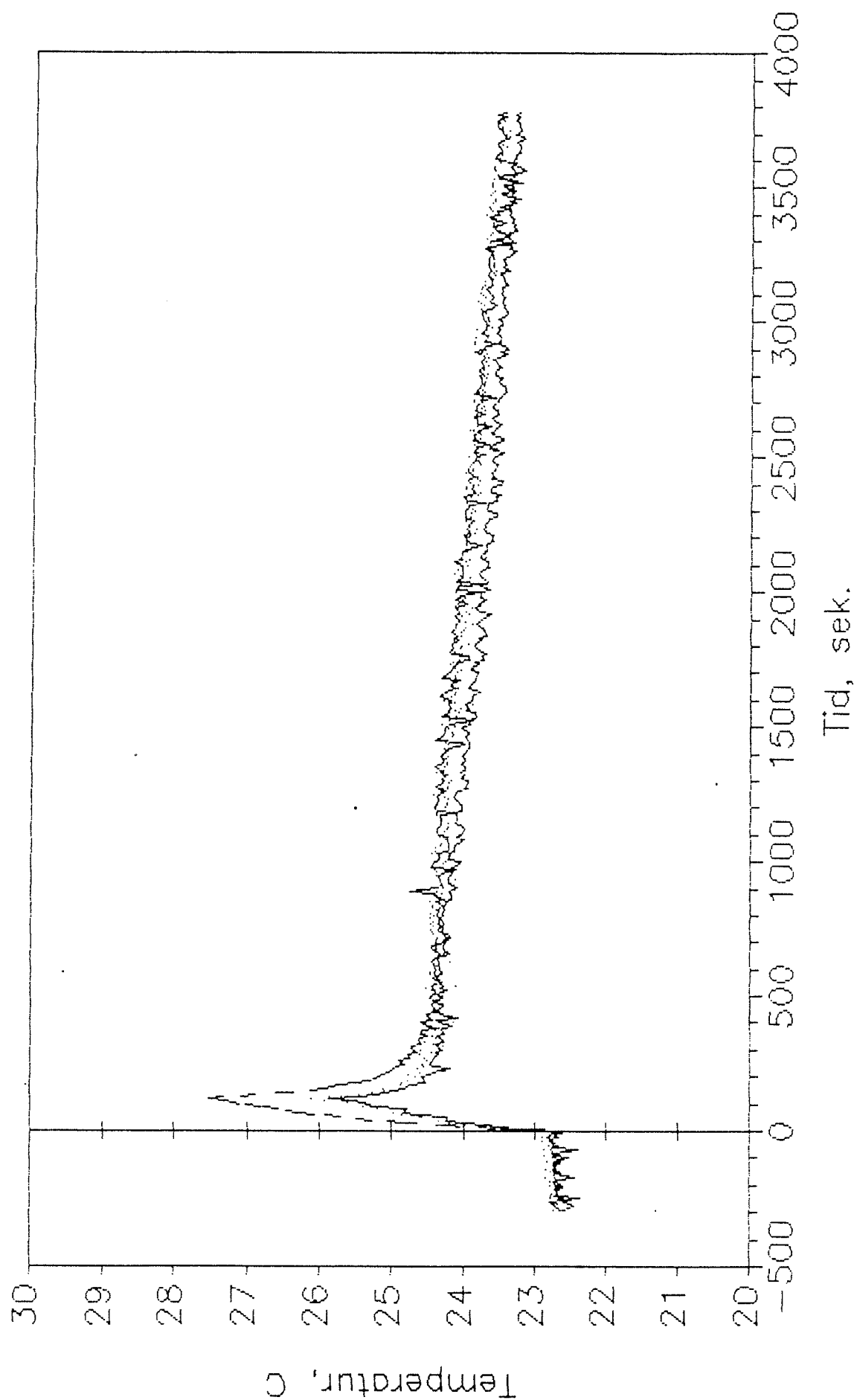
↑

σ

↑

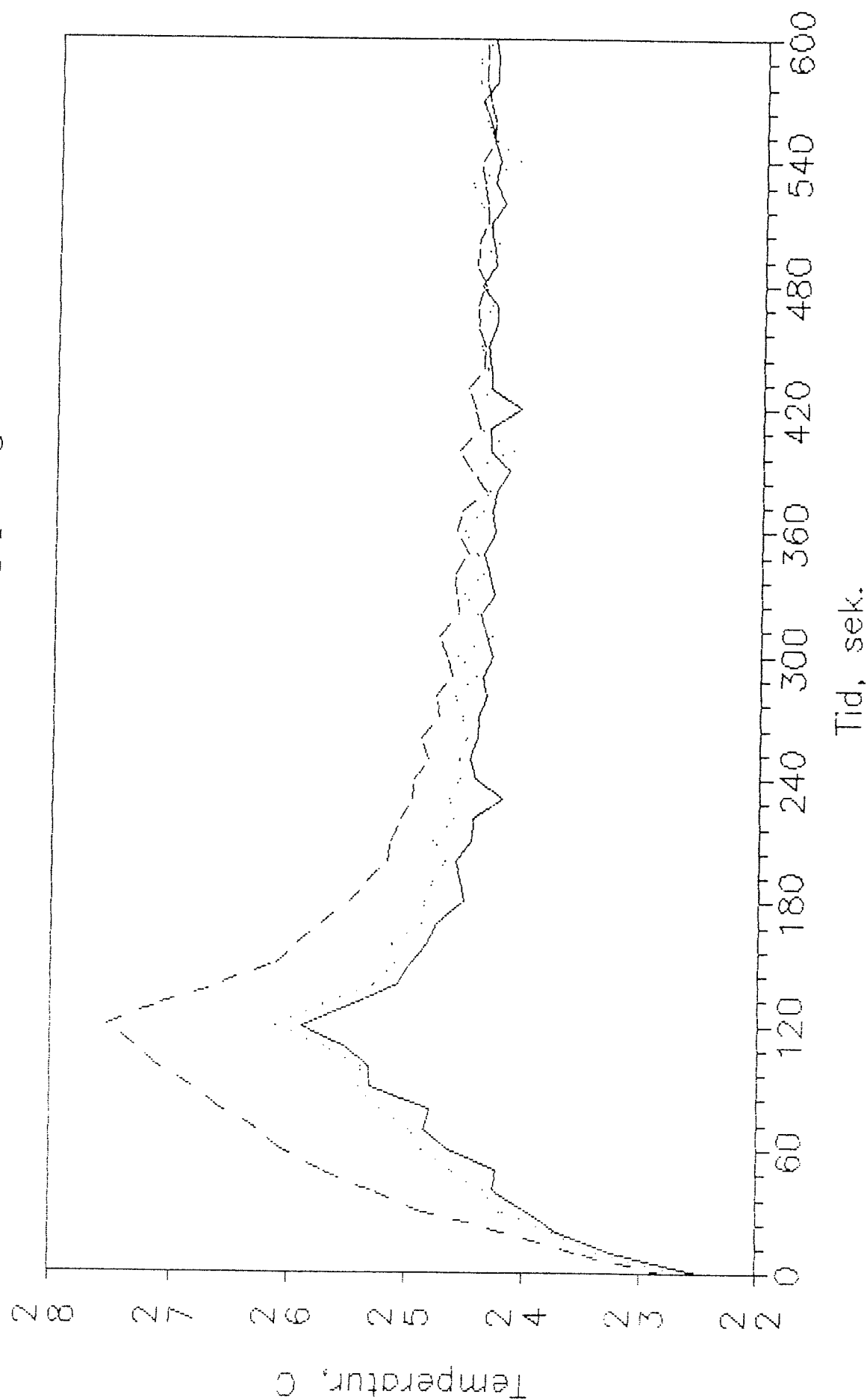
E

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



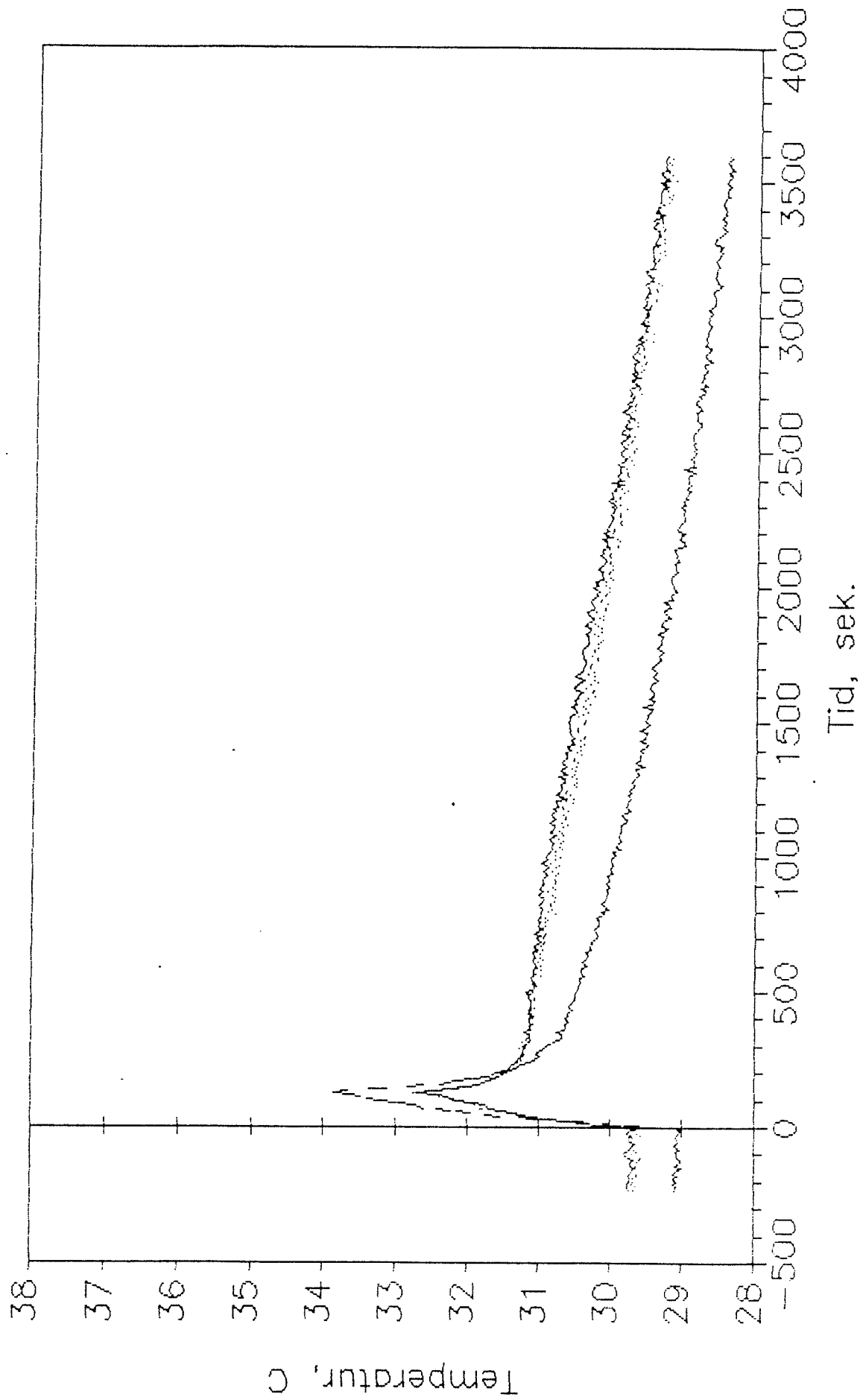
— SSPCM - - - Reference - - - Varmefolie

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



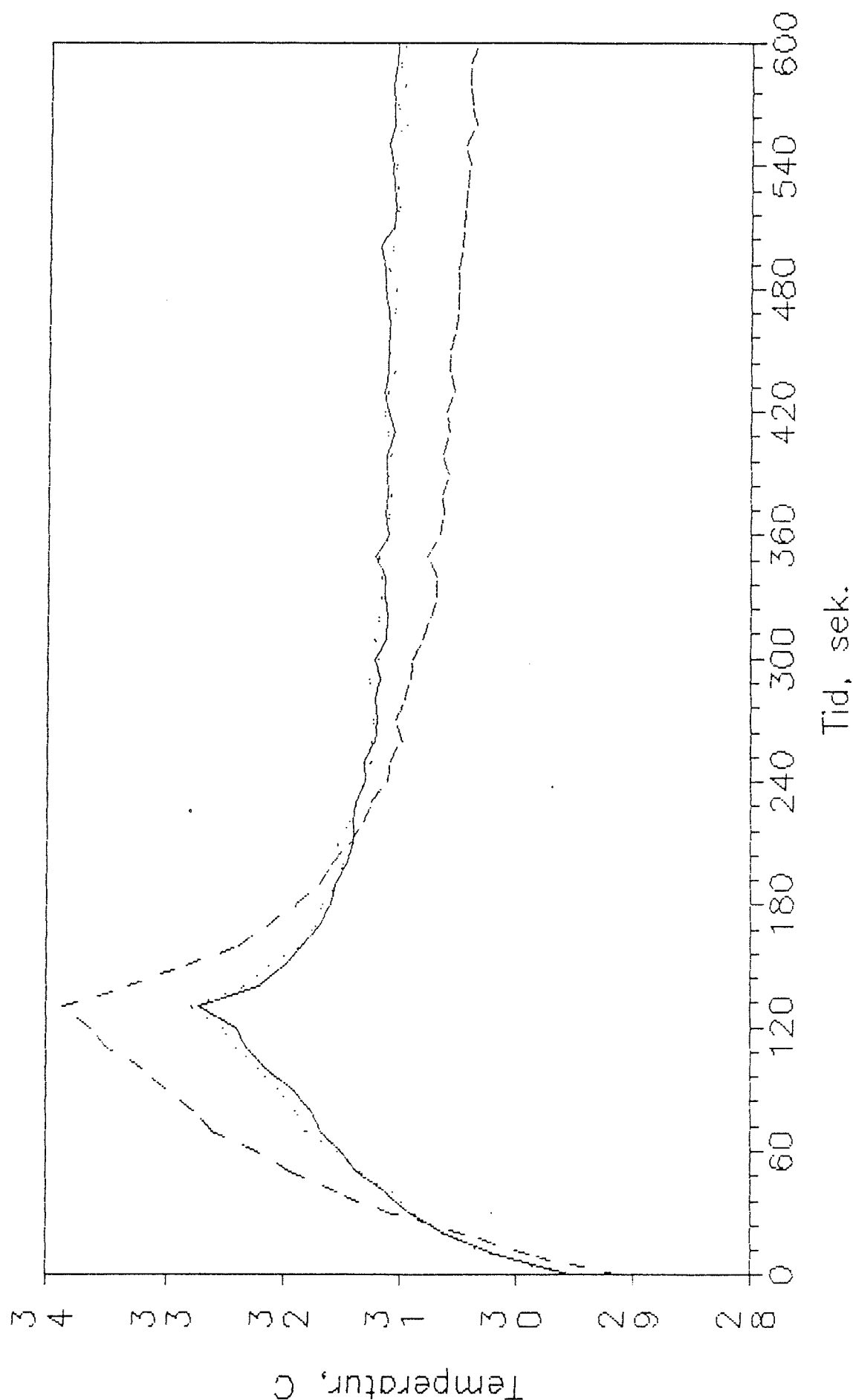
— SSPCM - - Reference - - Varmefolie

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



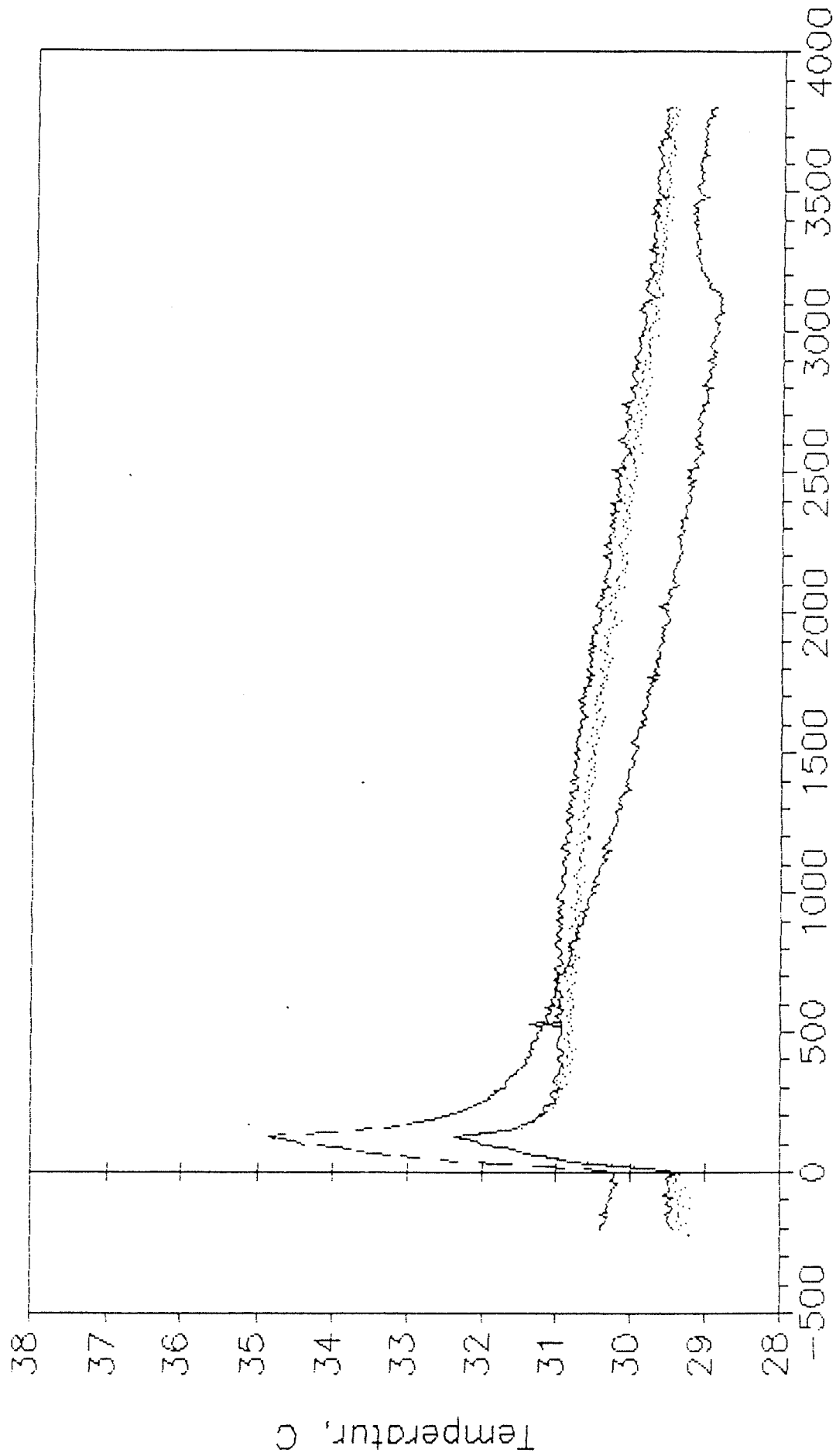
— SSPCM ··· Reference - - Varmefolie

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



— SSPCM ··· Reference - - Varmefolie

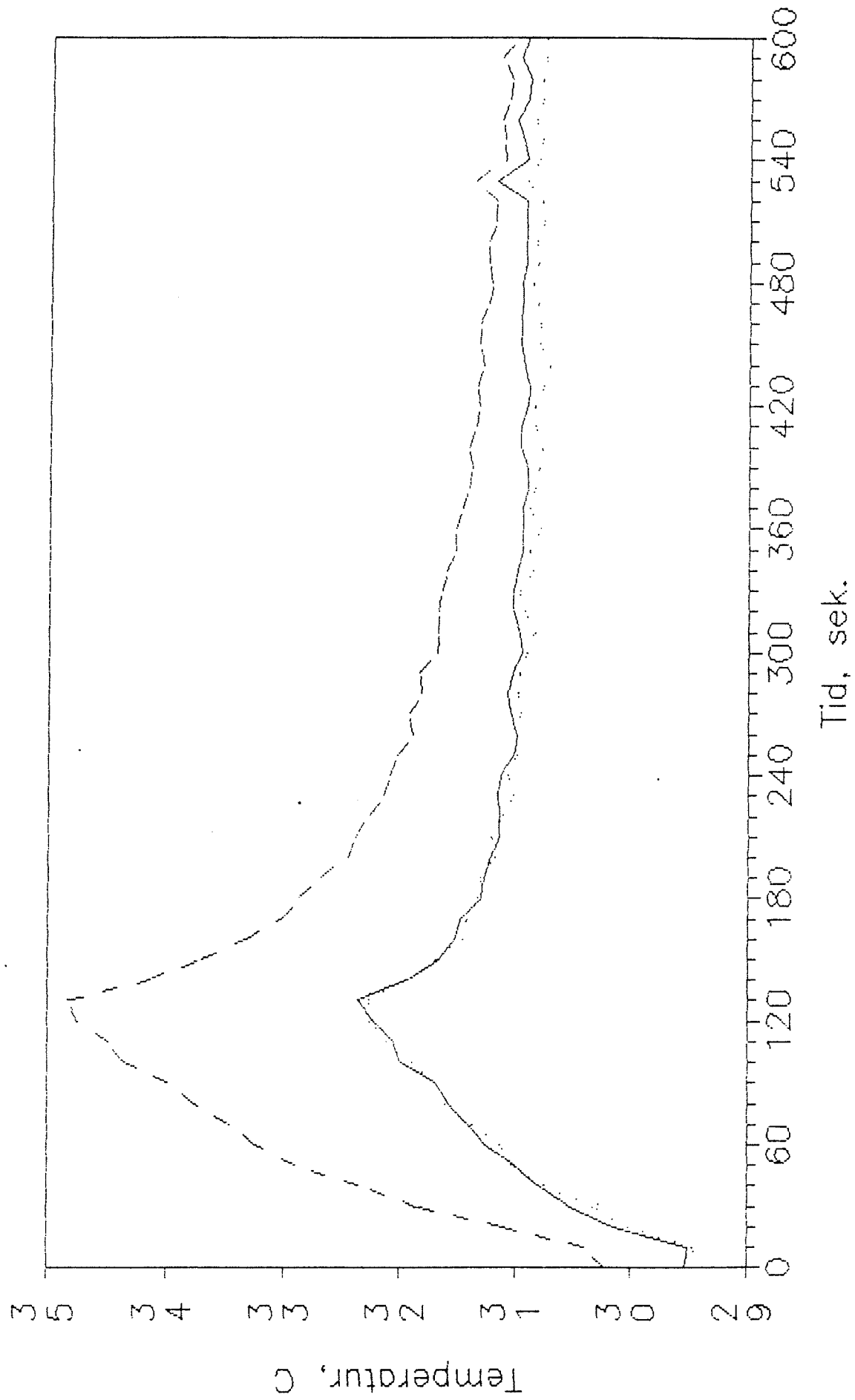
Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



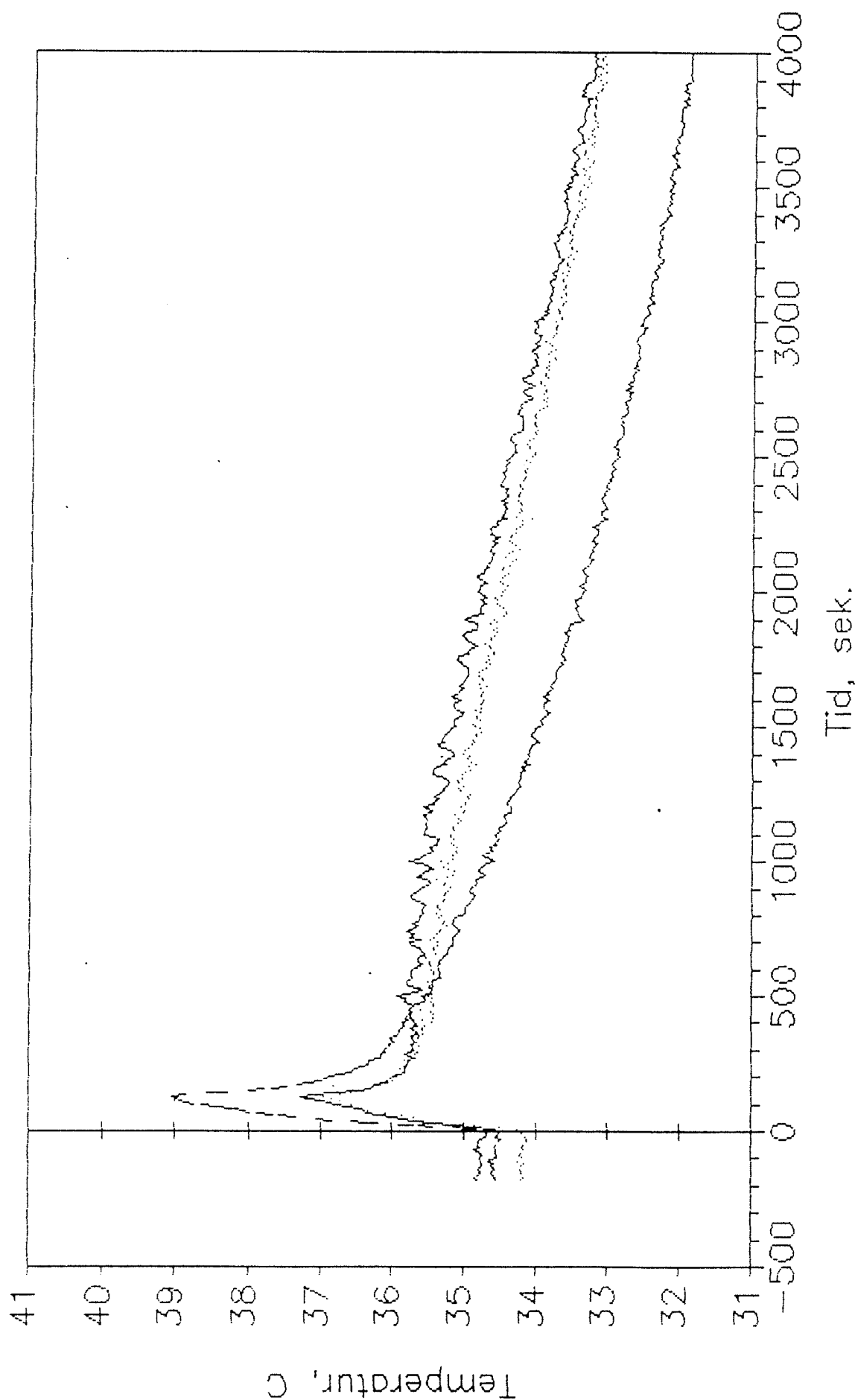
Tid, sek.

— SSPCM ··· Reference - - Varmefolie

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.

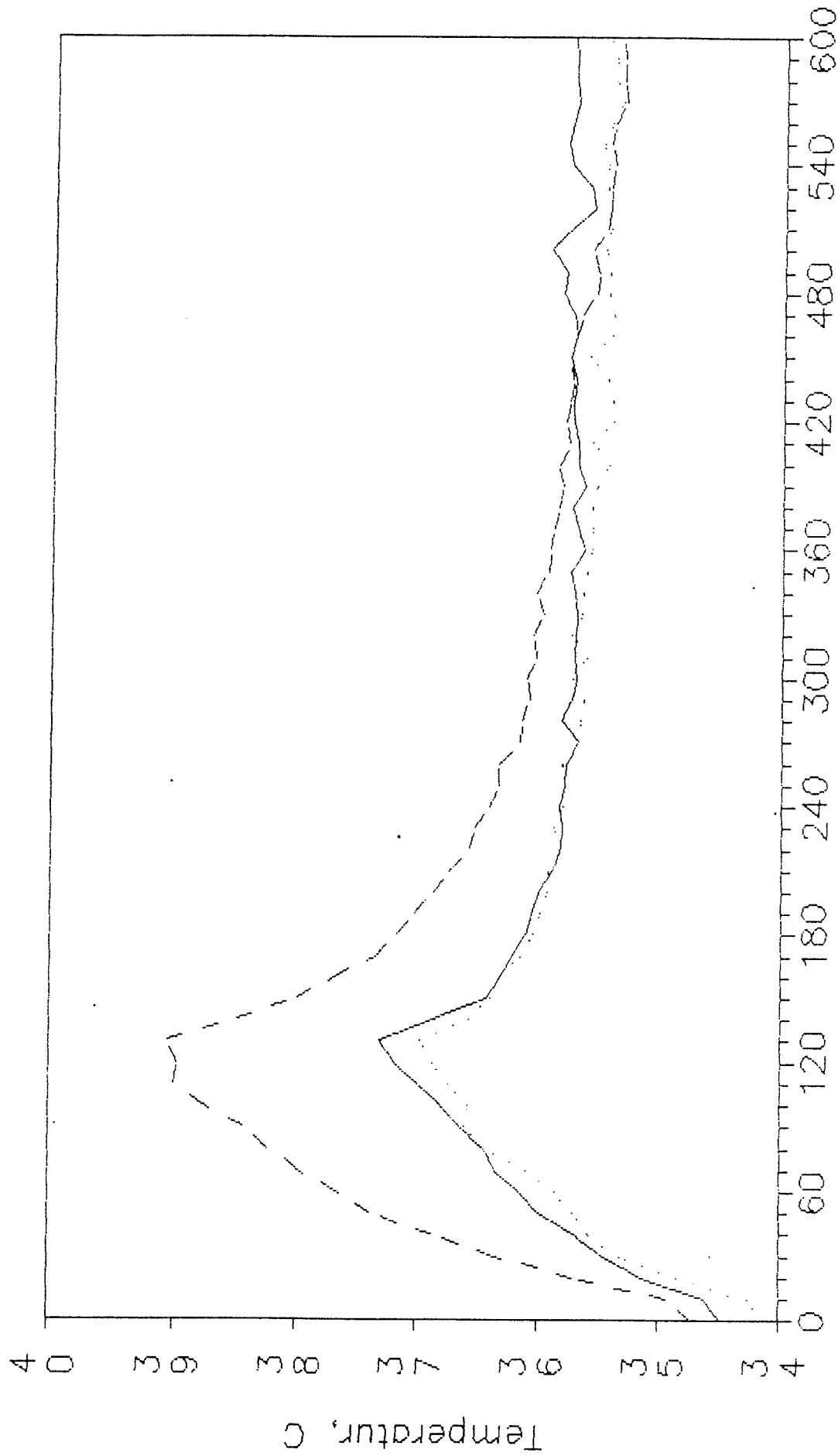


Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



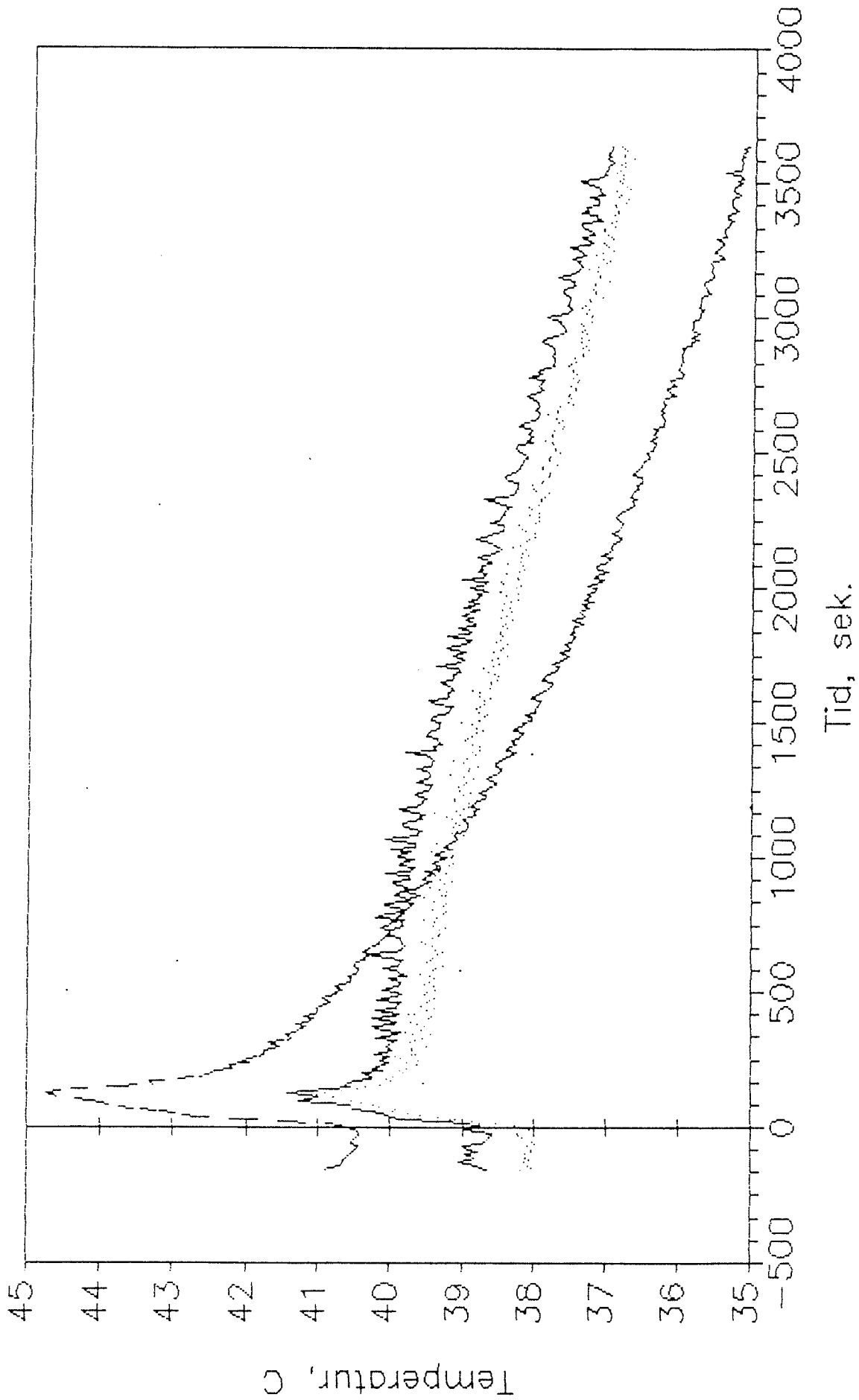
— SSPCM ··· Reference - - Varmefolie

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



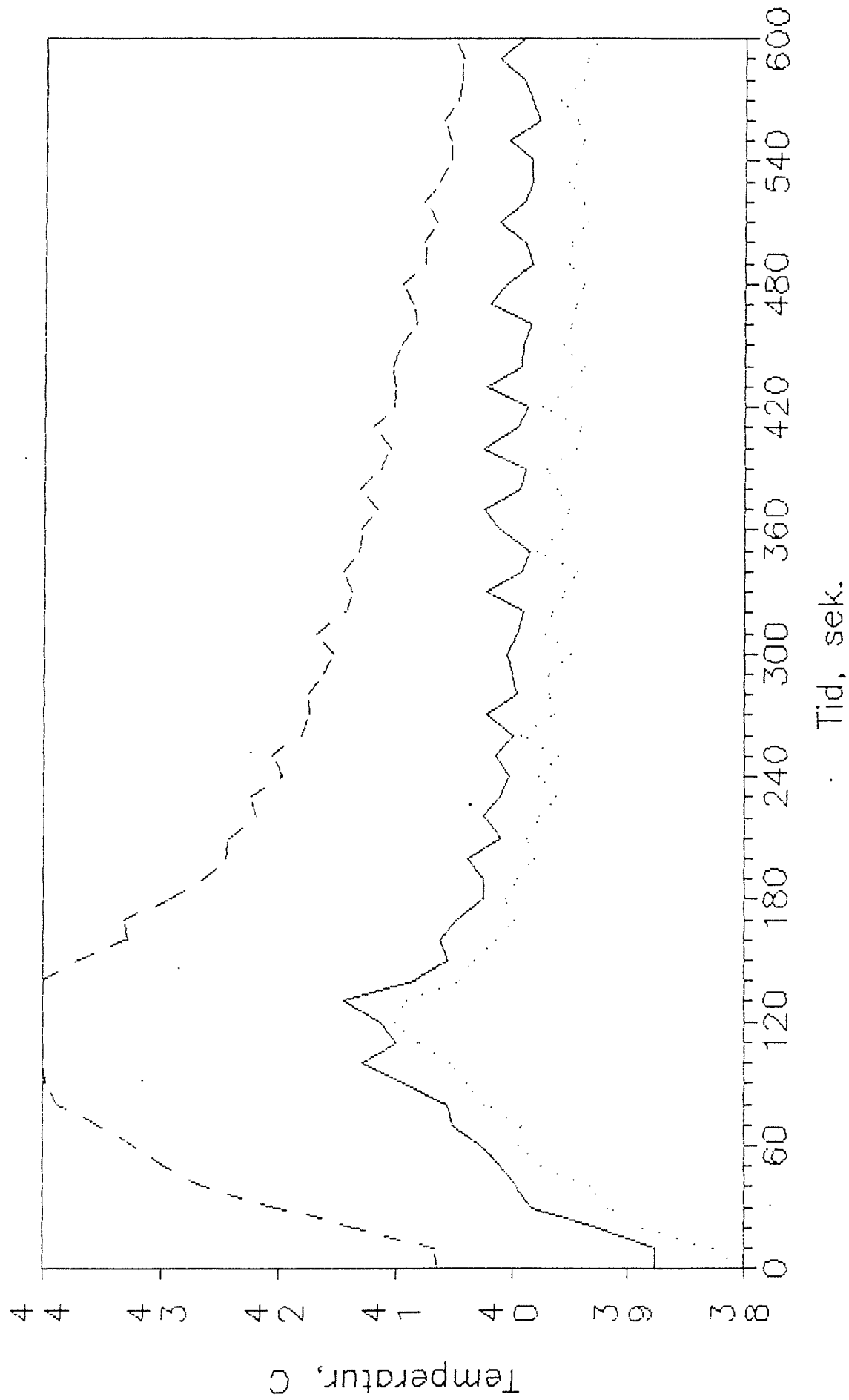
— SSPCM - - - Reference - - - Varmefolie

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



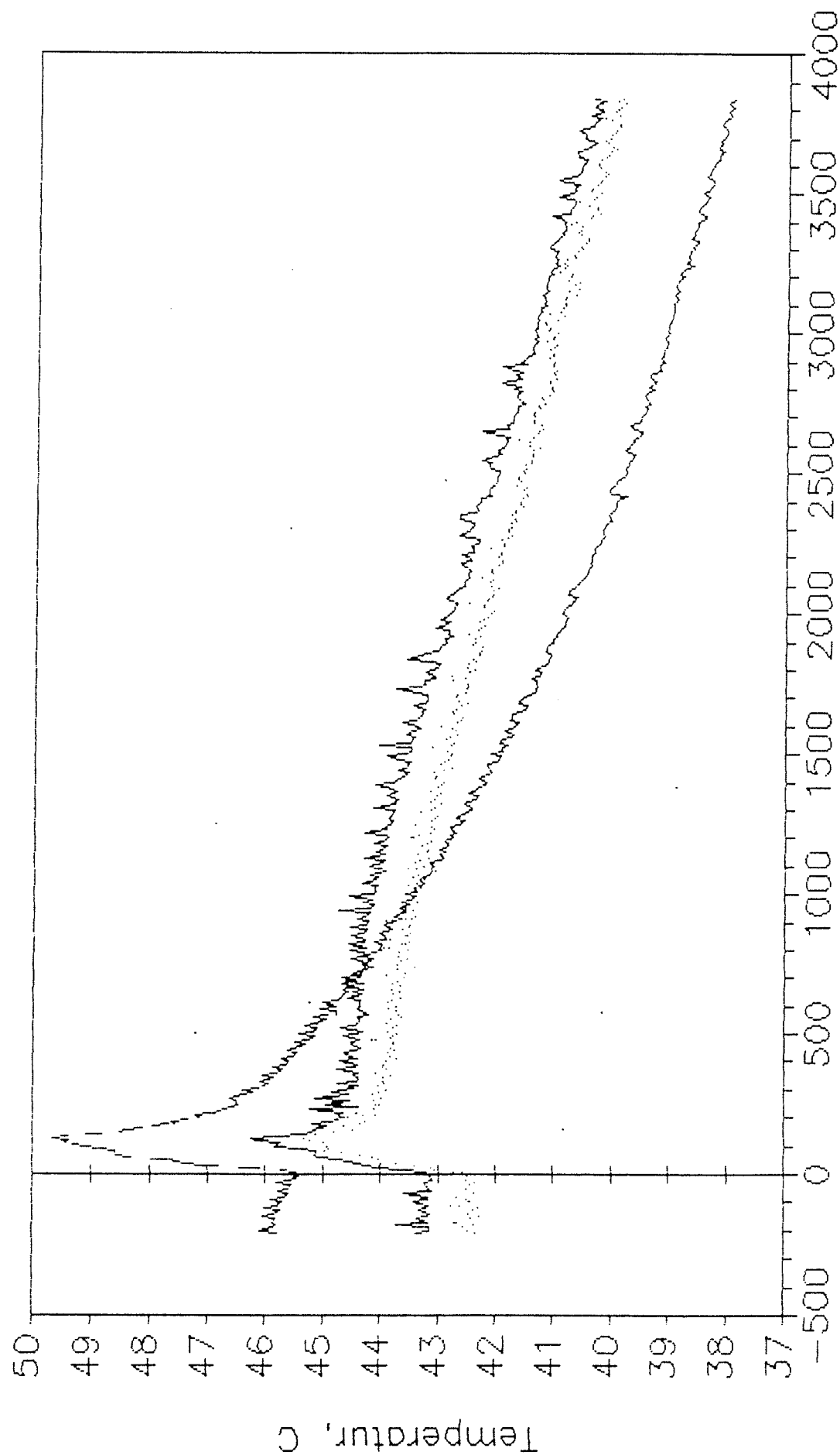
— SSPCM - - - Reference - - - Varmefolie

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



— SSPCM ··· Reference - - - Varmefolie

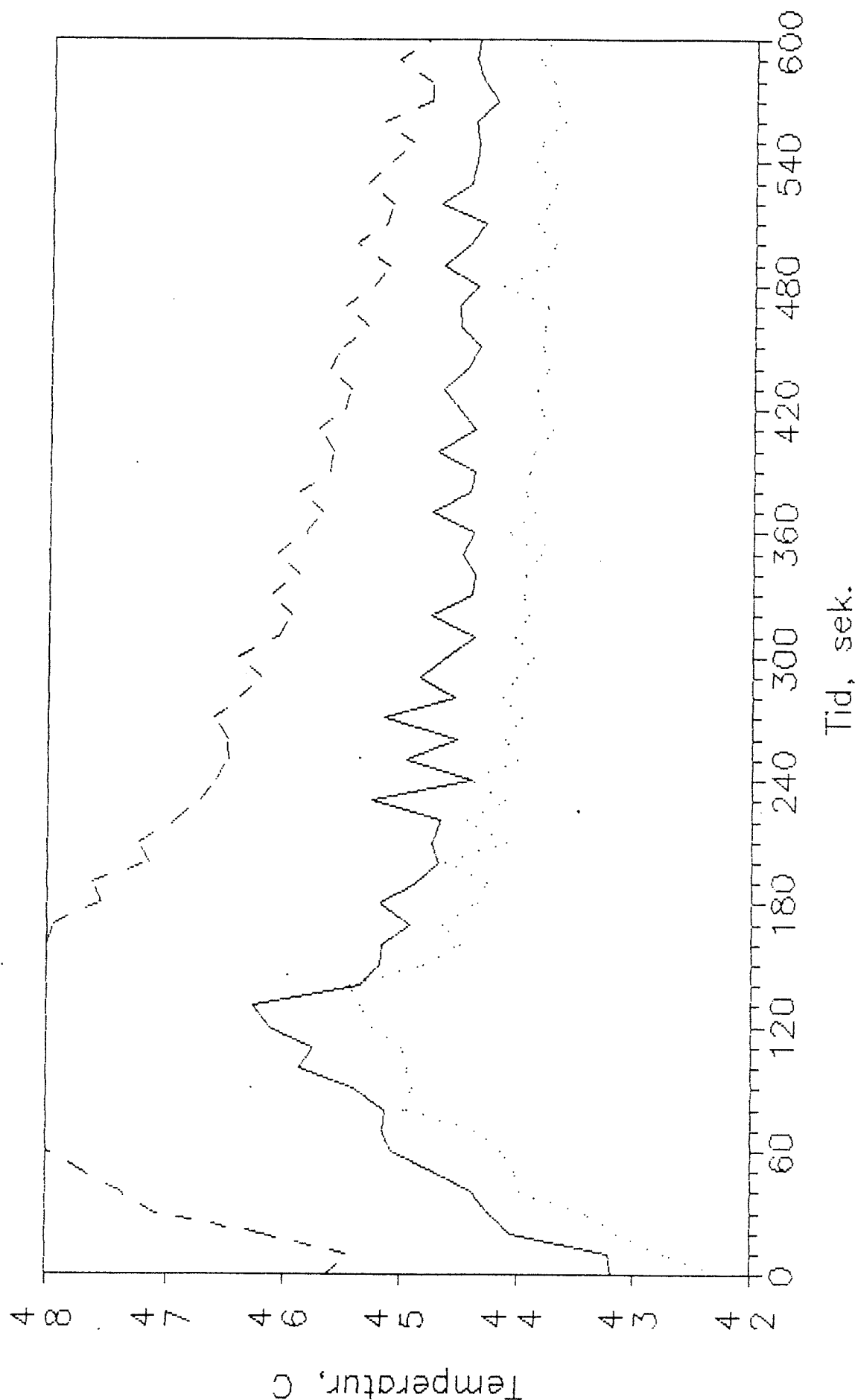
Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



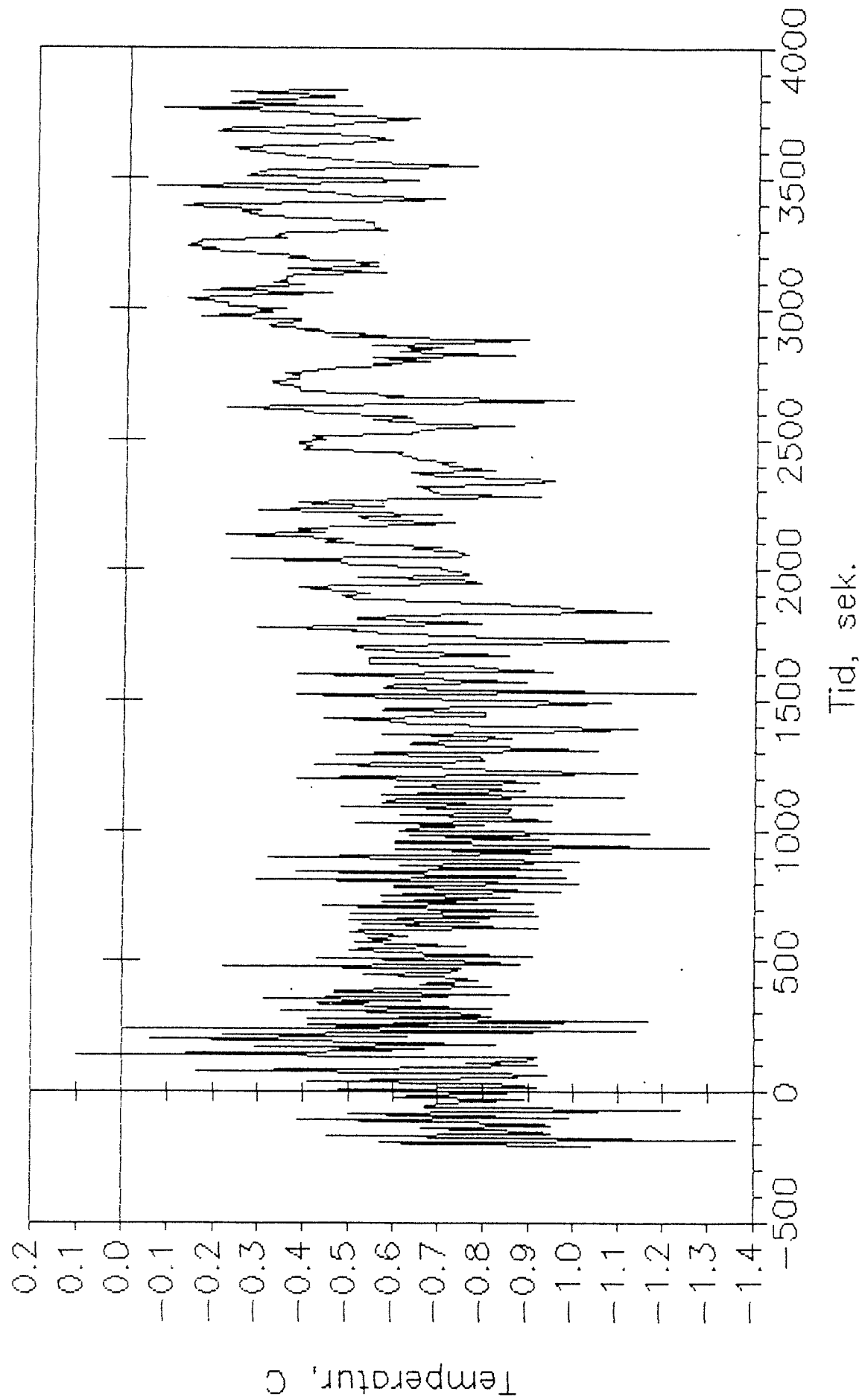
Tid, sek.

— SSPCM ··· Reference - - Varmefolie

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.

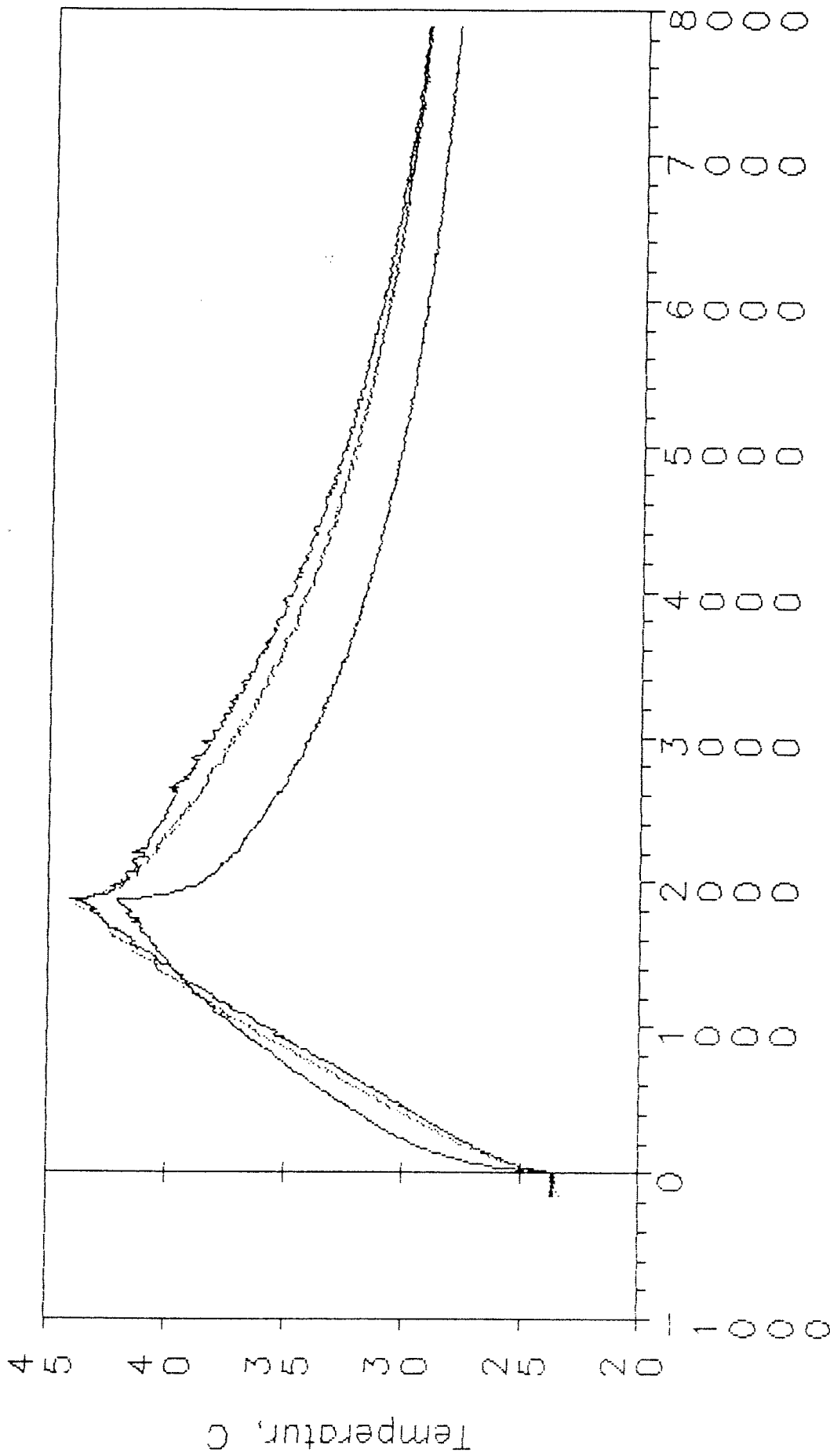


Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



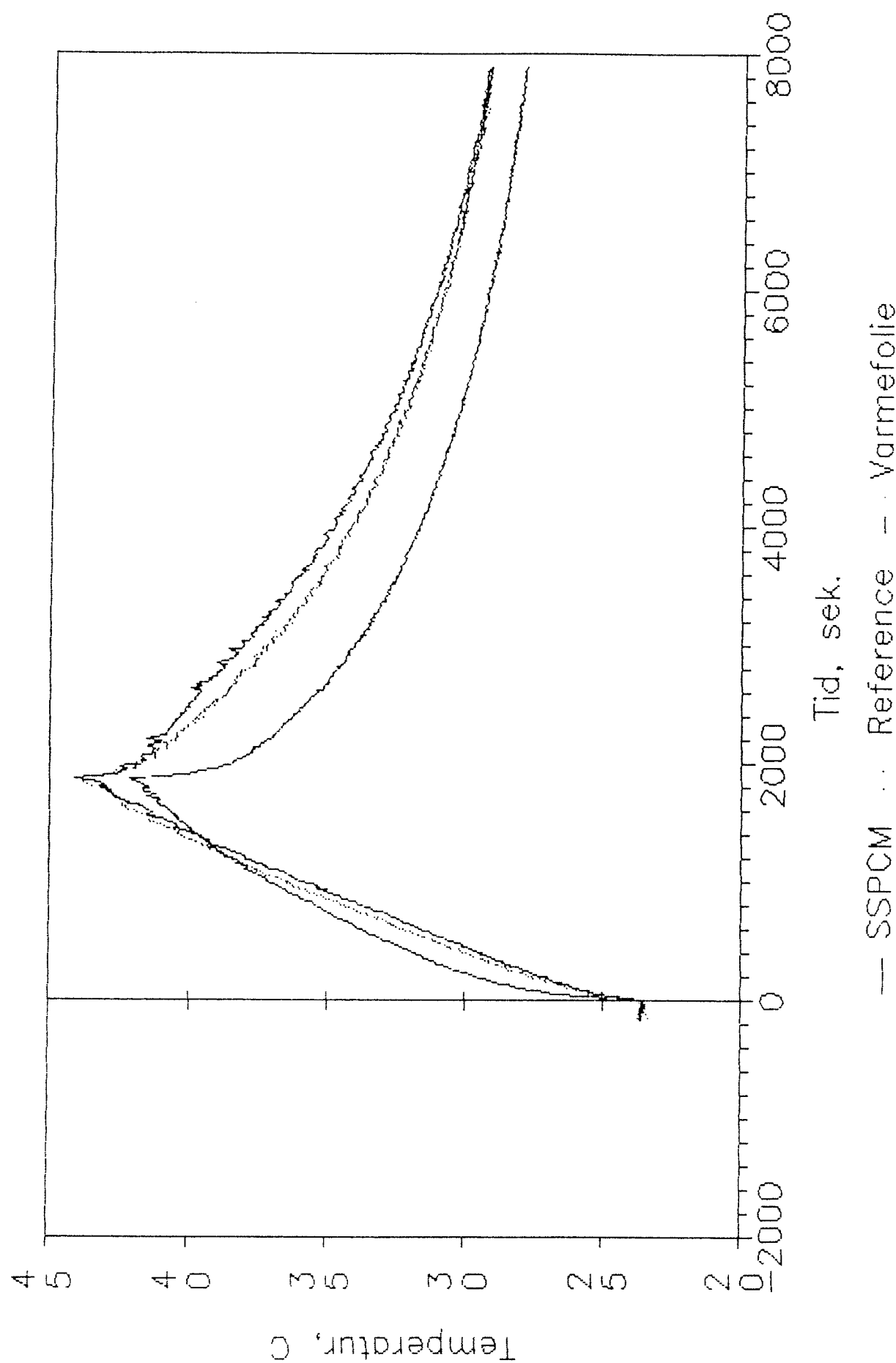
— Temperaturforskjel

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



— SSPCM - - - Reference - - - Varmefolie

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.

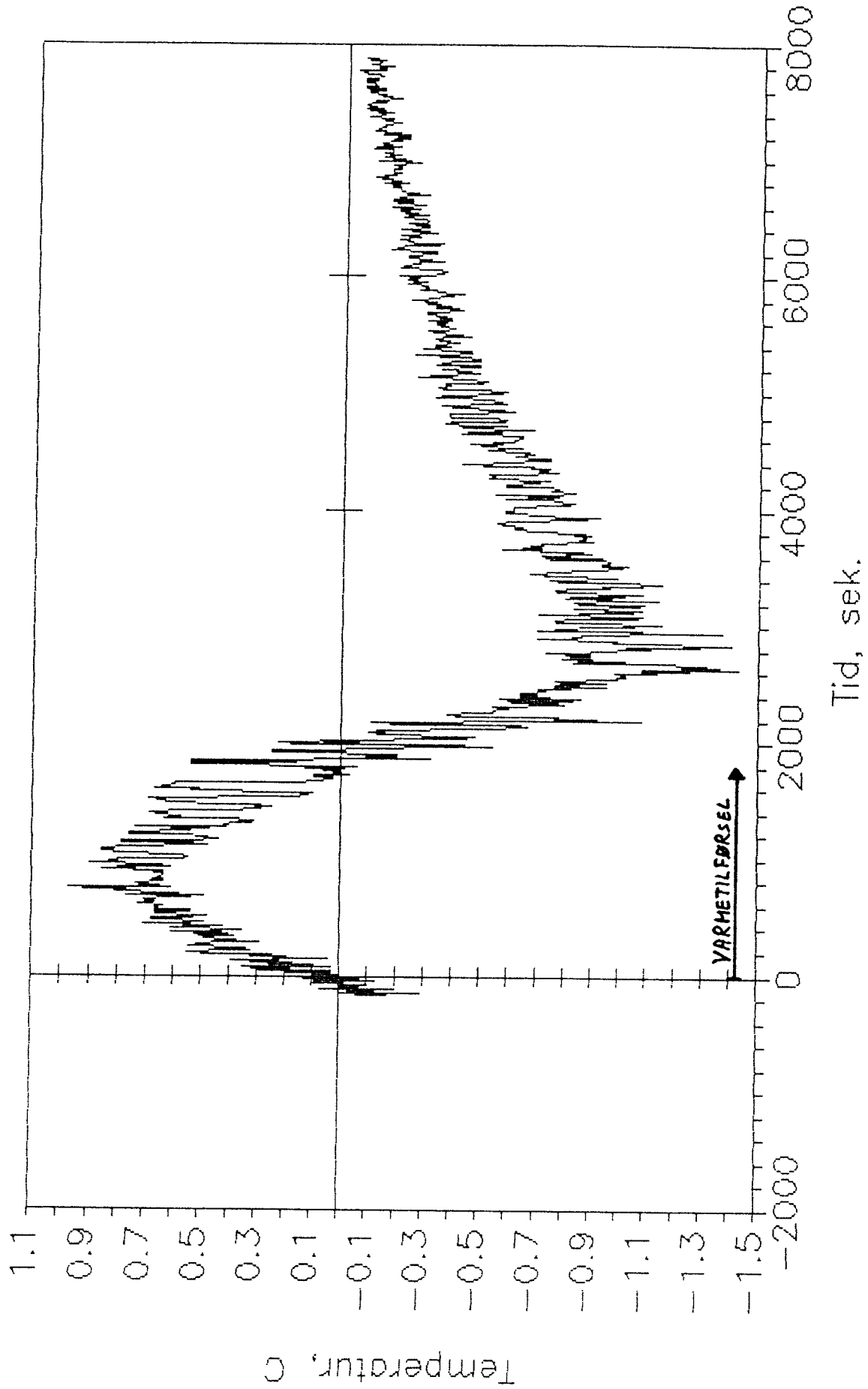


PU 89/001

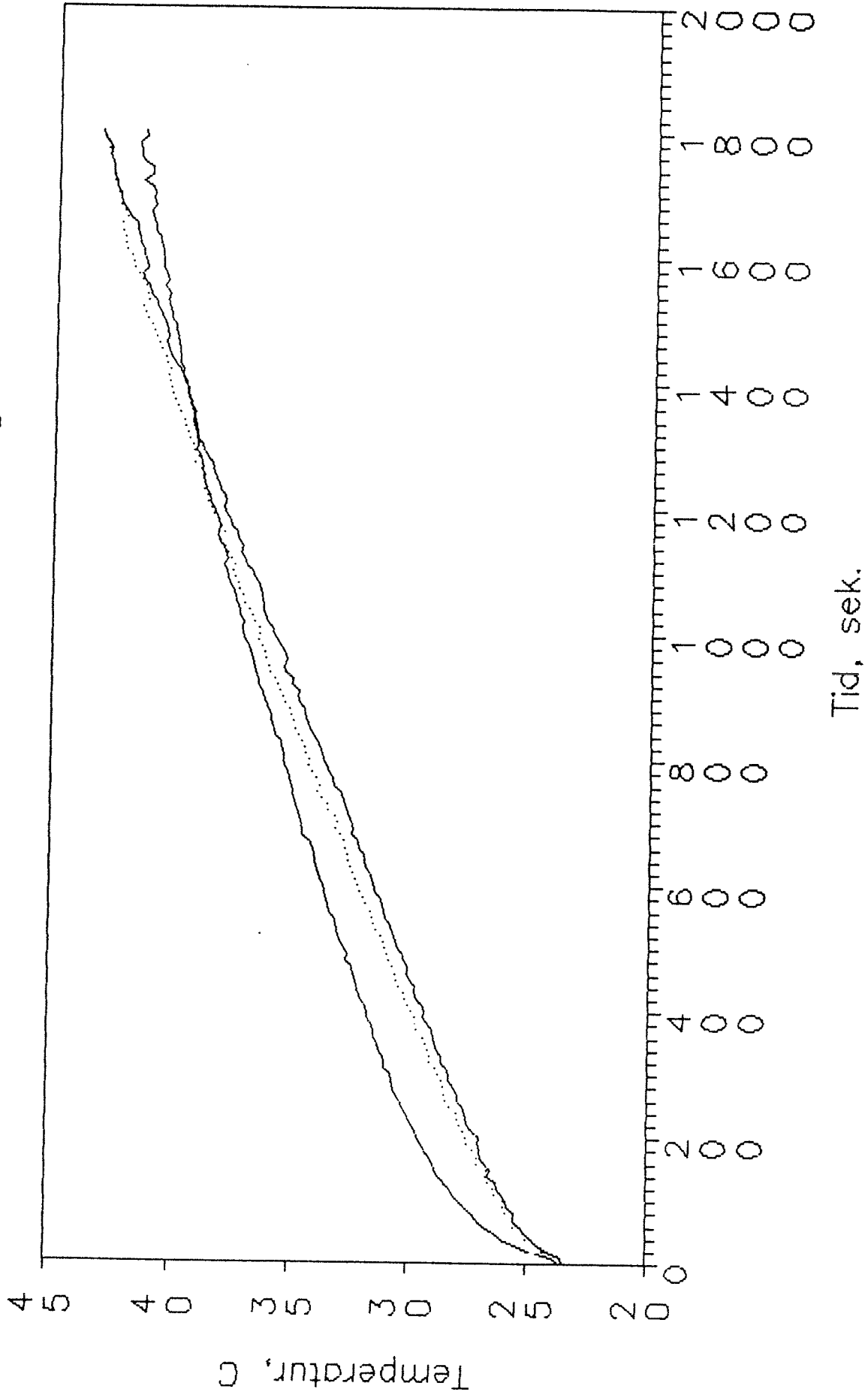
Test 9.

Starttemperatur: 23.6 C.

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.

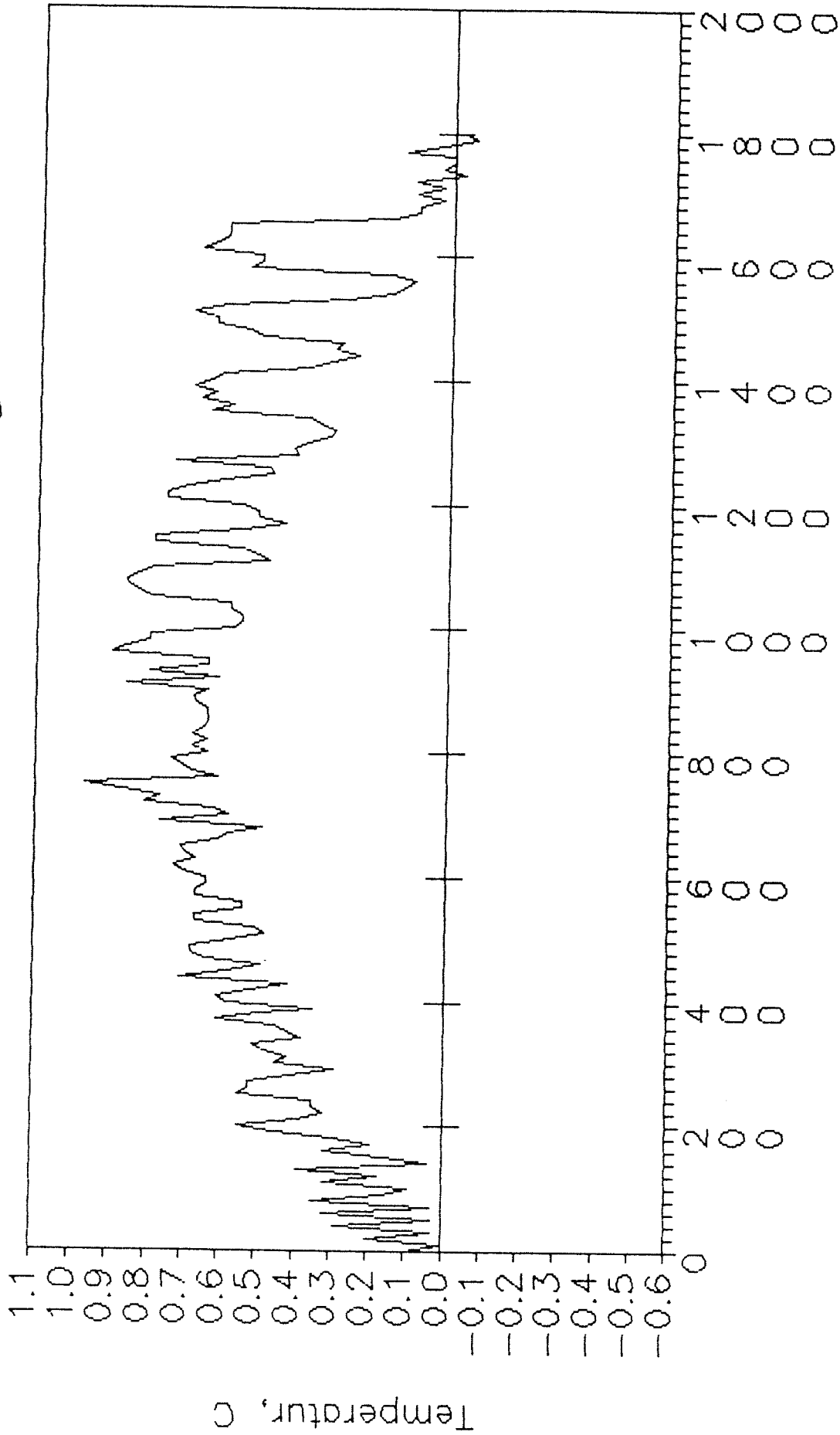


Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



— SSPCM ··· Reference - - Varmefolie

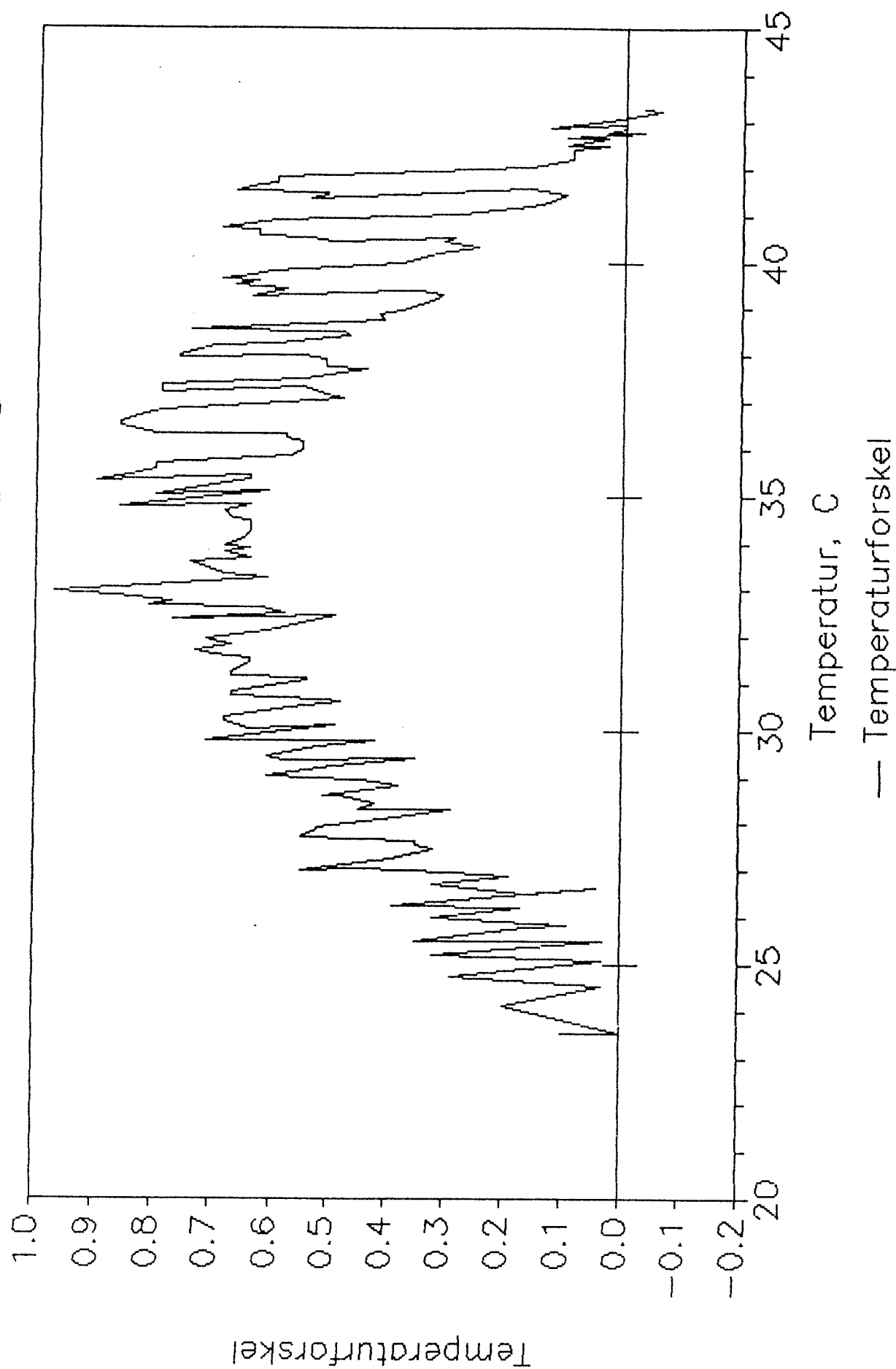
Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



Tid, sek.

— Temperaturforskjel

Varmeakkumulering i gips og SSPCM.



Dato 1989-01-26

Ref. PBH/BB

Vedr. 372-01 Tilsatsmiddel
Opsugning af SSPCM i Rockwool

Stikord: Forsøg, rapport, Rockwool, imprægnering

Formål: At undersøge Rockwools evne til at opsuge SSPCM materiale og vurdere SSPCM materialets effekt på mekaniske egenskaber.

Konklusion: Flydende SSPCM opsuges i Rockwool, indtil stort set al luft i Rockwool-strukturen er fordrevet. Man kan således let opsuge og fastholde en mængde SSPCM materiale, der svarer til 1 mm SSPCM i en Rockwool A-Batts.

En del af SSPCM materialet dræner imidlertid af, hvis der er tale om en A-Batts, mens der ved et tungere produkt (ca. 145 kg/m^3) næsten ikke finder afdræning sted. Prøver af denne densitet bliver således næsten massive ved neddykning i SSPCM.

SSPCM's indflydelse på mekaniske egenskaber: Rockwool forbliver dimensionsstabilt efter opsugning af SSPCM, og der konstateres ingen svækkelse af bindemidlet i en grænsezone mellem ren Rockwool og Rockwool med opsuget SSPCM.

Sagens

fortsættelse: Undersøgelsens resultater overgives hermed til KS, der tager stilling til sagens videre forløb. Resterende SSPCM materiale opbevares hos "PLQ" indtil videre.

Peder Hansen

Vedr. 372-01 Tilsatsmiddel
Opsugning af SSPCM i Rockwool

Beskrivelse af forsøget

SSPCM materialet er en blanding af 2,2-dimethyl-1,3-propandiol og 1,1,1-trishydroxymethylethanol.

Det optrådte inden smeltning som et hvidt granulat og smeltede ved ca. 130-180°C.

Ved neddykning af Rockwool-prøver i det smeltede SSPCM materiale sank de øjeblikkeligt til bunds, idet luften i Rockwool-strukturen blev fordrevet.

Smeltningen foregik i et stinkskab, og en del damp undslap smelten. Denne damp fortættes ved afkøling i stinkskabet til "snekrystaller" af et stort volumen. Smelten dampede under hele smelteforløbet fra ca. 130°C til ca. 180°C, men der konstateredes ingen kraftig ubehagelig lugt. Der vil dog ved smeltning uden afsugning optræde en vis lugtgene.

Ved rensning af stinkskabet konstateredes det, at hvis smeltningen havde stået på i lidt længere tid, ville luftkanalerne være blevet tilstoppet med "sne". Alt tilsvinet udstyr kunne dog renses med lunkent vand.

21. juni 1988.

Vedr.: EFP-PROJEKT, LET VÆGELEMENT MED HØJ TERMISK KAPACITET

På grundlag af litteraturundersøgelser valgtes tre sammensætninger til brug som SSPCM (Solid State Phase Changing Materials).

A: 40,0 mol-% 1,1',1''-tris(hydroxomethyl)ethan
60,0 mol-% 2,2'-dimethyl-1,3-propandiol

B: 100 mol-% 2,2'-dimethyl-1,3-propandiol

C: 55.9 mol-% pentaerythritol
44.1 mol-% glycerol

Følgende litteraturværdier er fundet:

	A	B	C
Overgangstemperatur (°C)	26	43	~28
Overgangsenthalpi (kJ/kg)	76	131	90
Smeltepunkt (°C)	142	128	-
Massefylde (kg/m ³)	1070	1041	1300
Termisk ledningsevne (W/m/K)	0,24	0,25	-

De anvendte kemikalier var tekniske produkter med renheder over 98 %, bortset fra glycerol, som var en kemisk ren 87 w/w-% blanding med vand. Blanding C fremstilledes ved afdestillation af vand ved 170 °C.

Gips, fibergips, spånplade og krydsfiner impregneredes med A, B, og C ved neddykning i smelter ved 150 °C. Vægtforøgelserne målttes efter 10 min. og frivillig afdrypning. Dette gentoges efter yderligere 10 min. i smelterne. Vacuumimpregnering viste sig ikke praktisk mulig p. gr. af ret høje damptryk ved 150 °C. Materiale størrelserne for pladerne var 95 x 95 x ca. 12 mm.

De optagne vægtmængder er anført i følgende tabel.

Totalt opsuget (1. gang; 2. gang)

	A	B	C
Gipsplade			
82,54 g	8,77 g; 15,20 g		
82,32 g		17,68 g; 19,94 g	
80,81 g			5,57 g; 14,09 g
Fibergips			
107,05 g	4,05 g; 8,69 g		
106,47 g		3,11 g; 3,41 g	
106,01 g			-0,17 g; -0,87 g
Spånplade			
73,12 g			
72,81 g	Limen mere eller mindre opløst.		
76,62 g			
X-finér			
61,35 g	0,43 g; 0,33 g		
63,20 g		0,65 g; 0,51 g	
60,56 g			6,14 g; 5,87 g

Som oversigten viser, er der en rigt varieret opførsel. Nogle hovedpunkter kan nævnes: (1) Spånplade tåler hverken A, B, eller C, da limen opløses. (2) Gipsplade suger væsentlig mere end de andre materialer, f. eks. op til 24 w/w-% B af egenvægten er observeret. Opsugningen ser endda ikke ud til at være færdig efter 20 min. (3) Fibergips suger 8 w/w-% A eller mere, 3 w/w-% B, men intet C. (4) X-finér suger hverken A eller B men ca. 10 w/w-% C.

På denne baggrund kan det foreslås at foretage termiske undersøgelser på flg.:

Gipsplade mættet med A, B, og C.

Fibergips mættet med A.

X-finér mættet med C.

Under impregneringsarbejdet gjordes den erfaring, at smelterne A og B ved 150 °C har ret høje damptryk af 2,2'-dimethyl-1,3-propandiol med tilhørende lugtgener. En del heraf skyldes muligvis urenheder.