DK9001022

NEI-DK--252

HØJBOGAARD BIOGASANLÆG NØRRE AABY A/S
INDUSTRIVEJ 9 · DK 5580 NØRRE AABY . TLF. (09) 42 10 50

NEI-DK--252

DE90 748434

FORVARMNING AF GYLLE VED VARMEVEKSLING MED RØGGAS

MASTER

JULI 1987

JØRGEN WEBER
INGENIØR

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED
FOREIGN SALES PROHIBITED

RB

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.

INDUSTRIVEJ 9 . DK 5580 NØRRE AABY . TLF. (09) 42 10 50

INDHOLDSFORTEGNELSE

		SIDE
1.	IDEGRUNDLAG	1
2.	PROJEKTBESKRIVELSE, FORMÅL	3
3.	BESKRIVELSE AF FORSØGSOPSTILLING	4
4.	INDKØRING AF ANLÆGGET	5
5.	FORSØGSKØRSEL MED AUT. DATAOPSAMLING	6
6.	ENERGIBALANCE	6
7.	ANAEROBE OMSÆTNINGSTESTS	7
8.	LUGTGENER	8
9.	DISKUSSION AF FORSØGSRESULTATER	8
10.	PERSPEKTIVER FOR FREMTIDIGE ANLÆG	10
11.	VURDERING AF PRAKTISKE ANVENDELSESMULIGHEDER	11

BILAGSFORTEGNELSE

1. PRINCIPDIAGRAM FOR FORSØGSOPSTILLING
2. KURVEBLAD
3. KURVEBLAD
4. RESULTAT AF ANALYSER OG UDRÅDNINGSFORSØG
5. DELRAPPORT/KEMITEKNIK, TEKNOLOGISK INSTITUT
6. SKITSE AF FORSLAG TIL FULDSKALAANLÆG
7. TYPISK KURVE FOR KEDELVIRKNINGSGRAD MED KONDENSERENDE RØGGASKØLING VED GASFYLDNING.

INDUSTRIVEJ 9 . DK 5580 NØRRE AABY . TLF. (09) 42 10 50

1. IDÉGRUNDLAG

De senere års realprisfald på oliebaseret energi stiller større og større krav til alternative energianlæg's udnyttelsesgrad for at disse energiformer kan gøres konkurrencedygtige.

For biogasanlæggene's vedkommende har det vist sig at opvarmning til det thermofile område (50-60°C) inden mesofil udrådning ved 35-45°C har en positiv virkning på gasudbyttet (m^3 gas pr. kg organisk tørstof).

Denne metode kræver et større procesenergiforbrug end den traditionelle mesofile proces, hvilket medfører at nettoproduktionen fra anlægget ikke forbedres, med mindre der investeres betydelige beløb i mere komplicerede rørsystemer og varmevekslere.

På et biogasanlæg vil der altid være installeret et kedelanlæg og ofte tillige et motor/generatoranlæg.

Røggassen fra kedelanlæg udledes normalt til det fri med temperaturer på 180-210°C, hvis der ikke er installeret varmevekslere til røggaskøling.

Fra motoranlæg vil udstødningstemperaturen, afhængig af om udstødningsmanifoldet er vandkølet, normalt ligge på 550-400°C. Sædvanligvis er der dog installeret en udstødningsvarmeveksler, ofte benævnt udstødskedel, for at udnytte de lettest tilgængelige kalorier. Efter denne er udstødningstemperaturen typisk 180-250°C, altså af samme størrelsesorden som ved kedelanlæg.

Røggassammensætningen er stort set den samme fra kedler og motorer og vil for en biogas med methanprocent på 60 og et luftoverskudstal på 1,2 være følgende:

2%	O_2
14%	CO_2
16%	H_2O (vanddamp)
68%	N_2

/2

INDUSTRIVEJ 9 . DK 5580 NØRRE AABY . TLF. (09) 42 10 50

Foranstående er volumenprocenter. Den gennemsnitlige massefylde er ca. 1,26 kg/m³N.

Ved forbrænding af 1 m³N biogas dannes der ca. 8 m³N røggas ved et luftoverskud på 1,2.

Middelvarmefylden ved 200°C udgør ca. 0,27 kcal/kg°C, dertil kommer kondenseringsenergien fra vanddampen, hvis det er muligt at nedkøle røgen til under vanddugpunktet. Det vil i praksis betyde at kølemediet, som regel returvand fra radiatoropvarmningsanlæg, skal være i størrelsesordenen 40-45°C for at opnå en nogenlunde effektiv kondensering, se bilag 7.

Vanddamp frigiver 539 kcal/kg ved kondensering.

Ud fra ovenstående kan energiindholdet i røggassen bestemmes:

Biogasforbrug	:	10 m³N/h		
Røggasmængde	:	8 x 10 x 1,26	=	100,8 kg/h

Varmegenvinding ved nedkøling fra 240-50°C =

100,8 x 0,27 x (240-50)	=	5,171 kcal/h
+ 60% kondensering		
af vanddamp	=	3.535 kcal/h
Total varmegenvinding	=	8.706 kcal/h

eller omregnet til ca. 870 kcal/m³N forbrugt biogas

Ved 100% kondensering fås ca. 1.100 kcal/m³N forbrugt gas. Denne energimængde, som i mange tilfælde bortkastes, kan dække en væsentlig del af procesenergiforbruget, hvis den kan overføres til gyllen uden større tab.

2. PROJEKTBESKRIVELSE, FORMÅL

Ud fra de i afsnit 1 nævnte betragtninger går opgaven ud på at konstruere en varmeveksler, hvor såvel den frie energi som den i kondensatet bundne energi kan overføres til gyllen på effektiv vis.

En traditionel varmeveksler af plade- eller rørtypen vil volde problemer med fastbrænding, da overfladetemperaturen på skillefladen mellem røggas og gylle kun vanskeligt kan holdes under den kritiske værdi, som ligger omkring 65°C.

Blandt flere løsningsmuligheder, blev der valgt en løsning med direkte indblæsning af røggassen i gyllen og dermed varmeveksling og kondensering ved direkte varmeveksling.

For at opnå en effektiv varmeveksling skal røggassen opblandes effektivt i gyllen.

For at tilgodese dette forhold, samt for at undgå modtryk i røggassen, valgtes en løsning med en ejektor, som skulle drives af gylleflowet.

Modtryk på røggassen er især kritisk ved motorer med turbolader og almindeligt anvendte gaskedler- og brændere.

Projektet er opdelt i 2 faser:

1. Konstruktion af pilotveksler og test på Højbogaard.
2. Dimensionering af fuld-skala veksler til fællesanlæg på baggrund af 1.

Denne rapport omfatter udelukkende fase 1.

Dette skyldes at der er uafklarede problemer i vekslerfunktionen, både med hensyn til effektivitet rent varmeteknisk og eventuel ophobning af toksiske gasarter i gyllen, som kunne virke hæmmende på den senere udrådningsproces.

/4

Projektets primære formål er at undersøge det valgte vekslerprincips anvendelighed på et bestående motoranlæg, samt at bestemme varmevekslingens effektivitet.

Derudover undersøges hvilken indflydelse den direkte kontakt kan have på gasudbyttet ved en efterfølgende udrådning i forsøgsreaktor.

Tilrettelæggelse og udførelse er sket i samarbejde med Kemiteknik, Teknologisk Institut.

Projektet er udført med støtte fra Teknologirådet.

PROJEKTMEDARBEJDERE

CIV. ING.	JØRN BØDKER	-	KEMITEKNIK
LABORANT	HANNE AHM	-	HØJBOGAARD BIOGASANLÆG A/S
LABORANT	KARIN EDAL	-	HØJBOGAARD BIOGASANLÆG A/S
LANDBR.TEKN.	HENRIK TORPEGAARD	-	HØJBOGAARD BIOGASANLÆG A/S
ING.	JØRGEN WEBER	-	BIGADAN A/S

3. BESKRIVELSE AF FORSØGSOPSTILLING

Det viste sig hurtigt ved de første indkøringsforsøg, at der var risiko for tilbageslag af gylle i motorens udstødningssystem. Ejektoren kunne ikke justeres til tilstrækkelig sugeevne.

Anlægget blev derfor ændret til det i bilag 1 viste princip.

Forsøgsopstillingen er udført som batch-anlæg.

Den gylleprøve, som skal anvendes i forsøget, pumpes ind i varmeveksleren fra Højbogaardanlægget's fortank.

Der udtages en prøve til analyse og udrådningsforsøg. Derefter startes motoranlægget og forsøgsopstillingens monopumpe. Pumpen suger fra bunden af varmeveksleren og trykker gyllen ind foroven i beholderen, hvor den spredes ud.

INDUSTRIVEJ 9 . DK 5580 NØRRE AABY . TLF. (09) 42 10 50

Efter afsluttet prøvekørsel suges gyllen ud med Højbogaard's monopumpe til analyse og udrådningsforsøg.

Som det ses af princippet, kan denne konstruktion ikke påføre motoren skader ved en eventuel fastbrænding af gylle, hvor den varme røggas ledes ind. Der opnås en form for 2-trins nedkøling af røggassen. Den største nedkøling sker ved gennembobling, og en efterkøling opnås ved røggassens passage op igennem beholderen, hvor den nedkøles med recirkuleret gylle.

Princippet er ikke sårbart for ændringer i gylle- eller røggasflow, da flowet i såvel det ene som det andet medie kan svigte uden følgeskader på anlægs- eller maskindele.

4. INDKØRING AF ANLÆGGET

Efter den førnævnte ombygning blev der fyldt rent vand på beholderen og prøvekørt med varierende vandfyldning for at bedømme modtrykket på udstødningen. Herefter blev opstillingen isoleret.

Den første prøvekørsel med gylle blev foretaget uden neddykning af røggasrør.

Resultatet er vist på bilag 2.

Opvarmningen til 45-50°C forløb stort set som forventet, hvorimod det viste sig vanskeligt at opnå gylletemperaturer over 55°C.

Den følgende dag blev prøvekørslen gentaget med røggasrøret neddykket i gyllen.

Resultatet af denne prøvekørsel fremgår af bilag 3. Det ses her, at der med neddykket røggasrør blev opnået en hurtigere og mere effektiv varmegenvinding.

Den maksimalt opnåelige gylletemperatur blev målt til 60°C.

Gasmotoren var ens belastet ved de to prøvekørsler med et gasforbrug på 10 m^3N/h og en el-ydelse på 14,5 kW.

/6

Årsagen til at gylletemperaturen ikke kan drives højere end 60°C, trods indfyring af ca. 8.000 kcal/h med røggassen, kan kun forklares ved fordampning.

Den 22.05.1987 blev der kørt forsøg , hvor fordampningsmængden blev forsøgt anslået. Målingerne viste, at der ved gylletemperaturer højere end 55°C fordampes ca. 8 ltr/h.

5. FORSØGSKØRSEL MED AUTOMATISK DATAOPSAMLING

Den 01. juni 1987 blev der kørt forsøg sammen med civ. ing. Jørn Bødker fra Kemiteknik. Måleresultaterne blev registreret og opsamlet på det af Kemiteknik opstillede udstyr, bestående af datalogger og PC.

Forsøget forløb planmæssigt, bortset fra, at vi måtte undlade måling og registrering af afkastluftmængden, da det høje kondensatindhold umuliggjorde anvendelse af pitotrør, og trykvariationerne hidrørende fra gennemboblingen bevirkede meget ustabile måleværdier for differenstrykket.

Resultaterne af prøvekørslen kan ses i vedlagte del-rapport fra Kemiteknik (bilag 5).

6. ENERGIBALANCE

Varmeoverførslen fra røggas til varmeveksler og gylle andrager iflg. bilag 5 ca. 8.500 kcal./h ved et gasforbrug på 10 m^3N/h (62% CH_4).

I beregningseksemplet er benyttet flg. symboler:

mg	:	gylleflow (kg/døgn)
$\mathring{V}$ gas	:	gasproduktion (m^3/døgn)
VS	:	organisk tørstof (relativ indhold)
gVS	:	gasudbytte (m^3/kg VS)

BEREGNINGSEKSEMPEL:

$\mathring{V}$ gas	:	240 m³/døgn (10 m³/h)	
VS	:	0,05 m³	erfaringsværdier
gVS	:	0,4 m³/kgVS	fra fællesanlæg.

$$\text{Nødvendigt gylle-flow mg} = \frac{\mathring{V}\text{gas}}{\text{VS} \times \text{gVS}} = \frac{240}{0{,}05 \times 0{,}4} = \underline{12{,}0 \text{ m}^3/\text{døgn}}$$

Ved mesofil opvarmning til 37°C vil energiforbruget være:

$$12.000 \times (37-7) = \underline{360.000 \text{ kcal/døgn}}$$

Med en biogas-brændværdi på 5.300 kcal/m³ (62% CH_4) og en udstødningstemperatur efter motorens varmeveksler på 240°C (samme temperaturniveau som for kedel) vil der ved 24 timers drift overføres 24 x 8.500 = 204.000 kcal/døgn til varmeveksleren. Heraf antages ca. 190.000 kcal overført til gyllen, da der altid vil være et vist radiatortab fra konstruktionen, når den har nået arbejdstemperatur.

7. ANAEROBE OMSÆTNINGSTESTS

For at få en indikation af om der dannes hæmmende toksiske forbindelser i gyllen ved direkte kontakt med den varme røggas, blev der udført udrådningstests på prøver udtaget før og efter røggasvekslingen. Prøverne blev ligeledes analyseret for VS%, TS%, pH og total kvælstofindhold, og GVS-værdien blev bestemt.

Resultaterne ses i bilag 4, som viser, at såvel GVS-værdien som det absolutte gasudbytte stiger, hvilket også tidligere er konstateret ved thermisk forbehandling inden mesofil udrådning. Der synes således ikke at dannes stoffer, som virker hæmmende på gasproduktionen.

pH-værdien falder, som det kunne forventes, men ikke drastisk. Kvælstofindholdet falder også, hvilket skyldes, at ammoniak afdamper og forsvinder med udstødningen fra varmeveksleren.

/8

Kvælstoffet vil eventuelt kunne genvindes i et scrubberanlæg efter varmeveksleren.

8. LUGTGENER

Bedømmelse af lugt vil altid være subjektiv, men lugten fra udstødningen på varmeveksleren er meget ubehagelig, og vil absolut skulle renses, inden den udledes.

En scrubning med kondensering af de mest flygtige bestanddele efterfulgt af en filtrering gennem kompost- eller aktivt kulfilter kan muligvis være en løsning.

Problemet skal afklares inden installation af et fuldskalaanlæg.

9. DISKUSSION AF FORSØGSRESULTATER

Efter den i afsnit 3 beskrevne modifikation fungerede forsøgsopstillingen upåklageligt.

Kurverne for opvarmningsforløbet udviser samme karakteristika for alle prøvekørslerne såvel med som uden automatisk dataopsamling.

Kalkulationerne af varmeoverførsel fra røggas til gylle og varmevekslersystem iflg. afsnit 5, viser god overensstemmelse med de beregnede teoretiske værdier i afsnit 1. Beregningerne viser, at den tilrådighed værende energi i røggassen udgør 870-1.100 kcal/m^3 forbrugt biogas. Genvindingen af dette energiindhold afhænger af, hvor stor en del af vanddampindholdet det er muligt at kondensere. I starten af forsøgskørslen, hvor såvel opstillingen, som gyllen havde en temperatur på ca. 15°C, var varmevekslingen mest effektiv. Her var kondenseringen tæt på 100%.

Efterhånden som temperaturen steg , faldt kondensationsgraden ned til ca. 60% ved 50°C.

Som det ses af kurverne i bilag 2-3 og 5, faldt varmevekslerens effekt mærkbart i området mellem 40 og 50°C.

Den faldende effekt ved højere temperaturer end 40°C har sandsynligvis to årsager:

1. Som før nævnt falder kondensationsgraden og dermed energioverførslen fra røggas til gylle.
2. Ved gylletemperaturer højere end 50°C optræder der en del fordampning fra varmeveksleren. En del stammer naturligvis fra røggassens vanddampindhold, som ikke længere kondenseres effektivt, men en del stammer også fra gyllen. Ved at 'koge' på systemet i flere timer viste det sig, at væskestanden i varmeveksleren faldt, samtidig med at temperaturen stabiliserede sig omkring 60°C.

Der sker således en fordampning fra gyllen.

Fordampningsmængden blev groft bestemt til 8 ltr/h. Denne fordampning fjerner 4.300 kcal/h fra systemet gennem afkast af mættet damp.

Ved gylletemperatur på 60°C er der stort set ikke nogen effekt fra kondensation længere. Der er således kun røggassens frie varmeindhold til rådighed. Denne udgør iflg. afsnit 1 ca. 5.200 kcal/h.

Der opstår altså en balance mellem tilført og forbrugt energi. Differencen mellem 5.200 og 4.300 kcal/h kan tildels tilskrives unøjagtighed ved måling af fordampningsmængden samt uundgåeligt varmetab til omgivelserne.

Når fordampningen opstår ved gylletemperaturer på 55-60°C, kan det kun skyldes, at der opstår gylletemperaturer omkring 100°C lige omkring røggasrørets udmunding.

Fænomenet ville sandsynligvis ikke optræde så udtalt med ejektorløsningen, da der i ejektoren vil være et konstant gylleflow og en bedre opblanding, som kan holde temperaturen nede.

/10

Forsøget viser, at det med typiske værdier for VS, GVS og CH_4%, er muligt at udnytte spildvarmen fra et typisk motoranlæg til dækning af ca. 50% af procesenergiforbruget ved mesofil udrådning, hvilket i praksis betyder en merproduktion af varme fra et biogasanlæg på ca. 13%.

Med en kondenserende røggaskøler vil merproduktion af varme andrage 5-10% afhængig af belastning og kølevandstemperatur.

Røggaskondensering på traditionel vis kræver konstant lav temperatur på kølevandet (som regel fjernvarme-retur) hvorfor det specielt i sommerperioder kan være svært at opnå effektiv udnyttelse af kondenseringsvarmen. Se bilag 7.

Resultatet af forsøget med varmeveksling må anses for relativt sikkert på grund af god overensstemmelse mellem de beregnede værdier og forsøgsresultaterne.

Resultatet af udrådningsforsøgene indikerer en merproduktion af gas pr. kg. VS i størrelsesordenen 34%.

Da der var tale om et relativt beskedent udrådningsforsøg i skala og tidsomfang, kan dette resultat kun tages som et udtryk for, at opvarmningsmetoden ikke hæmmer gasproduktionen ved efterfølgende udrådning.

På den anden side falder resultatet fint i tråd med resultatet af et mere omfattende forsøg med thermisk forbehandling inden mesofil udrådning, hvor en merproduktion på 16% gas pr. kg VS blev registreret.

10. PERSPEKTIVER FOR FREMTIDIGE ANLÆG

Resultaterne viser, at implementering af røggasvarmeveksling er et af de tiltag, som bør tages under overvejelse i bestræbelserne på at gøre biogasanlæg mere lønsomme.

En merproduktion af varme, som følge af udnyttelse af røggasvarmen, på 13% og en anslået forbedring i gasudbyttet på 16%, vil overslagsmæssigt have følgende virkning for et biogasanlæg til ca. 80 m³ gylle pr. døgn:

Anlæg med motor/generator uden røggaskondensator

Gasproduktion	2.000 m³/døgn ~	550 kW
El-effekt	: 165 kW	
Varmeeffekt	: 275 kW	

Tilsvarende anlæg med direkte røggaskøling/gylleforvarmning

Gasproduktion:	2.000 + 16% = 2.320 m³/døgn ~	618 kW
El-effekt	: 185 kW	
Varmeeffekt	: 309 kW + 13%=	349 kW

Den samlede virkning af røggasvarmevekslingen vil under de givne forudsætninger således forbedre energibalancen med 12% for el-effektens vedkommende og med 27% for varmeeffekten.

11. VURDERING AF PRAKTISKE ANVENDELSESMULIGHEDER

Ud fra erfaringerne med prøvekørslerne anses det for teknisk muligt at anvende princippet i praksis på fuldskalaanlæg.

Ved konstruktion af en varmeveksler til større anlæg skal systemet udformes med et kontinuerligt flow gennem veksleren.

Gylleafløbet fra veksleren skal tilsluttes en isoleret, gastæt tank gennem en væskelås således at luftrummet i varmeveksleren forbliver trykløst.

For at gøre systemet universalt til alle motor- og kedeltyper, vil det være hensigtmæssigt at installere en sugetræksblæser i røggaskanalen for at kompensere for modtrykket i varmeveksleren.

Modtrykket kan, i henhold til prøvekørslerne på Højbogaard, holdes nede på 300 mm VS med røggastilgangen neddykket.

/12

INDUSTRIVEJ 9 . DK 5580 NØRRE AABY . TLF. (09) 42 10 50

Systemet skal konstrueres med afspærringsventiler og renselemme, således at varmeveksleren kan tømmes, åbnes og udslammes med mellemrum uden at tage motor/kedelanlæg ud af drift.

Der skal installeres udstyr til rensning af afkastet, som omtalt i afsnit 7.

Systemet kunne eventuelt kombineres med en sandudskiller i tanken.

Et forslag til systemkonfiguration er skitseret på bilag 6.

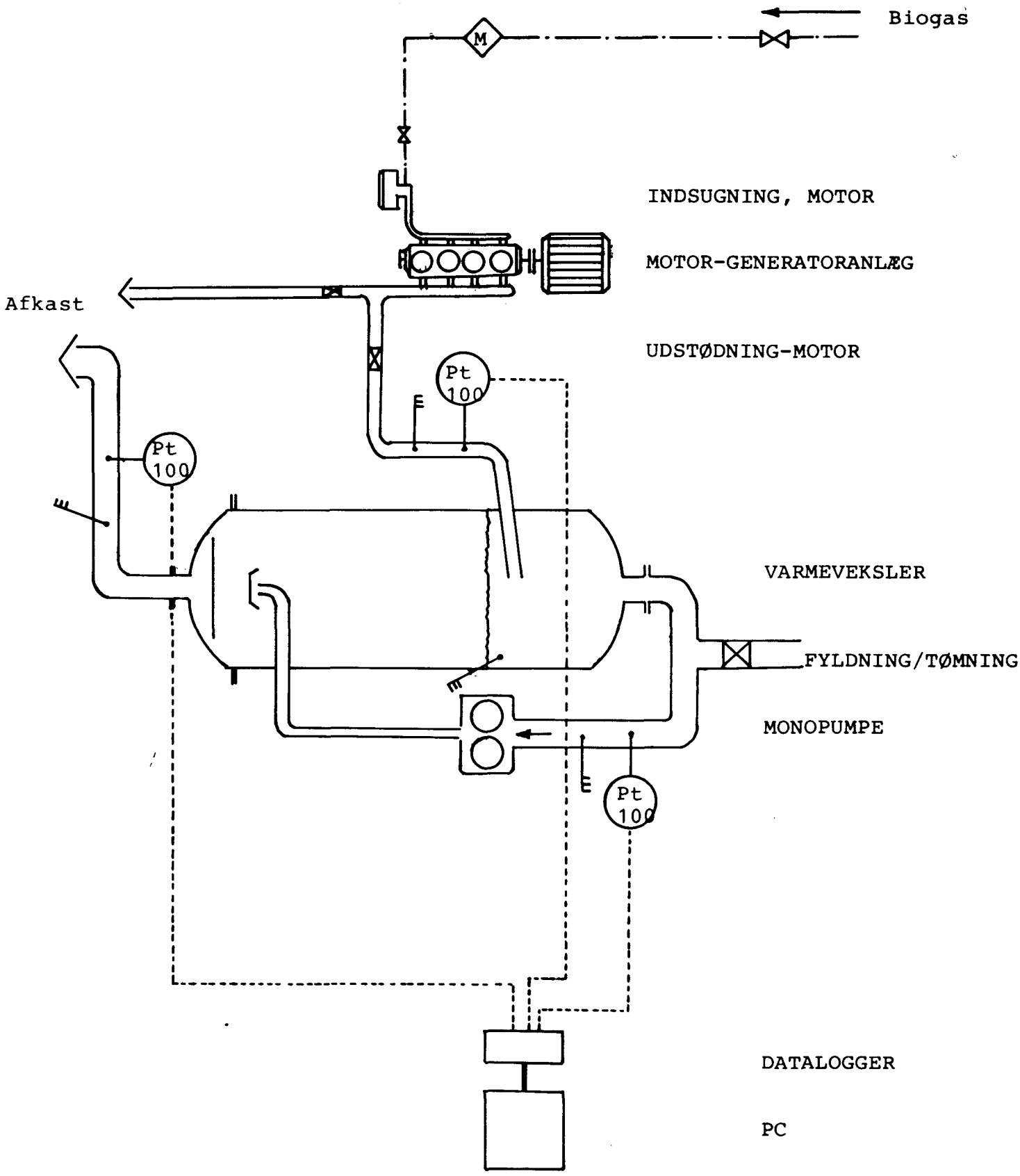
Når den tekniske side af sagen er behandlet, melder spørgsmålet sig, om energigevinsten kan forsvare merinvesteringen.

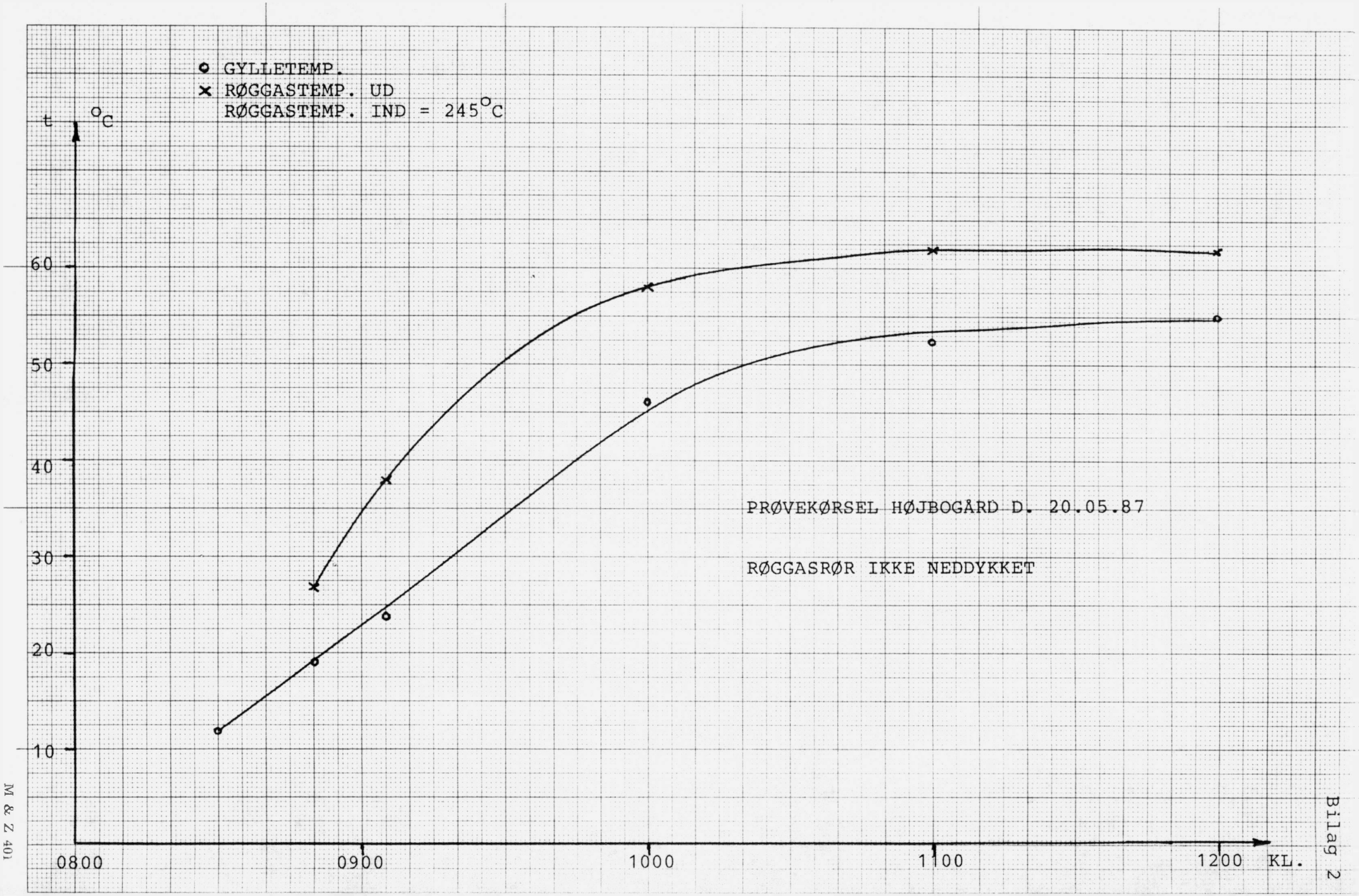
En analyse af dette forhold ligger uden for rammerne af dette projekt.

I forbindelse med sandudskilning i en separat tank kan systemet muligvis være interessant, da den største udgiftspost til tanken alligevel skal afholdes.

Såfremt systemet skal indbygges på et fuldskalaanlæg, skal det forberedes helt fra skitseprojektstadiet, da maskinrumsindretning, placering af røgkanaler og udstødningsrør samt maskinrummets beliggenhed i forhold til tankanlægget er væsentlige faktorer såvel for de praktiske muligheder som for anlægsomkostningerne.

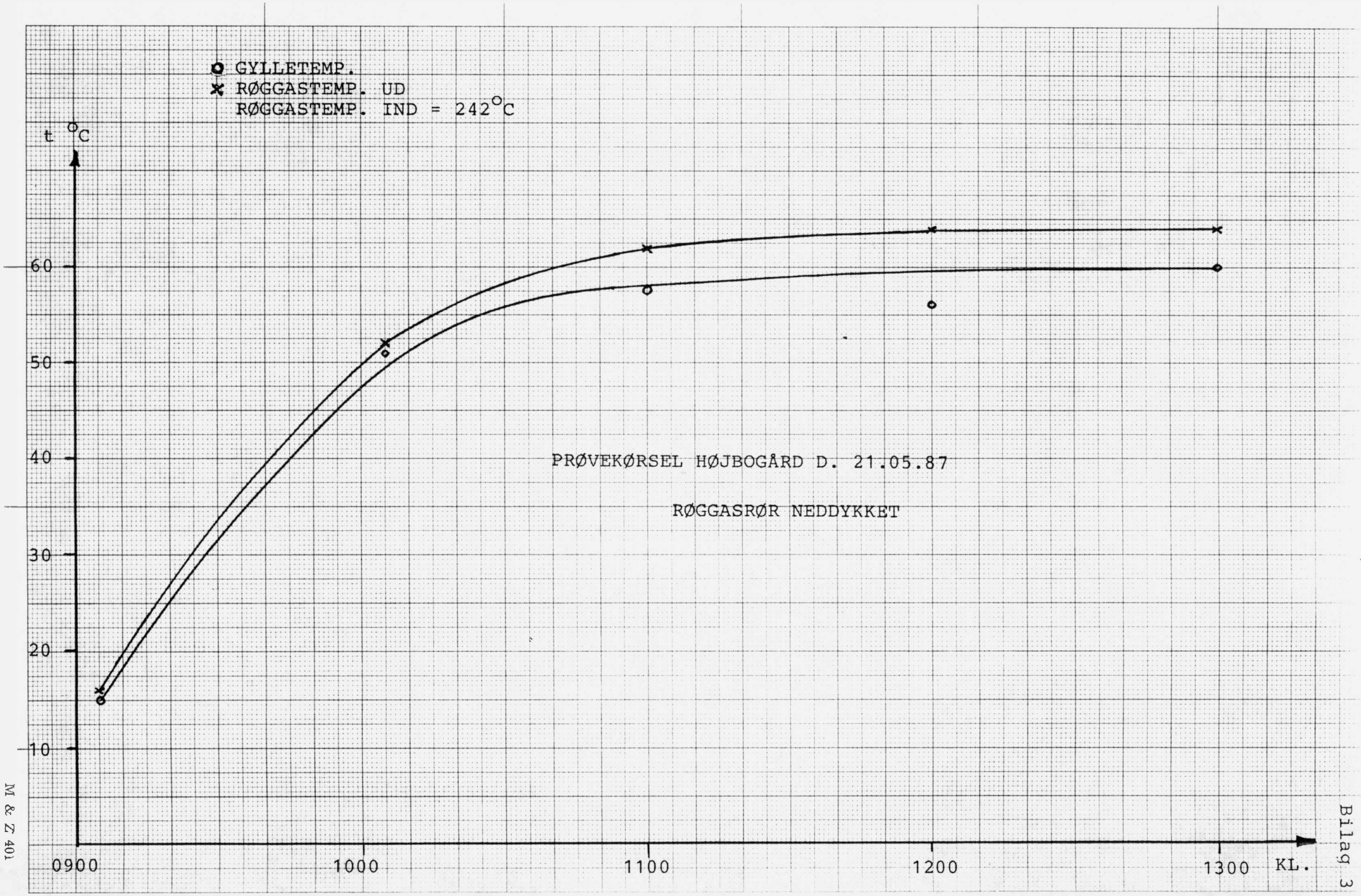
PRINCIPDIAGRAM FOR FORSØGSOPSTILLING





Bilag 2

M & Z 401



Bilag 3

M & Z 401

BILAG 4.

RESULTATER AF ANALYSER OG UDRÅDNINGSFORSØG

Prøver fra kørsel d. 01.06.87

Analyser af frisk kvæggylle før og efter røggasveksling.

	TS %	VS %	pH	TOTALKVÆLSTOF kg N_2/t
FØR VARMEVEKSLING	7,03	5,35	7,51	2,50
EFTER VARMEVEKSLING	6,48	4,95	7,42	2,10

Gasproduktion fra frisk kvæggylle før og efter forvarmning med røggasveksler udrådnet i 2 mesofile reaktorer på hver 2 ltr. med daglig tilførsel på 100 ml (20 døgns opholdstid).

DAG NR.	GASPRODUKTION	
	Prøve før varmeveksling l/døgn	Prøve efter varmeveksling l/døgn
1.	2,92	2,87
2.	2,17	3,41
3.	2,27	3,21
4.	2,33	3,28
5.	2,29	3,07
6.	2,20	2,26
7.	2,08	2.38
8.	2,99	2,13
9.	1,77	2,34
10.	2,08	2,66
11.	2,20	2,54
Total	24,30 ltr.	30,15 ltr.
$(m^3/kg\ gVS)$ VS	0,413	0,554

KEMITEKNIK

RØGGASVARMEVEKSLING

1. delrapport

Udført af: Teknologisk Institut
Kemiteknik
Gregersensvej
2630 Tåstrup

Jørn Bødker
civilingeniør

Juni 1987
Sagsnr.: 31173075

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Indledning	1
Resultater	1
1. forsøg	1
Figur 1	2
Figur 2	3
2. forsøg	4
Figur 3	4
Måling af varmekapacitet	5
Figur 4	5
Diskussion	6
Bilag	

Indledning

Den 1. juni 1987 er der gennemført 2 forsøg med portionsvis opvarmning af kvæggyllen ved hjælp af røggas fra gasmotor.

I røggas/gylle-varmeveksleren måles ved hjælp af PT-100 følere temperaturen i røggas-indløb og røggas-udløb samt i gyllen.

I løbet af forsøget aflæses med jævne mellemrum gasforbruget på motoren.

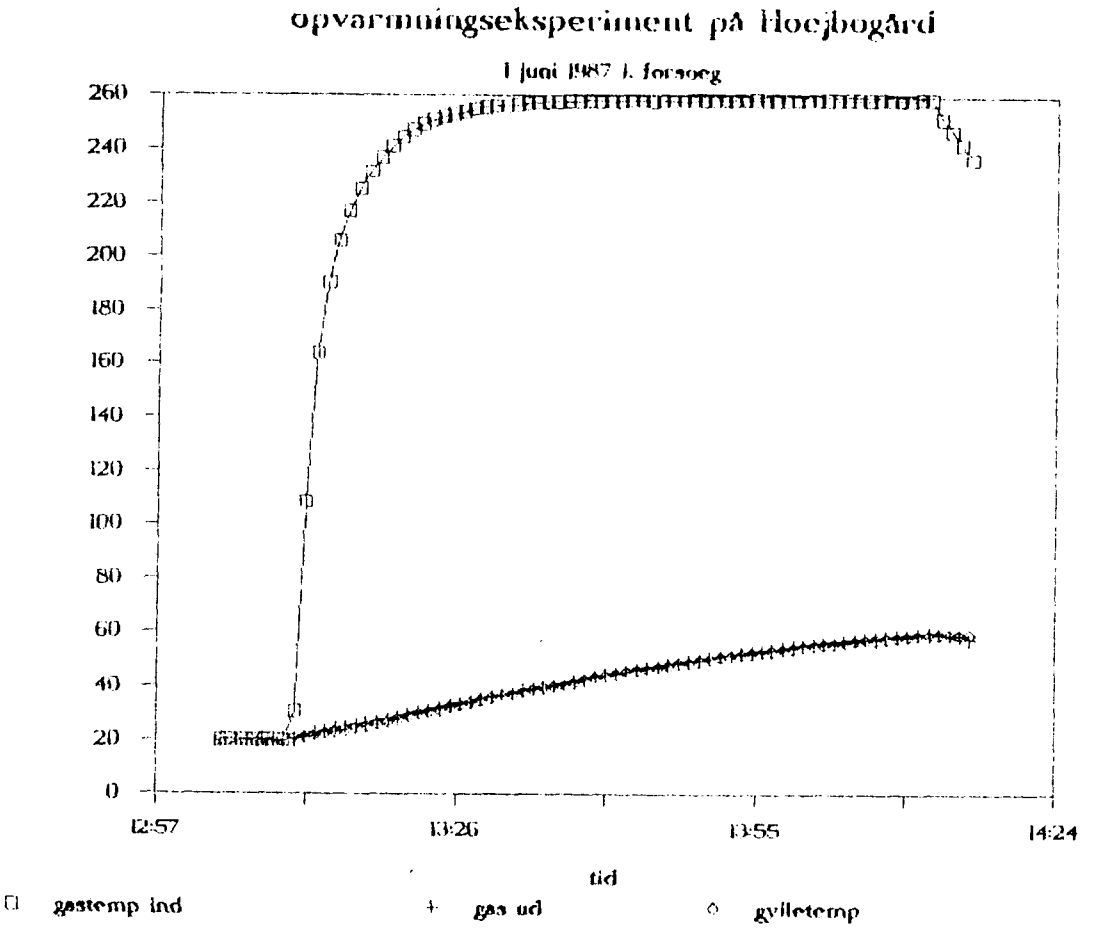
Endelig måles hele systemets varmekapacitet ved at tilsætte en kendt mængde koldt vand og derefter måle temperaturfaldet i systemet.

Resultater

1. forsøg

Gasforbrug: 11 m^3/h (se bilag A)
Methanindhold: 62% (målt gaschromatografisk)
Gyllemængde: 120 ltr

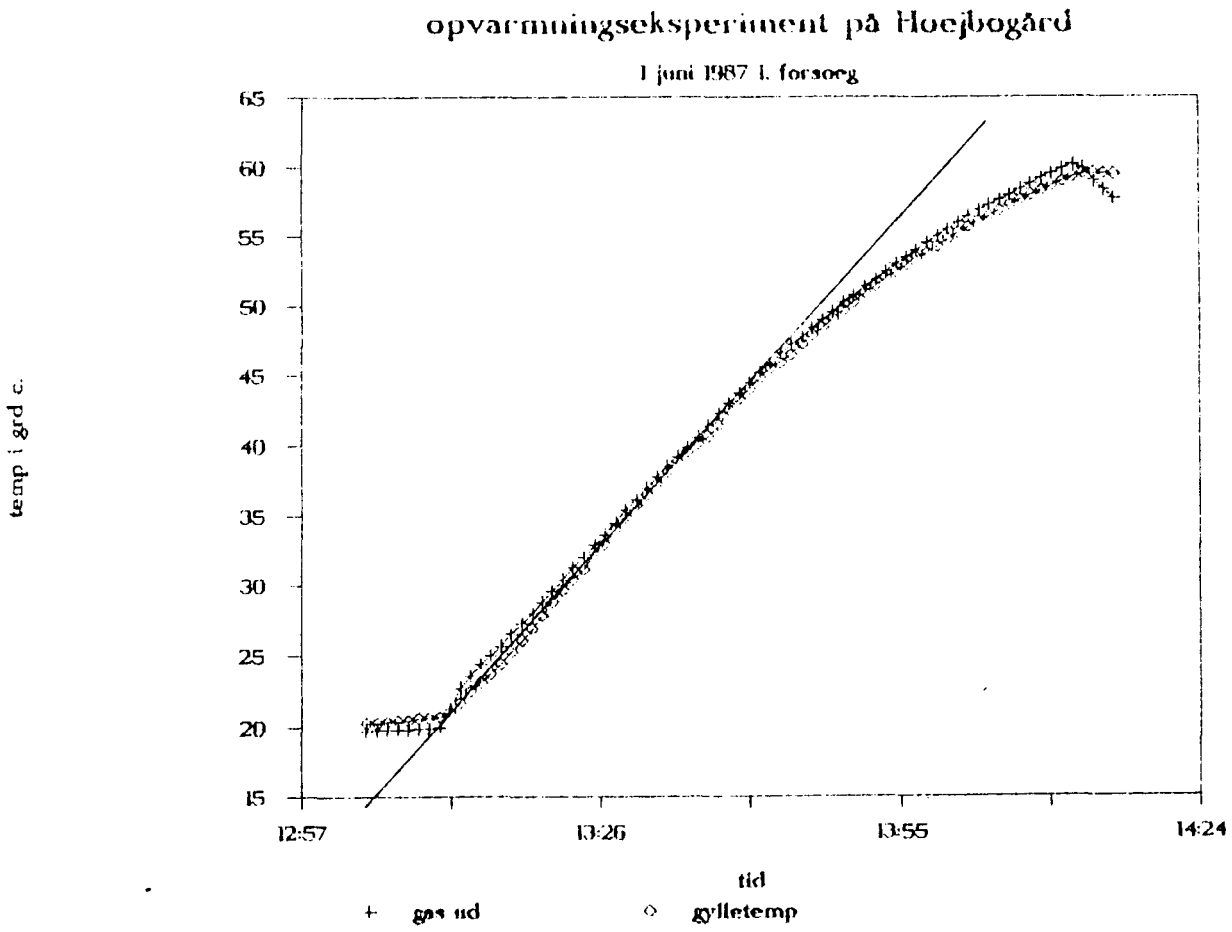
Som man kan se af figur 1 side 2 vokser røggastemperaturen i indløbet meget hurtigt efter start op til ca. 260°C.


opvarmningseksperiment på Hoejbogård
1 juni 1987 1. forsoeg
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
12:57
13:26
13:55
14:24
tid
temp i grd c.
gastemp ind
gas ud
gylletemp

Figur 1

I nedenstående figur 2, som er en fokusering på gylletemperatur og på røggas-ud temperaturen ser man, at røggastemperaturen meget nøje følger gylletemperaturen.

På den første del af opvarmningskurven fra 20 til ca. 40°C stiger temperaturen med ca. 1°C pr. min.

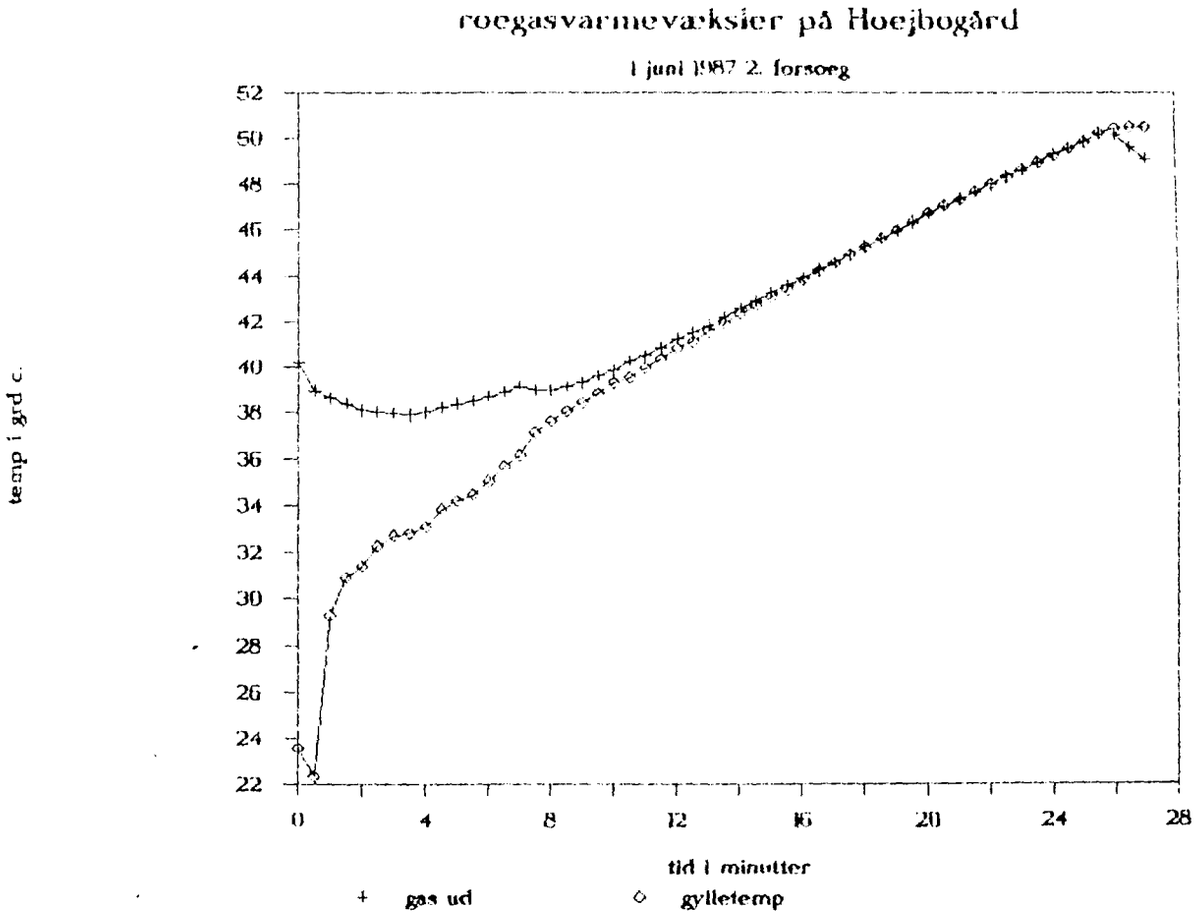


Figur 2

2. forsøg

Gasforbrug: 10 m^3/h (se bilag B)
Methanindhold: 62%
Gyllemængde: 110 ltr

I dette forsøg er der en smule mindre gylle i beholderen, hvilket bl.a. betyder, at indløbsrøret ikke er dykket eller kun er dykket meget lidt. I første del af forsøget (de første 8 min.) er recirkulationsflowet lavt, men efter ca. 8 min. øges dette igen til det maximale flow. Se figur 3.

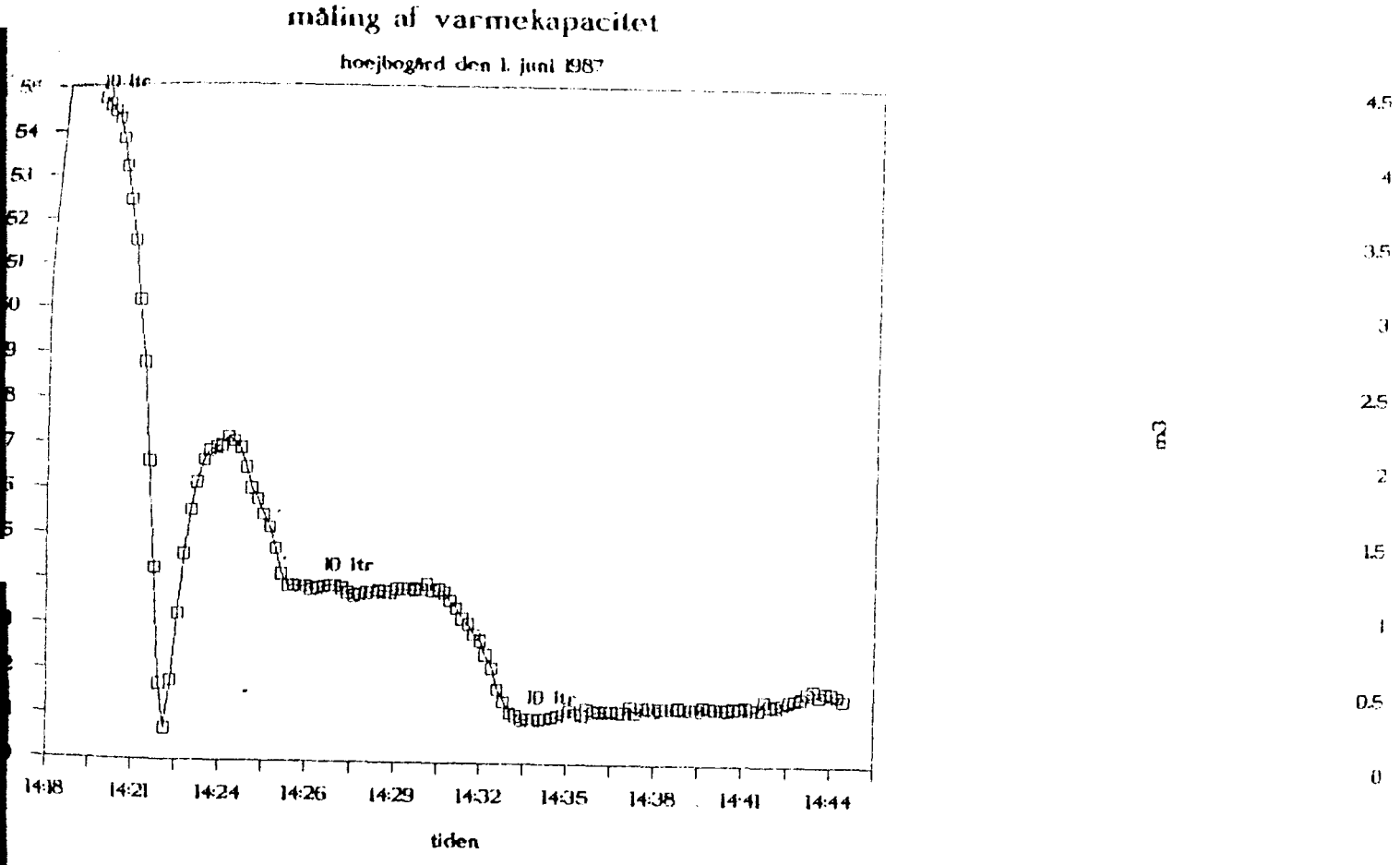


Figur 3

Måling af varmekapacitet

Selve beholdersystemet incl. pumpe har en relativ stor varmekapacitet.

I et forsøg på at måle denne tømmes beholderen for varm gylle, og der indhældes 3 x 10 ltr 14°C varmt vand. Temperaturforløbet ses på nedenstående figur 4:



Figur 4

Diskussion

Man ser af figurene 1, 2 og 3, at varmeovergangen er meget effektiv, idet temperaturen i gyllen er tæt på udgangstemperaturen af røggassen.

I den første del af opvarmningsforløbet (< 40°C) er opvarmningskurven retlignet. Ved højere temperaturer er temperaturstigningen mere dæmpet som tegn på, at røggassen ikke længere afgiver kondensationsvarme.

Varmekapaciteten af selve beholder og pumpe er relativ stor. Denne varmekapacitet er forsøgt bestemt ved at tilsætte en kendt mængde koldt vand til systemet og måle temperaturen før og efter tilsætningen.

Til bestemmelse af beholderens varmekapacitet anvendes følgende formelsæt:

hvor

C_B = beholderens varmekapacitet
C_v = varmekapaciteten af den væske, der er i beholderen før indhældning af koldt vand
C_a = varmekapaciteten af det tilsatte vand
T_E = temp. efter
T_F = temp. før
T_a = temp. af koldt vand

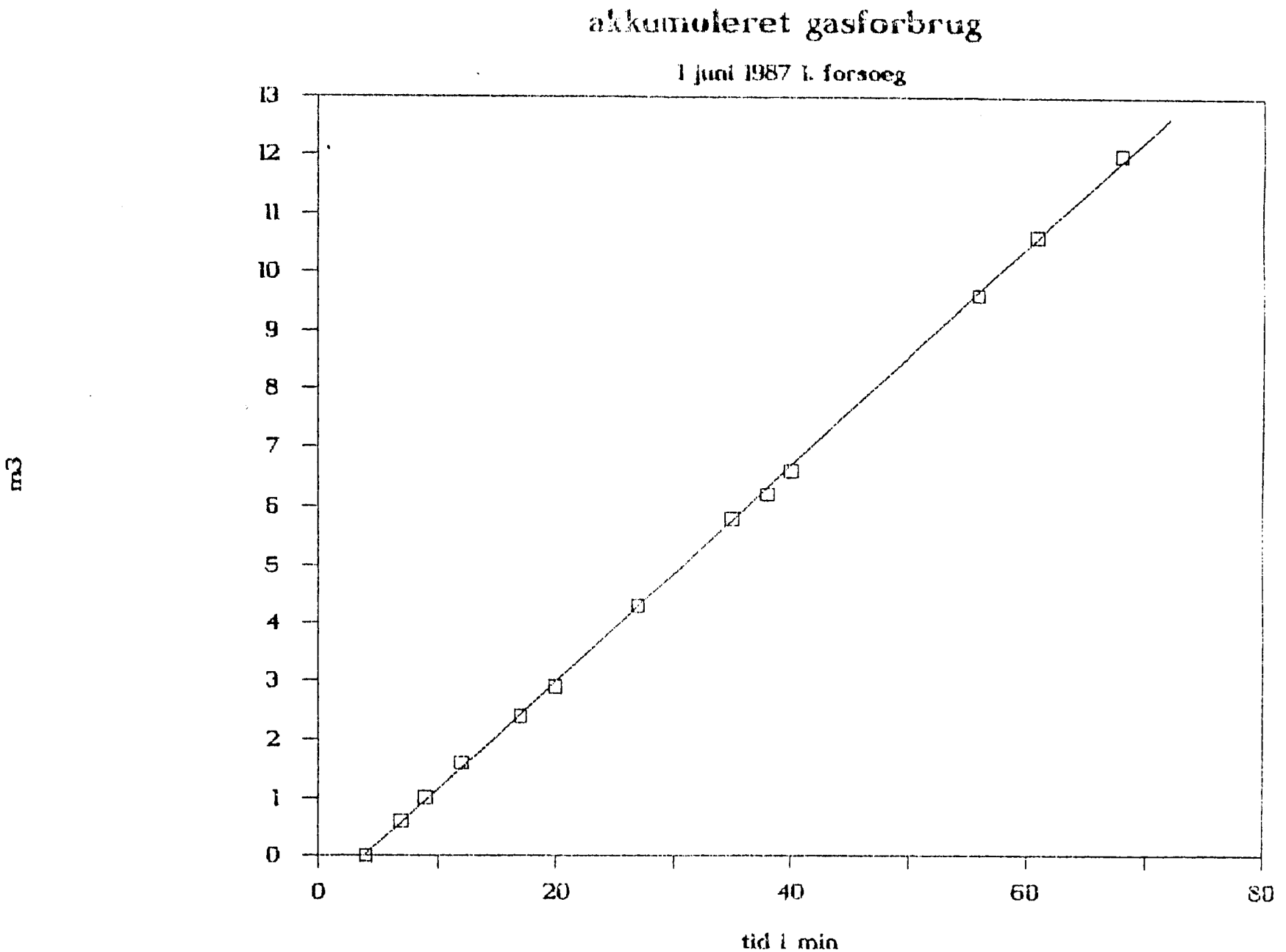
Det første temperaturspring fra 54,7°C til 47,2°C kan næppe benyttes til beregning af varmekapaciteten, da det sandsynligvis delvis skyldes, at pumpe m.m. ved konvektion er kølet af luften.

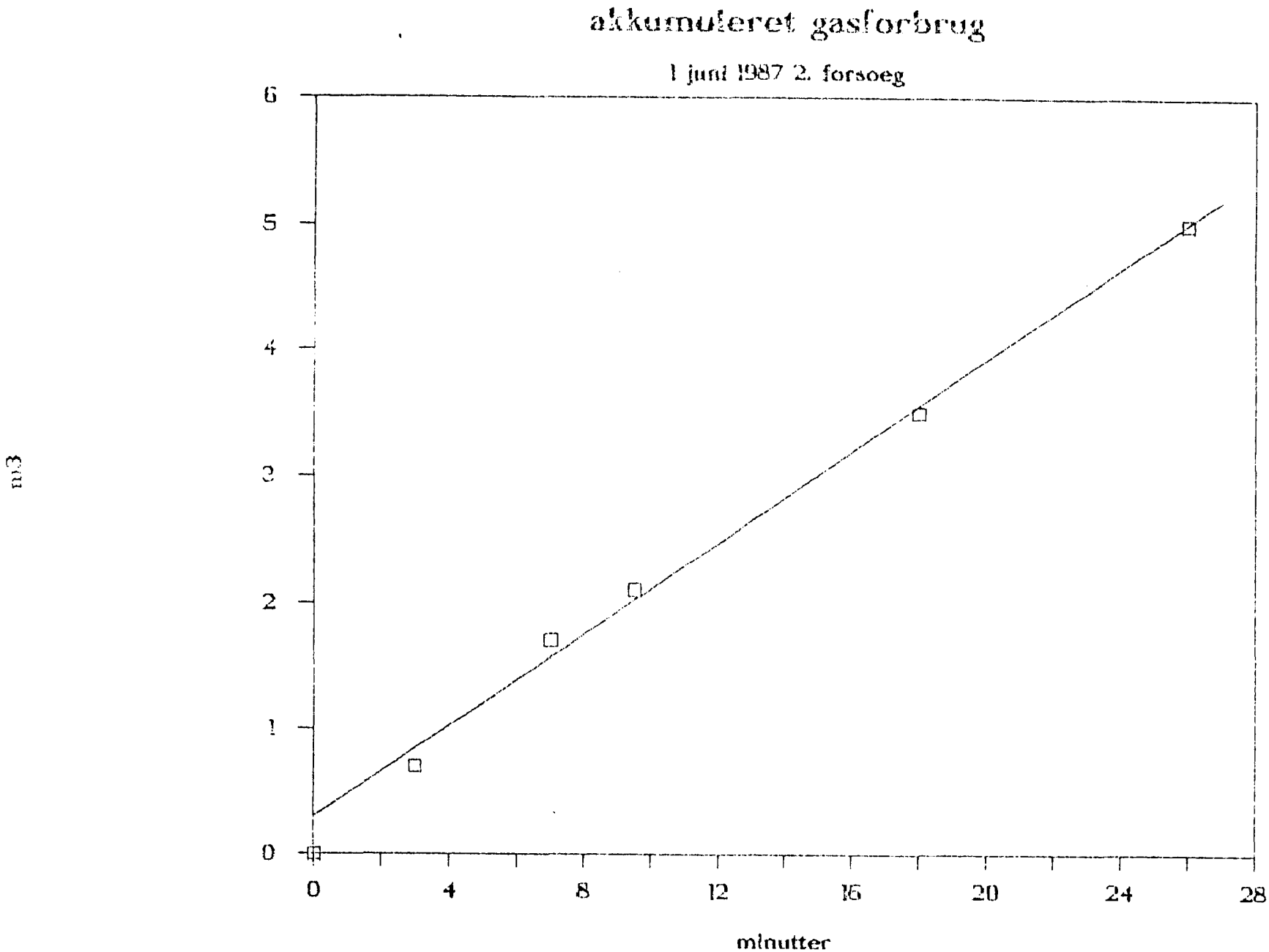
Anvendes 2 og 3 temperaturspring som grundlag for beregningerne, fås en varmekapacitet på henholdsvis 78 og 104 kcal/°C ellet et gennemsnit på 91 kcal/°C, hvilket er af samme størrelsesorden som varmekapaciteten i gyllen i de to forsøg.

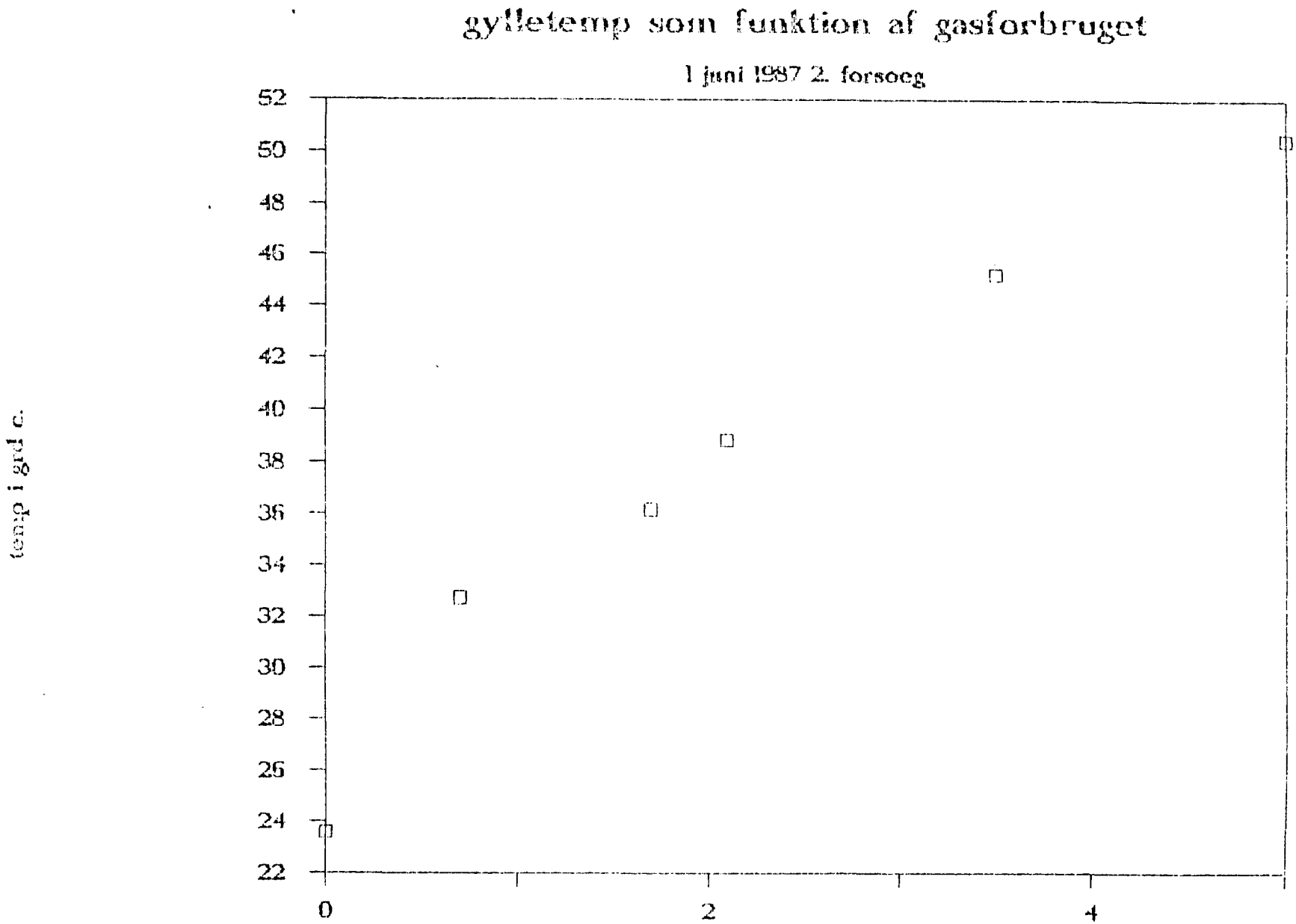
I 1. forsøg, hvor der i beholderen var ca. 120 ltr gylle, var den samlede varmekapacitet af beholder med indhold ca. 211 kcal/°C. Ved gylletemperaturer mindre end 40°C har man en varmeoverførsel på ca. 840 kcal pr. m^3 forbrugt biogas.

I andet forsøg, hvor beholderen er påfyldt 110 ltr gylle, var den samlede varmekapacitet ca. 201 kcal/°C, og i dette forsøg blev der ved temperaturer under 40°C overført 1060 kcal pr. m^3 forbrugt biogas.

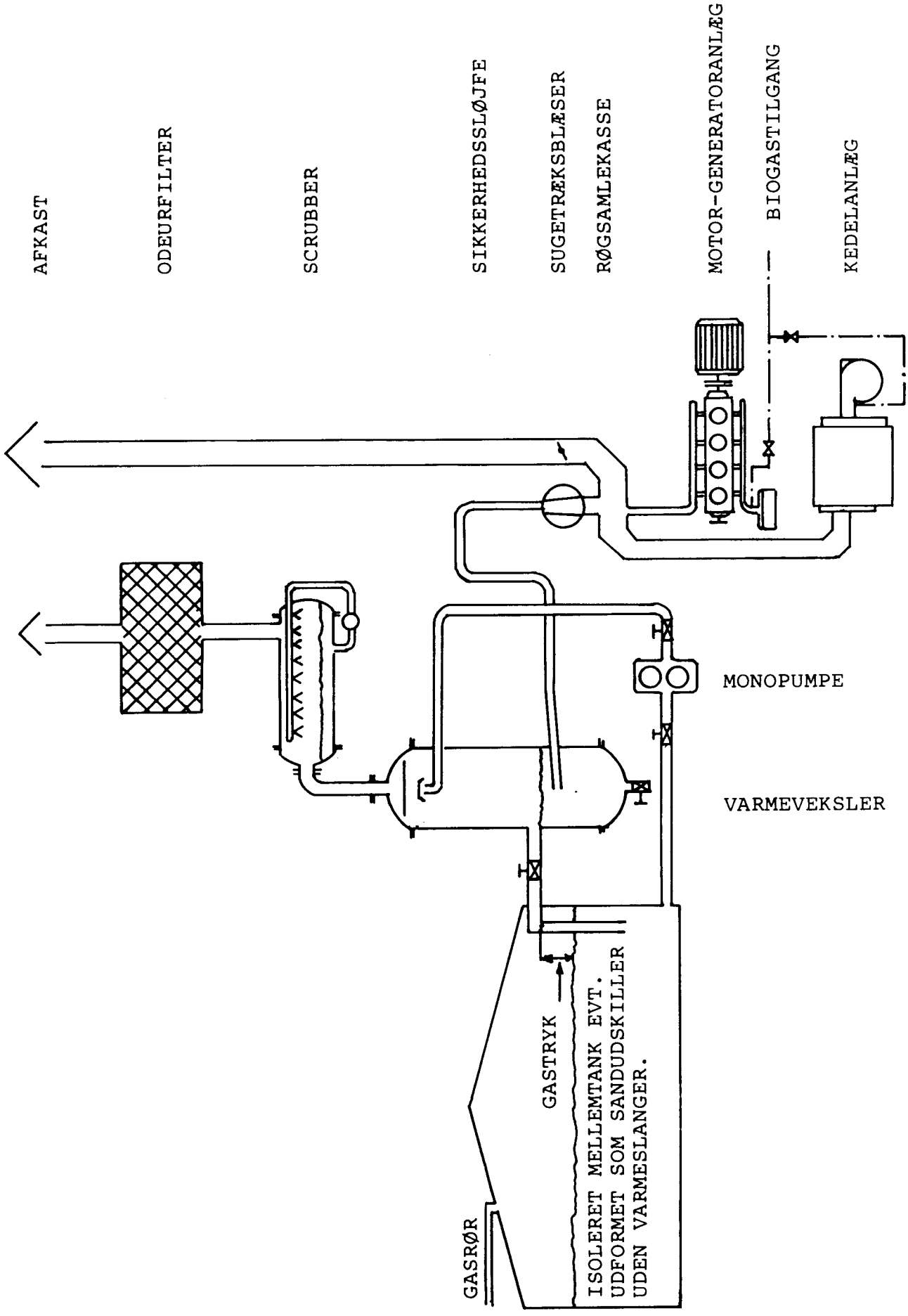
Årsagen til de lidt forskellige resultater er nok, at vi ikke fuldstændig har kontrol over selve beholderens varmekapacitet og temperaturdynamik.

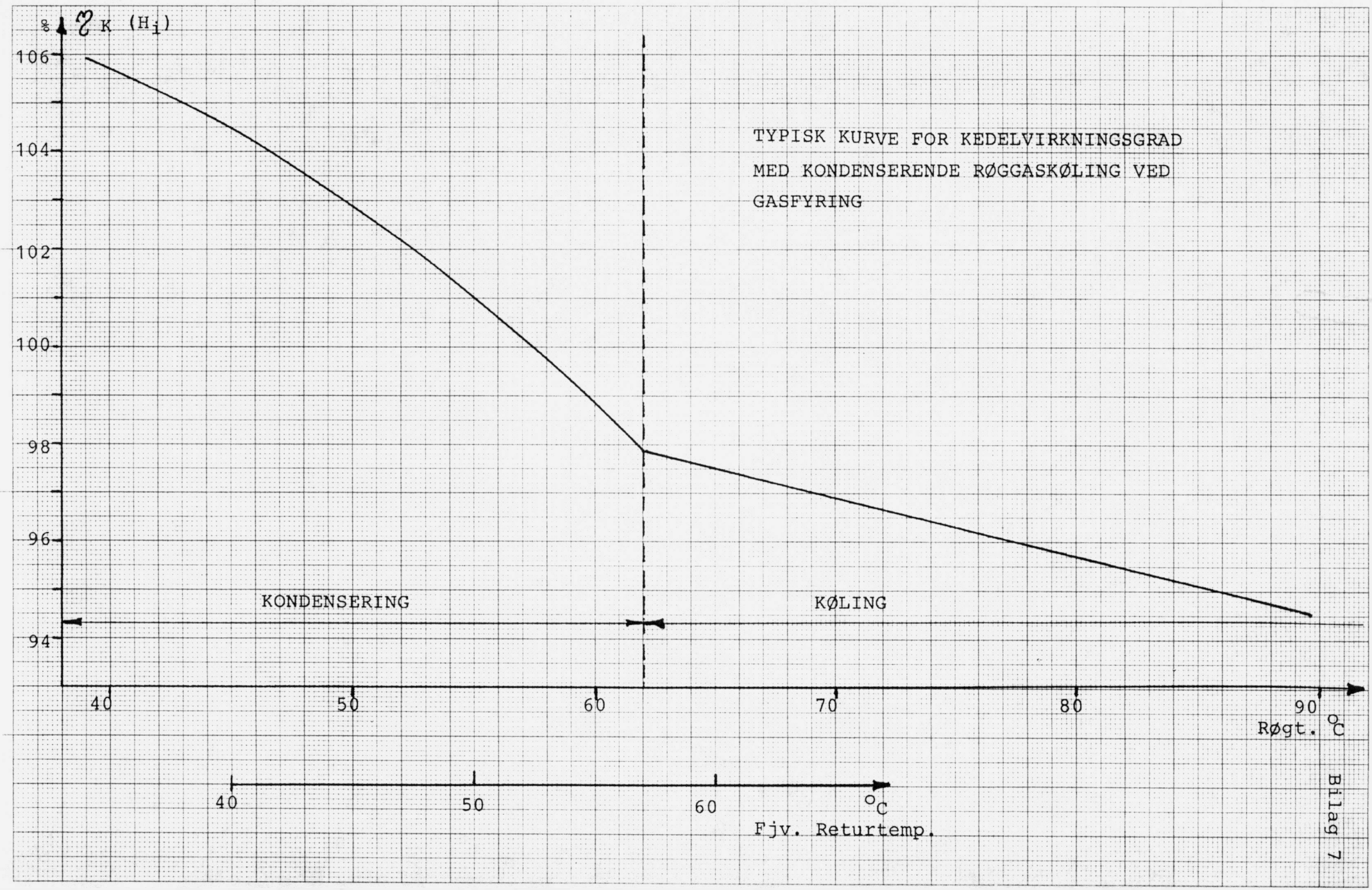

akkumuleret gasforbrug
1 juni 1987 1. forsoeg
m3
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
0
20
40
60
80
tid i min


akkumuleret gasforbrug
1 juni 1987 2. forsoeg
m3
0
1
2
3
4
5
6
0
4
8
12
16
20
24
28
minutter


gylletemp som funktion af gasforbruget
1 juni 1987 2. forsoeg
temp i grd c.
52
50
48
46
44
42
40
38
36
34
32
30
28
26
24
22
0
2
4

SKITSE AF FORSLAG TIL FULDSKALAANLÆG




TYPISK KURVE FOR KEDELVIRKNINGSGRAD
MED KONDENSERENDE RØGGASKØLING VED
GASFYRING
% η K (Hi)
106
104
102
100
98
96
94
KONDENSERING
KØLING
40
50
60
70
80
90
Røgt. °C
40
50
60
°C
Fjv. Returtemp.

Bilag 7