

---

Rapport SGC 002  
**MIKROKRAFTVÄRMEVERK  
FÖR VÄXTHUS**  
Utvärdering

Roy Ericsson  
Kjessler & Mannerstråle AB

April 1991

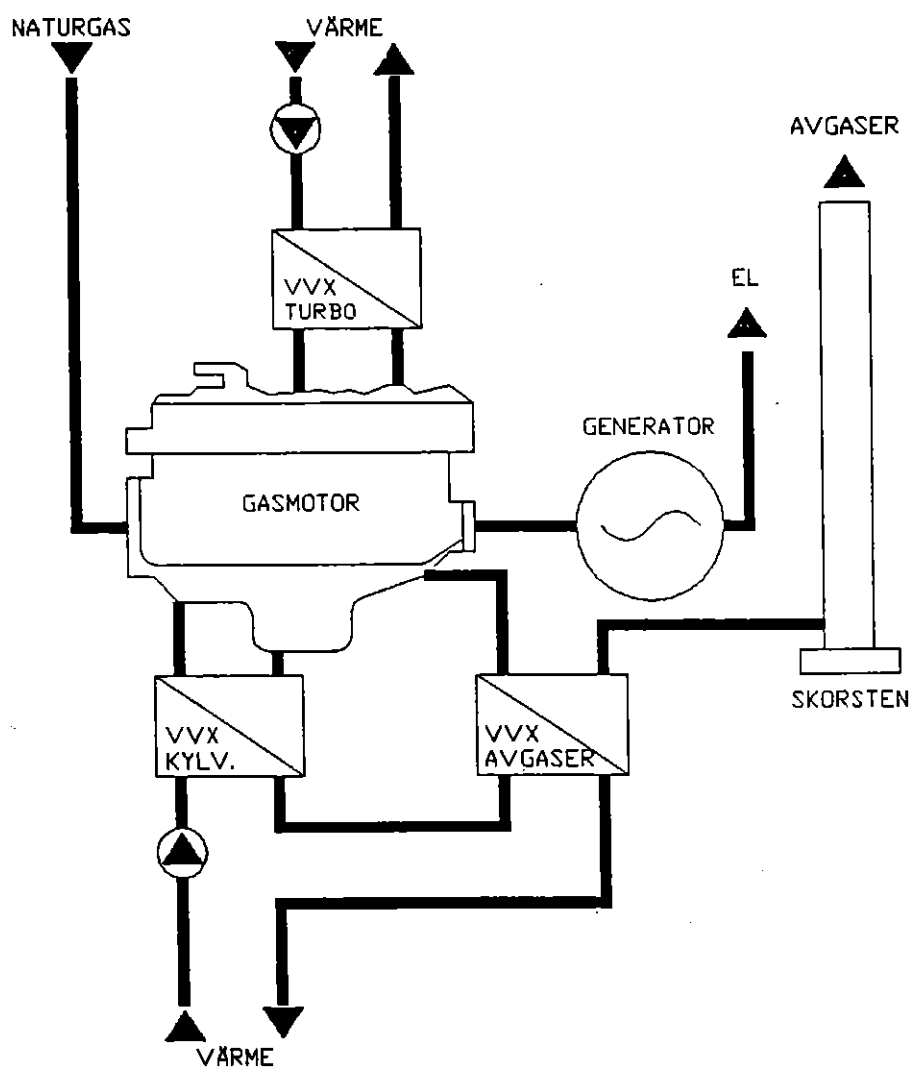


Rapport SGC 002  
**MIKROKRAFTVÄRMEVERK  
FÖR VÄXTHUS**  
Utvärdering

Roy Ericsson  
Kjessler & Mannerstråle AB

April 1991

# MIKROKRAFTVÄRMEVERK FÖR VÄXTHUS, UTVÄRDERING



Littera: 421882

1991-03-08

KJESSLER & MANNERSTRÅLE AB

Roy Ericsson

**KM** KJESSLER & MANNERSTRÅLE AB  
INGENJÖRER ARKITEKTER EKONOMER

Sammanfattning.....1

Bakgrund och målsättning.....1

#### FÖRUTSÄTTNINGAR

Handelsträdgården.....2

Mikrokraftvärmeverket.....2

Driftförhållanden.....4

Mätningar.....4

#### UPPMÄTTA PRESTANDA

Tillgänglighet.....5

Effekt.....5

Energi.....9

Verkningsgrad.....9

#### AVGASANALYS

Inledning.....10

Instrumentering.....10

Uppmätta och beräknade värden.....12

#### SLUTSATSER OCH KOMMENTARER

Tillgänglighet och prestanda.....13

Avgaser och emissioner.....13

#### BILAGOR

Tillgänglighetsmätningar.....Bilaga 1

Verkningsgrad under olika tider på dygnet.....Bilaga 2

Medelverkningsgrader under mätperioderna.....Bilaga 3

Mikrokraftvärmeverk för växthus, avgasanalys.....Bilaga 4



## **Förord**

Detta projekt initierades hösten 1989 av GasCentrum, en samarbetsorganisation bestående av Sydkraft, Sydgas, Malmö Energi, Energiverken i Lund och Helsingborg samt Drifttekniska Institutionen vid LTH och Energigasinstitutet vid LTH. Projektet har finansierats av Sydkraft, Sydgas och Malmö Energi samt energiverken i Lund och Helsingborg.

GasCentrum upphörde våren 1990 varvid projektet överfördes till det då nybildade Svenskt Gastekniskt Center AB vars delägare utgörs av Svenska Gasföreningen, SwedeGas, Sydgas, Vattenfall och Sydkraft samt Malmö Energi och Göteborg Energi.

### Sammanfattning.

I K-E Petterssons Handelsträdgård utanför Helsingborg har installerats ett Mikrokraftvärmeverk. Anläggningen består av en naturgasdriven gasmotor som via en generator producerar el för huvudsakligen internt bruk. Värmen i motorns rökgaser och kylvatten samt värmen från turboaggregatet tas till vara via värmeväxlare och används för uppvärmning av växthusen. Hela Mikrokraftvärmeverket är omgärdat av en ljuddämpande inneslutning.

Anläggningen som är på ca 300 kW el och ca 500 kW värme, är dimensionerad för att täcka ungefär halva elbehovet och ca 20 % av värmebehovet.

Mätningarna som utfördes av Helsingborgs Energiverk och Drifttekniska Institutionen vid Lunds Universitet, genomfördes från den 26/1 - 31/3 1990. Följande resultat erhöles i grov sammanfattning:

	Uppmätta/beräknade prestanda	Leverantörens prestandauppg.
- Eleffekt	272-290 kW	300 kW
- Värmeeffekt	393-426 kW	514 kW
- Verkningsgrad	89 %	min 85 %
- Tillgänglighet	97 %	-
- NOx vid 100 % last	ca 400 mg/MJ	-
- NOx vid 50% last	ca 150 mg/MJ	-

### Bakgrund och målsättning.

Det börjar bli dyrt med el, tycker många trädgårdsmästare som använder mycket el för belysning mm i växthusen. Därför satsar allt fler på egen elproduktion i Mikrokraftvärmeverk.

Syftet med projektet är att få fram underlag som kan ligga till grund för trädgårdsmästares val av framtida energianläggningar. Projektet omfattar mätningar och utvärdering av driftsäkerhet, effekt- och energiproduktion, verkningsgrad och emissioner.

Projektet har initierats av Gascentrum som även svarat för projektets finansiering. Då Gascentrum upphörde våren 1990 överfördes projektet till Svenskt Gastekniskt Center AB.

F Ö R U T S Ä T T N I N G A R .Handelsträdgården.

AB K-E Petterssons handelsträdgård är belägen i Görarp, strax öster om Helsingborg. Handelsträdgården består av ca 17.000 m<sup>2</sup> växthus samt en mindre del kontor och biutrymmen.

Tidigare täcktes anläggningens hela värmebehov med hjälp av värmepannor av olika slag, huvudsakligen med naturgas som bränsle. Den elenergi som anläggningen förbrukade, köptes uteslutande från Helsingborgs Energiverk.

Totalt energibehov för handelsträdgården uppskattas till:

- Värme                           10.000 MWh/år (Efter pannor)
- El                                2.000 MWh/år

Mikrokraftvärmeverket.

Mikrokraftvärmeverket består av en naturgasdriven motor, till vilken kopplats en generator för elproduktion. Motorns avgivna värme tas till vara för uppvärmning av växthusen. Hela anläggningen är omgärdad av en ljuddämpande inneslutning.

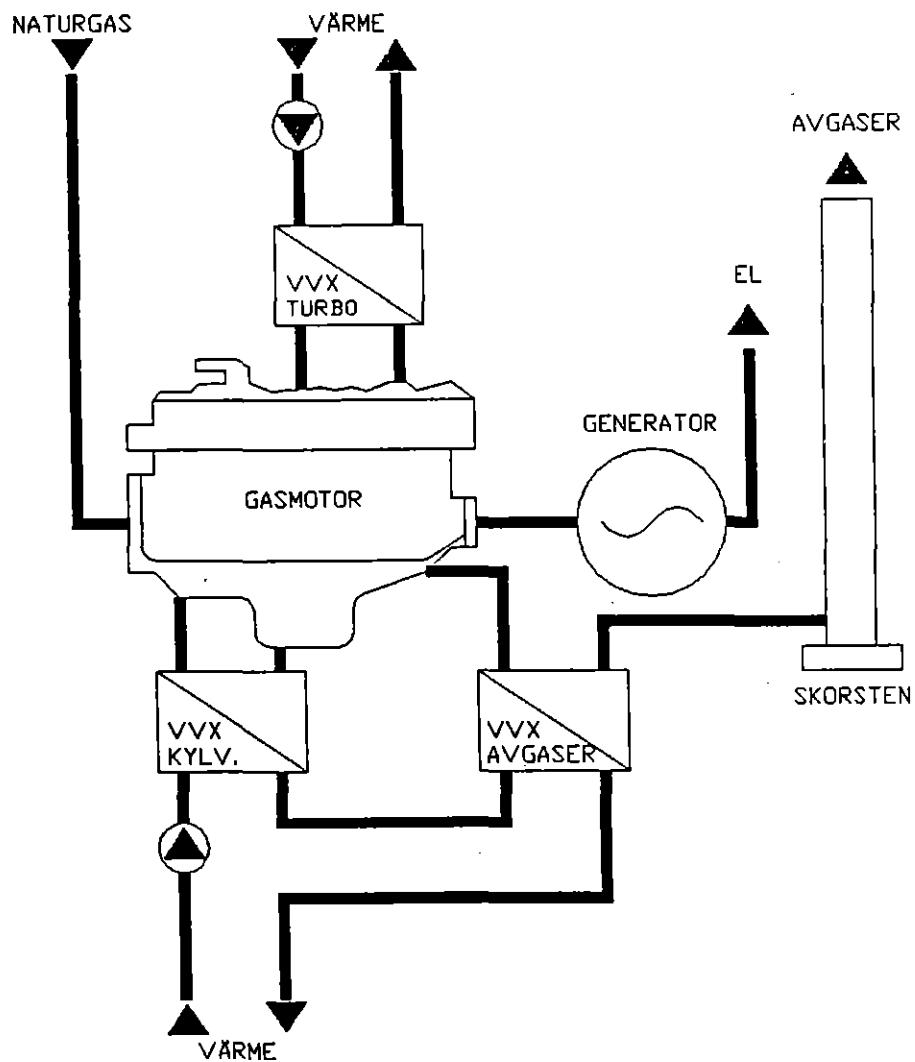
Anläggningens huvudsakliga beståndsdelar och prestanda enligt leverantörens uppgifter:

- \* en naturgasdriven 12-cylindrig turboladdad motor med en total cylindervolym på ca 22 liter, av fabrikat M.A.N typ E 2842 LE. Axeleffekt 320 kW
- \* till gasmotorn anslutna komponenter för el- och värmeproduktion:
  - generator för elproduktion, ansluten till motorns drivaxel. Avgiven effekt max 300 kW
  - värmväxlare för värmeproduktion, ansluten till kylvattensystemet. Avgiven effekt 248 kW (vid sek. flöde 43 m<sup>3</sup>/h och tempdiff. 5°C.)
  - rökgaskylare för värmeproduktion, ansluten till avgassystemet. Avgiven effekt 207 kW (vid sek.flöde 43 m<sup>3</sup>/h och tempdiff. 4°C.)
  - värmväxlare för värmeproduktion, ansluten till turboaggregatet. Avgiven effekt 59 kW (vid sek.flöde 15 m<sup>3</sup>/h och tempdiff. 3,3°C.)

Ovanstående uppgifter ger totalt levererad el- och värmeeffekt från Mikrokraftverket:

El	300 kW
Värme	514 kW
	-----
Summa	814 kW

Nedan visas en principiell uppbyggnad av anläggningen.



Principutformning av mikro kraftvärmeverket.



### Driftförhållanden.

Mikrokraftvärmeverket är huvudsakligen avsett för drift under den tid på året då elen är som dyrast d.v.s från den 1:a november t.o.m den 31:a mars.

Den el som produceras i anläggningen användes i första hand för att täcka det egna elbehovet, och eventuell överskottsel levereras till Helsingborgs Energiverk. Den värme som produceras användes för uppvärmning av växthusen.

Anläggningen är dimensionerad och konstruerad för att alltid gå på full effekt. För att anläggningen skall kunna gå på full effekt måste dock erforderlig kylning av motorn upprätthållas, d.v.s värmebehovet i växthusanläggningen måste vara minst 514 KW. Vintertid är dock värmebehovet normalt avsevärt större än så. Endast under några få timmar under mätperioden som sträckte sig från den 26/1 till 31/3, var värmebehovet lägre än 514 kW, då följdaktligen motorn stod stilla.

Anläggningen kräver regelbunden service i form av byten av oljor och filter, ungefär var 600:e drifttimma, d.v.s ungefär var 25:e dygn. En sådan service kräver normalt ca 4 timmars driftavbrott.

### Mätningar.

Mätningarna av anläggningens prestanda har huvudsakligen utförts av Helsingborgs Energiverk och tillgått på följande vis.

Värmemängdsmätare installerades på de utgående värmeledningarna från anläggningen, en från turbokylaren och en från motorns kylvatten och rökgaskylare.

En gasmätare av vinghjulstyp installerades på inkommande gasledning till motorn.

Befintlig elmätare användes för registrering av elgenerering.

Till ovanstående mätutrustningar kopplades mätvärdesinsamlare, sk "dataloggers". Dessa tömdes av Energiverket med jämna mellanrum (ca 1 gång/vecka) och resultaten sändes till AB Svenska Värmemätning i Stockholm för bearbetning. De resultat som sedan returnerades i form av datalistor och kurvor har utvärderats och sammanställts i denna rapport.

Mätnoggrannheten på ovanstående mätutrustningar ligger inom 1 % felmarginal.

Mätningar av avgautsläpp utfördes av Drifttekniska Institutionen vid Lunds Universitet. Tillvägagångssätt och resultat redovisas längre fram under rubriken Avgasanalys.

U P P M Ä T T A P R E S T A N D A .Tillgänglighet.

Med undantag av driftavbrotten i samband med installation och utbyte av mätutrustningar, har det varit få avbrott i anläggningen. Bortser vi från avbrotten på grund av mätarbeten, så har anläggningen under de dryga 1.300 timmarna som mätningarna pågått haft en tillgänglighet på 97 %.

Antalet mätningstimmar	1320 h
Avbrott pga service	- 11 h
Ej planerade avbrott	- 30 h
	-----
Summa Drifttimmar (exkl.mätarbete)	1279 h

Driftstatistik och tillgänglighetsberäkningar redovisas ytterligare i Bilaga 1.

Effekt.

De effektmätningar som gjordes under slutet av mars månad, tyder på att Mikrokraftvärmeverket ej riktigt når upp till de prestanda som utlovats.

Mätresultaten vid fullast visade:

	Uppmätt	Märkeffekt	uppm/märk %
	-----	-----	-----
Avgiven eleffekt kW	272-290	300	91- 97
Avgiven värme från motor kW	368-397	455	81- 87
Avgiven värme från turbo kW	25- 29	59	42- 49
	-----	-----	-----
Summa avgiven effekt kW	665-713	814	82- 88

Den låga effektavgivningen från motor och turbo är enligt mätningarna en följd av mindre temperaturdifferenser över och flöden genom värmväxlarna, än vad anläggningen är dimensionerad för.

Värmväxlare motor:

Temperaturdifferensen mellan inkommande och utgående värmvatten på sekundärsidan av motorn varierar mellan 7,5 och 8,1°C, jämfört med dimensionerat 9°C. Flödet låg stabilt på ca 42 m<sup>3</sup>/h (dimensionerat 43 m<sup>3</sup>/h).

Värmväxlare turbo:

Temperaturdifferensen mellan inkommande och utgående värmvatten på sekundärsidan av turbon varierar mellan 10 och 18°C, jämfört med dimensionerat 3,3°C. Flödet varierade mellan 1,4 och 3,2 m<sup>3</sup>/h, jämfört med dimensionerat 15 m<sup>3</sup>/h.

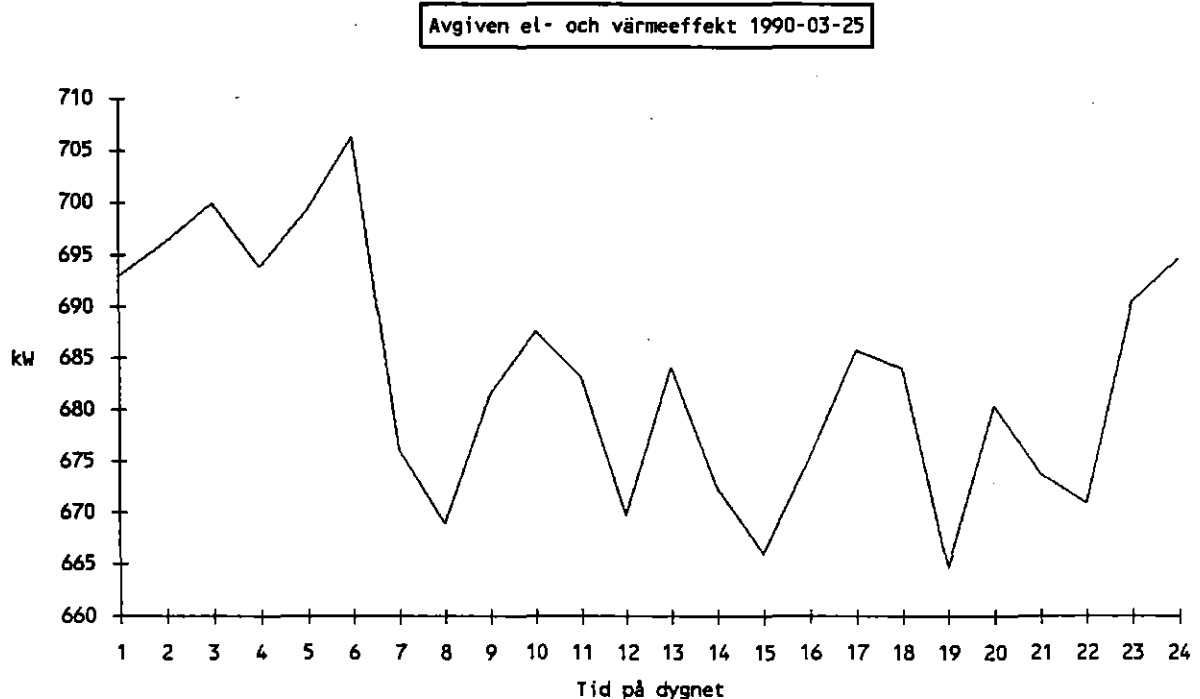
Mätresultaten påvisar att viss variation av avgiven effekt från motorn förekommer under dygnet. Nattetid är den totalt avgivna effekten högre än under dagtid, beroende av att temperaturen utomhus är lägre och att ingen solinstrålning förekommer. Detta innebär ett ökat värmebehov i växthusen vilket medför bättre utnyttjande av värmeväxlarna, som i sin tur medför bättre kylning av motor och turbo.

Slutsatsen av effektmätningarna är att högre värmebehov och därmed bättre kylning från växthusen, ger ökat effektuttag från Mikrokraftvärmeverket.

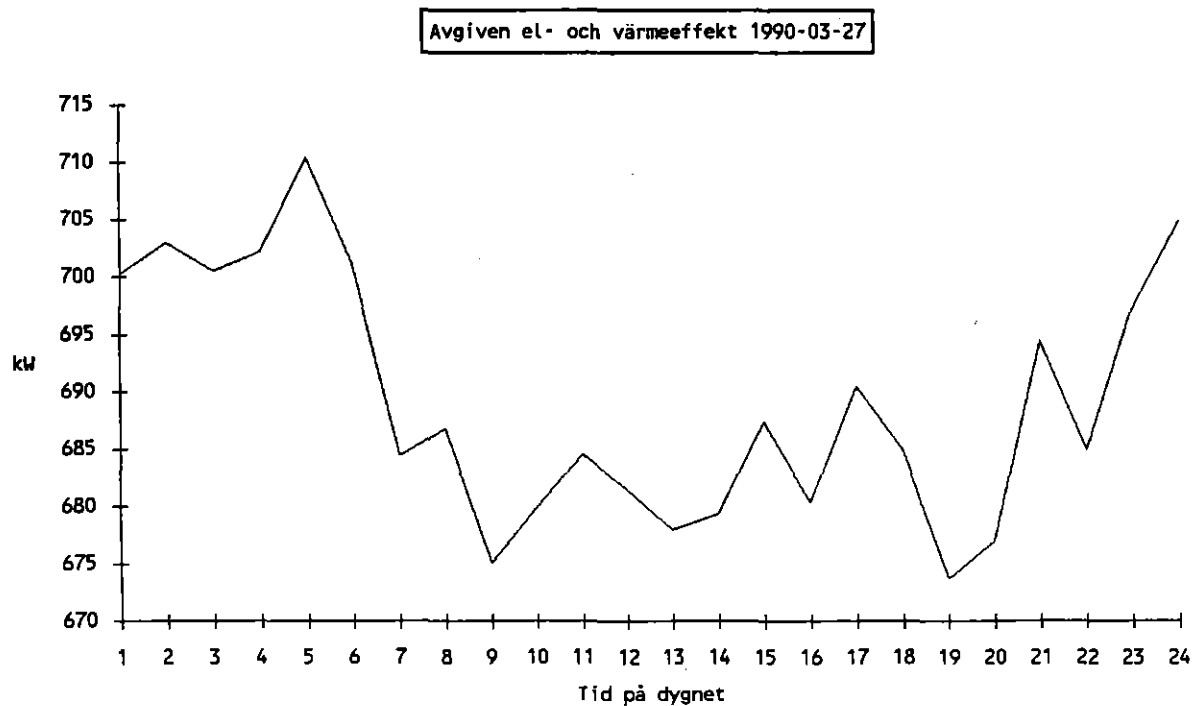
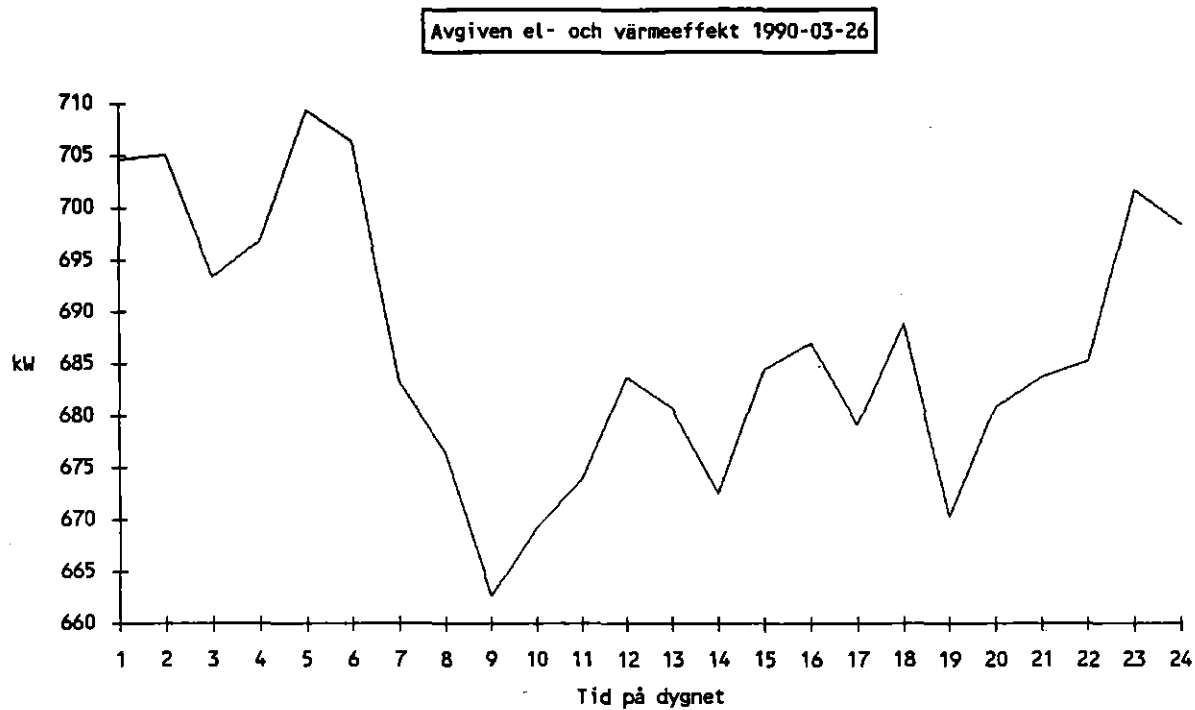
Detta innebär att effekten från Mikrokraftvärmeverket kan höjas ytterligare genom bättre anpassning av flöden och temperaturer över värmeväxlarna.

Nedan och på följande 2 sidor visas effektvariationerna under några utvalda dygn.

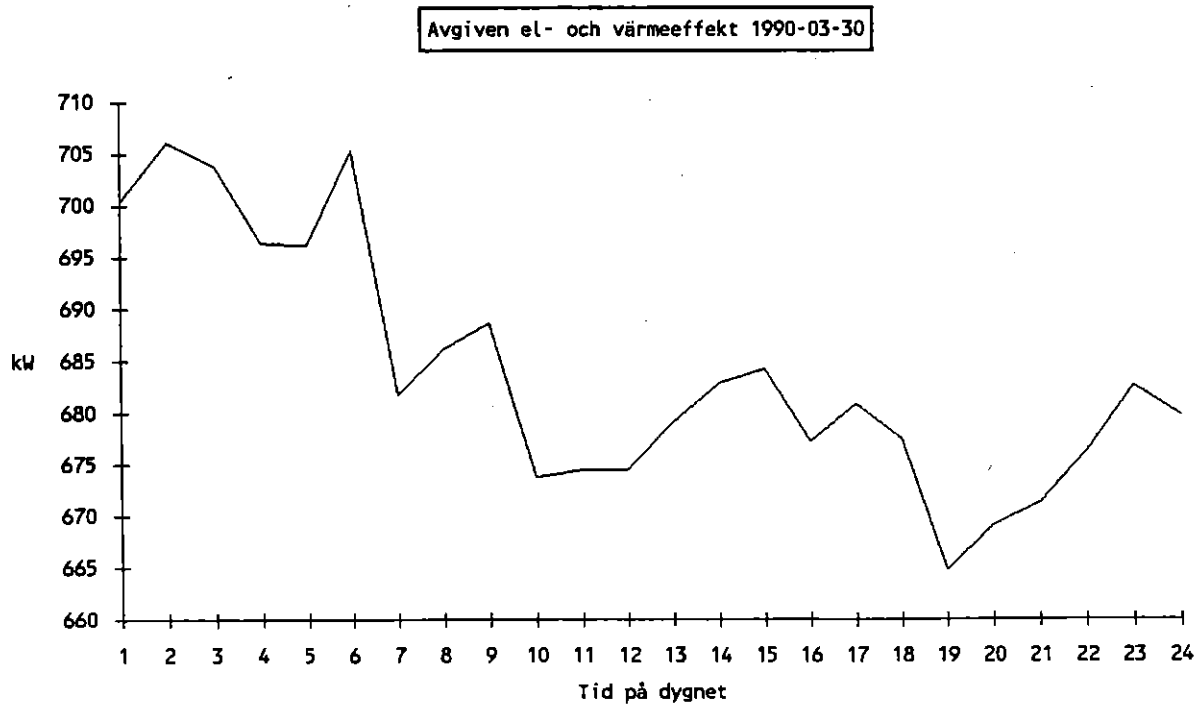
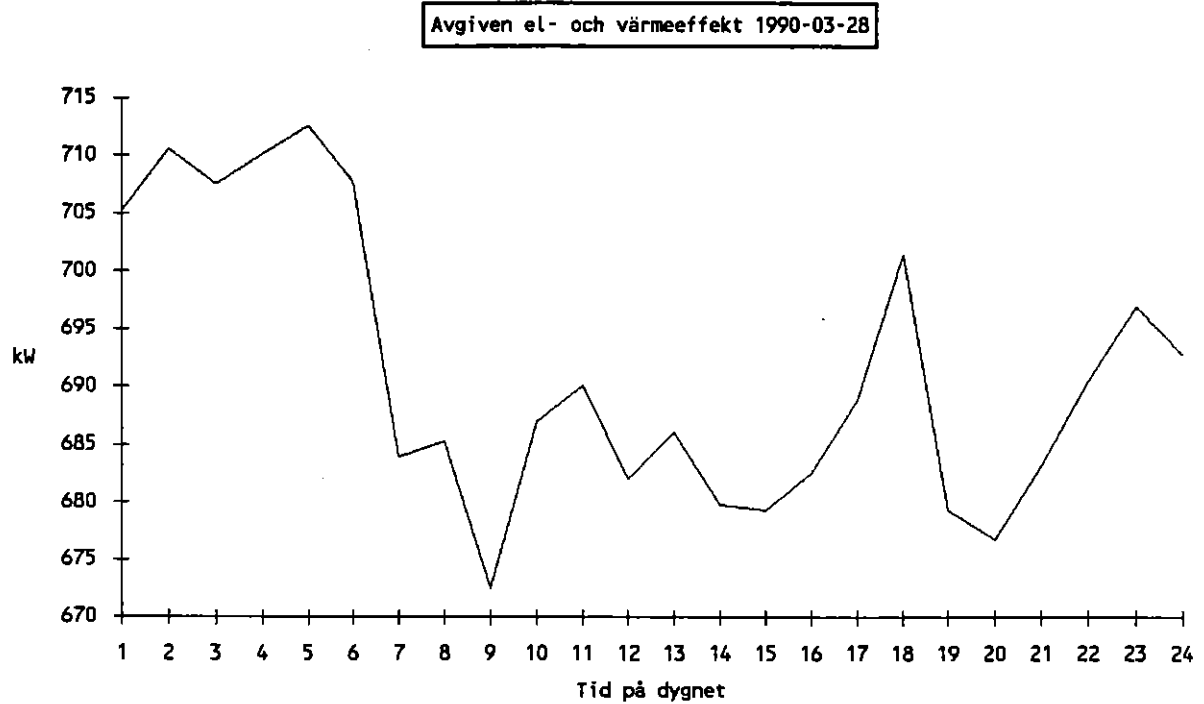
Effektmätningresultaten med uppdelning el/värme visas ytterligare i Bilaga 2.



## Effektvariationer under dygnet:



## Effektvariationer under dygnet:



Effektmätningresultaten med uppdelning el/värme visas ytterligare i Bilaga 2.

Energi.

Någon mätning av totalt levererad energi under en säsong har ej gjorts, dock kan man med tillgängliga mätningresultat göra följande antaganden för en säsong:

Från den 1/11 till den 31/3 är det normalt 3.624 timmar.

Utnyttjningstid 3.624 timmar \* 0,97 = 3515 timmar

	Medeleffekt kW*	Timmar	Energi MWh
El	277	3515	974
Värme fr.motor	376	"	1.322
Värme fr.turbo	27	"	95
			-----
Summa			2.391 MWh

Eftersom medeleffekten avser mars månad och sannolikt är något högre under januari och februari, kan man anta att ovanstående energimängder är något i underkant av vad anläggningen verkligen kan prestera.

Verkningsgrad.

Enligt uppgifter från leverantören av Mikrokraftvärmeverket, skall totalverkningsgraden för anläggningen under rådande driftförhållanden ej understiga 85 %.  
De mätningar som är gjorda, både under kortare och längre perioder, visar att anläggningen väl svarar upp mot ställda förväntningar.

Totalverkningsgraden varierar något vid kortare mätperioder (1 timma), beräkningsresultaten visar då 87 - 91 %.

Vid längre mätperioder (1 dygn), ligger den totala medelverkningsgraden på 89 %.

Verkningsgradsberäkningarna visas i Bilagorna 2 och 3.

\*Anm. medeleffekter enligt bilaga 2, sida 3.

## AVGASANALYS

### Inledning

Drifttekniska Institutionen vid Lunds Universitet, har genomfört emissionsmätningar inom ramen för föreliggande projekt.

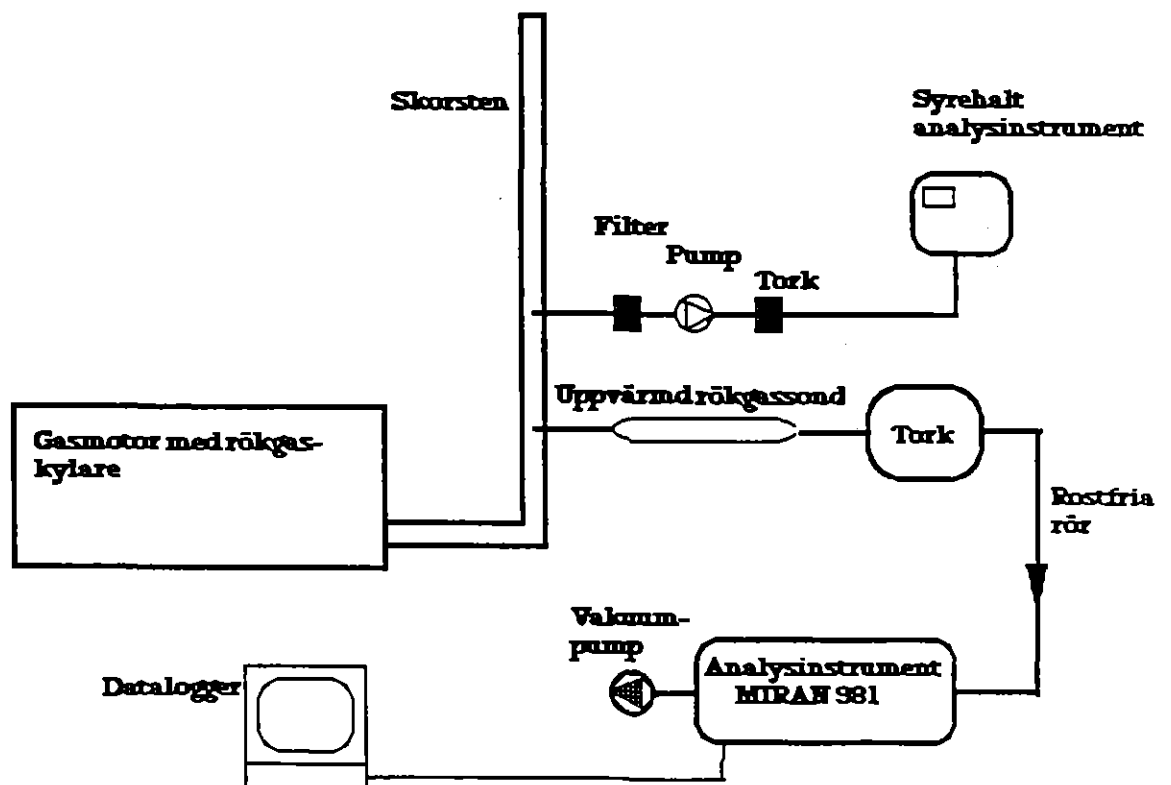
Eftersom någon dellastkörning av Mikrokraftvärmeverket ej var aktuell kunde mätningarna utföras under en begränsad period. Proverperioden begränsades därför till 3 dagar, från den 13:e till den 15:e februari 1990. Den regelbundna servicen av Mikrokraftvärmeverket planerades in under mätperiodens sista dag, för att se om denna hade någon inverkan på emissionerna.

### Instrumentering

Analysinstrumentet var en IR-spectrofotometer med gascell där strålgången är 20,5 meter. Analys kan ske av alla ämnen som går att analysera med IR-teknik.

Analyserade ämnen i detta fall var vatten, koldioxid, metan, kolmonoxid, kväveoxid och kvävedioxid.

Mätsystemets uppbyggnad framgår av figuren nedan.



Avgaserna sugas från skorstenen med en vakuumpump via uppvärmd ledning och tork till analysinstrumentet. För att undvika kondensation av vattenånga i avgaserna är ledningen mellan skorstenen och torken uppvärmd till ca 100°C. I torken bortförs vattnet i gasform så att avgaserna efter torken kan betraktas som "torra".

Mätcellen i analysinstrumentet spolvas under ca 3 minuter, varefter magnetventilen kastar om så att flödet går förbi mätcellen och tryckutjämning sker i mätcellen. Under ca 1 minut bestäms IR-absorbtionen i den gas som befinner sig i mätcellen.

Beräkning av koncentration görs med utgångspunkt från kalibreringsdata och hänsyn tagen till att en del ämnen interfererar med varandra.

Mätsystemets noggrannhet ligger inom 10 % felmarginal.

Syrehalten i de torra avgaserna uppmättes med ett separat system bestående av filter, pump, tork och analysinstrument.

Instrumentering och analysmetoder beskrivs ytterligare i bilaga 4.



Uppmätta och beräknade värden

1	2	3	4	5	6	7	8
	El- effekt  kW	(O <sub>2</sub> )t Syre- halt % / Luftf.	(CH <sub>4</sub> )t Metan- halt Uppm./ n=1,0 ppm	(CO)t Kolmon- oxid Uppm./ n=1,0 ppm	(NO)t Kväve- oxid Uppm./ n=1,0 ppm	NO <sub>2</sub> )t Kväve- dioxid Uppm./ n=1,0 ppm	NO <sub>x</sub> Kväve- dioxid som NO mg/MJ
-----							
Dag/ Mätperiod							
13/2 1230-1330	285	8,1 1,57	578 944	283 462	454 741	76 124	424
14/2 1017-1131	285	8,2 1,58	530 872	264 434	427 703	75 123	405
14/2 1149-1208	140	8,0 1,56	1380 2236	362 586	142 230	54 87	155
Regelbunden service av motorn utförd.							
15/2 1328-1418	275	8,2 1,58	612 1007	278 457	392 645	71 116	374
15/2 1433-1441	285	8,2 1,58	601 989	273 450	411 676	74 121	390
-----							

I tabellen ovan presenteras uppmätta och beräknade värden som medelvärden under angiven mätperiod (kolumn 1). Mätvärdena är också korrelerade till avgiven eleffekt (kolumn 2). Uppmätt syrehalt och beräknad luftfaktor redovisas i kolumn 3. I kolumn 4-7 redovisas de uppmätta och beräknade värdena vid luftfaktor n=1 vad avser kolväten som (metan), kolmonoxid, kväveoxid och kvävedioxid. Slutligen redovisas den beräknade emissionen som kvävedioxid i kolumn 8.

Tillvägagångssätt vid mätningar och beräkningar redovisas utförligare under bilaga 4.

## S L U T S A T S E R   O C H   K O M M E N T A R E R

Bortsett från de störningar i driften som inkopplingar av mätutrustningen medförde, var tillgängligheten för anläggningen ca 97 %. Av de 3 % som utgjorde avbrott under mätperioden var ca 1 % planerade avbrott för service mm, medan ca 2 % utgjordes av icke planerade avbrott.

De effektmätningar som gjordes visar dock att anläggningen inte riktigt når upp till förväntade prestanda, främst beroende på att erforderlig kylning av anläggningen under mätperioden ej uppnåtts. Sannolikt kan detta avhjälpas med bättre anpassning av flöden och temperaturdifferenser över värmeväxlarna. Vilket medför bättre kylning av motorn, som därmed kan arbeta hårdare utan att överhettas.

Mätningarna och beräkningarna visar att anläggningen har en verkningsgrad på ca 89 %, vilket väl svarar upp till leverantörens utlovade min 85 % under rådande förhållanden.

### **Avgaser och emissioner:**

Analys av anläggningens avgaser visar att NO<sub>x</sub>-halterna varierar från ca 150 mg/MJ vid 50 % effekt, till ca 400 mg/MJ vid full effekt.

För mindre anläggningar av aktuell typ har Naturvårdsverket idag inga fastställda krav på emissionsnivåer. Dock hänvisar man till de krav/rekomendationer som finns för likartade större anläggningar (ca 10MW), där gränsen idag är 120 mg/MJ.

Upplysningsvis kan sägas att de reningsutrustningar som idag finns för anläggningar av aktuell typ, i form av katalysatorer mm reducerar utsläppen med ca 80 %.

# MIKROKRAFTVÄRMEVERK FÖR VÄXTHUS

## DRIFTSTATISTIK

Datum	Drift		Avbrott		Känd orsak till avbrott
	Timmar	Timmar	Tid		
26-Jan	Mätning startad				
27-Jan	24				
28-Jan	24				
29-Jan	24				
30-Jan	24				
31-Jan	23	1	ca 08-09		Nej
1-Feb	24				
2-Feb	24				
3-Feb	24				
4-Feb	24				
5-Feb	24				
6-Feb	24				
7-Feb	24				
8-Feb	24				
9-Feb	24				
10-Feb	24				
11-Feb	24				
12-Feb	24				
13-Feb	24				
14-Feb	24				
15-Feb	21	3			Service
16-Feb	24				
17-Feb	24				
18-Feb	24				
19-Feb	22	2	ca 09-11		Nej
20-Feb	24				
21-Feb	22	2	ca 12-14		Sol
22-Feb	24				
23-Feb	22	2	ca 06-08		Nej
24-Feb	24				
25-Feb	24				
26-Feb	21	3	11-13 20-		Sol delvis
27-Feb	24				
28-Feb	24				
1-Mar	24				
2-Mar	24				
3-Mar	24				
4-Mar	24				
5-Mar	Uppehåll i mätningar				

## MIKROKRAFTVÄRMEVERK FÖR VÄXTHUS DRIFTSTATISTIK

Datum	Drift		Avbrott		Känd orsak till avbrott
	Timmar	Timmar	Timmar	Tid	
12-Mar	Mätningar startade igen				
13-Mar	24				
14-Mar	10		14		Nej
15-Mar	16		8		Service
16-Mar	24				
17-Mar	14		10		Byte av mätutrustningar
18-Mar	0		24		"
19-Mar	0		24		"
20-Mar	9		15		"
21-Mar	24				
22-Mar	21		3	ca 09-12	Nej
23-Mar	24				
24-Mar	24				
25-Mar	24				
26-Mar	24				
27-Mar	24				
28-Mar	24				
29-Mar	21		3	ca 15-18	Nej
30-Mar	24				
31-Mar	Mätningar avslutade				

### TILLGÄNGLIGHETSBERÄKNING

Resultat	Kommentar
Summa Drifttimmar 1206	
Avbrott pga mätarbyte mm, tim 73	Orsakade av denna analys
Avbrott pga service, tim. 11	
Avbrott ej planerade, tim. 30	
Summa Avbrottstimmar 114	
Summa mätningstimmar 1320	
Summa tillgänglighet exkl.mätarbyte % 97	

## TILLFÖRD OCH PRODUCERAD ENERGI SAMT VERKNINGSGRAD, TIMVÄRD

Mätperiod			Producerad fr. turbo kWh/h	Producerad fr. motor kWh/h	Producerad El kWh/h	Summa Energi kWh/h	Tillförd gasmängd Nm <sup>3</sup> /h	Tillförd Energi kWh/h	Verkn. grad %
Från Dag	Kl	Till Kl							
900325	00.44	01.44	28,1	381	283,85	692,95	72,5	783	88
	01.44	02.44	27,7	384	284,5	696,2	72,6	784,08	89
	02.44	03.44	28,4	386	285,6	700	72,6	784,08	89
	03.44	04.44	27,5	382	284,35	693,85	71,7	774,36	90
	04.44	05.44	28,1	387	284,1	699,2	72,7	785,16	89
	05.44	06.44	27,9	394	284,4	706,3	71,8	775,44	91
	06.44	07.44	27,2	369	279,95	676,15	71,7	774,36	87
	07.44	08.44	25,9	366	277	668,9	70,4	760,32	88
	08.44	09.44	27,4	372	282,1	681,5	70,2	758,16	90
	09.44	10.44	26,3	383	278,25	687,55	71,2	768,96	89
	10.44	11.44	25,8	380	277,3	683,1	69,4	749,52	91
	11.44	12.44	26,9	364	278,8	669,7	71,6	773,28	87
	12.44	13.44	27,4	374	282,7	684,1	71,2	768,96	89
	13.44	14.44	27	368	277,35	672,35	69,9	754,92	89
	14.44	15.44	26,3	366	273,7	666	69,8	753,84	88
	15.44	16.44	26,8	372	276,6	675,4	69,9	754,92	89
	16.44	17.44	27,4	379	279,4	685,8	70,8	764,64	90
	17.44	18.44	26,4	383	274,6	684	70,2	758,16	90
	18.44	19.44	25,6	367	272,05	664,65	69,3	748,44	89
	19.44	20.44	26,5	378	275,85	680,35	70,5	761,4	89
	20.44	21.44	26,2	375	272,55	673,75	70,7	763,56	88
	21.44	22.44	25,9	373	272	670,9	69,7	752,76	89
	22.44	23.44	27,6	383	279,9	690,5	71,8	775,44	89
	23.44	00.44	28,4	380	286,25	694,65	72,9	787,32	88
Vecka / dygn			27	377	279	683	71	767	89

Mätperiod			Producerad fr. turbo kWh/h	Producerad fr. motor kWh/h	Producerad El kWh/h	Summa Energi kWh/h	Tillförd gasmängd Nm <sup>3</sup> /h	Tillförd Energi kWh/h	Verkn. grad %
Från Dag	Kl	Till Kl							
900326	00.44	01.44	28,9	386	289,75	704,65	73	788,4	89
	01.44	02.44	28,9	387	289,25	705,15	74,1	800,28	88
	02.44	03.44	28,6	380	284,75	693,35	73,2	790,56	88
	03.44	04.44	28,2	383	285,65	696,85	73,2	790,56	88
	04.44	05.44	28,6	394	286,75	709,35	73,4	792,72	89
	05.44	06.44	28,2	393	285,2	706,4	73,6	794,88	89
	06.44	07.44	28,2	372	283,05	683,25	72,5	783	87
	07.44	08.44	26,8	371	278,7	676,5	71,2	768,96	88
	08.44	09.44	25,8	364	272,85	662,65	70,2	758,16	87
	09.44	10.44	25,9	368	275,4	669,3	71,1	767,88	87
	10.44	11.44	26,6	370	277,3	673,9	71	766,8	88
	11.44	12.44	27,6	374	282,15	683,75	71,9	776,52	88
	12.44	13.44	27,3	373	280,45	680,75	71,7	774,36	88
	13.44	14.44	26,9	368	277,65	672,55	71,5	772,2	87
	14.44	15.44	28	375	281,45	684,45	71,6	773,28	89
	15.44	16.44	27,5	377	282,45	686,95	72,8	786,24	87
	16.44	17.44	25,1	380	274	679,1	69,9	754,92	90
	17.44	18.44	26	385	277,8	688,8	71,4	771,12	89
	18.44	19.44	24,9	373	272,4	670,3	70,7	763,56	88
	19.44	20.44	25,7	381	274,2	680,9	70,9	765,72	89
	20.44	21.44	26	381	276,7	683,7	71	766,8	89
	21.44	22.44	26,3	381	277,9	685,2	71,1	767,88	89
	22.44	23.44	28	388	285,75	701,75	73,3	791,64	89
	23.44	00.44	27,3	388	283,15	698,45	72,4	781,92	89
Vecka / dygn			27	379	281	687	72	777	88

## BILAGA 2.

Mätperiod			Producerad fr.turbo kWh/h	Producerad fr.motor kWh/h	Producerad El kWh/h	Summa Energi kWh/h	Tillförd gasmängd Nm <sup>3</sup> /h	Tillförd Energi kWh/h	Verkn.grad %
Från Dag	Kl	Till Kl							
900327	00.44	01.44	27,3	388	284,95	700,25	73,5	793,8	88
	01.44	02.44	27,6	390	285,4	703	73,5	793,8	89
	02.44	03.44	27,3	388	285,15	700,45	72,5	783	89
	03.44	04.44	27,8	389	285,3	702,1	73,6	794,88	88
	04.44	05.44	27,5	397	285,95	710,45	73,6	794,88	89
	05.44	06.44	27,3	389	284,75	701,05	73,7	795,96	88
	06.44	07.44	27,5	373	283,9	684,4	72,4	781,92	88
	07.44	08.44	27,3	377	282,5	686,8	72	777,6	88
	08.44	09.44	26,5	372	276,6	675,1	71,7	774,36	87
	09.44	10.44	26,6	375	278,35	679,95	70,3	759,24	90
	10.44	11.44	26,8	376	281,7	684,5	72,1	778,68	88
	11.44	12.44	26,1	377	278,35	681,45	71,9	776,52	88
	12.44	13.44	25,9	375	277,1	678	70,9	765,72	89
	13.44	14.44	25,9	376	277,45	679,35	70,9	765,72	89
	14.44	15.44	27	380	280,35	687,35	72	777,6	88
	15.44	16.44	26	375	279,4	680,4	72,6	784,08	87
	16.44	17.44	26,6	382	281,9	690,5	71,8	775,44	89
	17.44	18.44	24,9	388	271,9	684,8	70,1	757,08	90
	18.44	19.44	25,1	376	272,65	673,75	70,3	759,24	89
	19.44	20.44	24,8	380	272,15	676,95	70,4	760,32	89
	20.44	21.44	26,4	388	280	694,4	71,6	773,28	90
	21.44	22.44	26	380	278,85	684,85	71,6	773,28	89
	22.44	23.44	26,9	389	281,5	697,4	72,6	784,08	89
	23.44	00.44	27,6	393	284,25	704,85	73,7	795,96	89
Medel / dygn			27	382	280	689	72	778	89

Mätperiod			Producerad fr.turbo kWh/h	Producerad fr.motor kWh/h	Producerad El kWh/h	Summa Energi kWh/h	Tillförd gasmängd Nm <sup>3</sup> /h	Tillförd Energi kWh/h	Verkn.grad %
Från Dag	Kl	Till Kl							
900328	00.44	01.44	27,6	391	286,55	705,15	73,7	795,96	89
	01.44	02.44	28,5	395	287,05	710,55	73,7	795,96	89
	02.44	03.44	28	393	286,55	707,55	73,7	795,96	89
	03.44	04.44	28,3	395	286,8	710,1	73,6	794,88	89
	04.44	05.44	28,6	397	287,05	712,65	73,7	795,96	90
	05.44	06.44	28,3	394	285,5	707,8	73,7	795,96	89
	06.44	07.44	27,7	373	283,2	683,9	72,5	783	87
	07.44	08.44	27,5	376	281,8	685,3	72,2	779,76	88
	08.44	09.44	25,7	371	275,8	672,5	71,8	775,44	87
	09.44	10.44	27,1	378	281,9	687	71,5	772,2	89
	10.44	11.44	28	379	283,1	690,1	73,3	791,64	87
	11.44	12.44	27,3	375	279,7	682	71	766,8	89
	12.44	13.44	28,4	375	282,7	686,1	73	788,4	87
	13.44	14.44	27,2	375	277,55	679,75	70,9	765,72	89
	14.44	15.44	27	373	279,35	679,35	71,9	776,52	87
	15.44	16.44	26,5	375	281,15	682,65	72	777,6	88
	16.44	17.44	26,7	380	282,2	688,9	71,1	767,88	90
	17.44	18.44	26	395	280,45	701,45	72,6	784,08	89
	18.44	19.44	25,2	379	275,15	679,35	71,1	767,88	88
	19.44	20.44	25,1	379	272,7	676,8	70,1	757,08	89
	20.44	21.44	25,5	382	275,75	683,25	71,3	770,04	89
	21.44	22.44	26,2	384	280,35	690,55	71,4	771,12	90
	22.44	23.44	26,6	388	282,35	696,95	73,5	793,8	88
	23.44	00.44	26,8	385	280,9	692,7	72,5	783	88
Medel / dygn			27	383	281	691	72	781	89

## BILAGA 2.

Mätperiod			Producerad fr. turbo kWh/h	Producerad fr. motor kWh/h	Producerad El kWh/h	Summa Energi kWh/h	Tillförd gasmängd Nm <sup>3</sup> /h	Tillförd Energi kWh/h	Verkn. grad %
Från Dag	Kl	Till Kl							
900329	00.44	01.44	27	388	281,65	696,65	72,5	783	89
	01.44	02.44	26,8	391	282,2	700	72,5	783	89
	02.44	03.44	27,1	384	283,05	694,15	72,5	783	89
	03.44	04.44	27,4	392	285,2	704,6	73,6	794,88	89
	04.44	05.44	27,1	391	287,15	705,25	73,6	794,88	89
	05.44	06.44	27,2	396	282,9	706,1	73,6	794,88	89
	06.44	07.44	27,1	377	283,4	687,5	72,5	783	88
	07.44	08.44	26,4	378	279,8	684,2	72,2	779,76	88
	08.44	09.44	26,7	376	280,25	682,95	71,6	773,28	88
	09.44	10.44	26,6	379	279	684,6	71,2	768,96	89
	10.44	11.44	26,3	377	279,25	682,55	72,1	778,68	88
	11.44	12.44	27,1	383	281,45	691,55	71,9	776,52	89
	12.44	13.44	27,3	378	279,4	684,7	71,8	775,44	88
	13.44	14.44	27,3	380	279,45	686,75	71,8	775,44	89
	14.44	15.44	4,2	62	37,75	103,95	10,3	111,24	93
	15.44	16.44	0	0	0	0	0	0	-
	16.44	17.44	0	0	0	0	0	0	-
	17.44	18.44	10,7	148	119,65	278,35	31	334,8	83
	18.44	19.44	26,1	370	274,65	670,75	71,7	774,36	87
	19.44	20.44	25,2	378	272,25	675,45	69,7	752,76	90
	20.44	21.44	24,7	376	270,55	671,25	69,8	753,84	89
	21.44	22.44	24,8	379	271,8	675,6	70,9	765,72	88
	22.44	23.44	25,5	378	276	679,5	71	766,8	89
	23.44	00.44	26,4	382	283,35	691,75	72,1	778,68	89
Medel / dygn			25	357	261	643	67	726	89

Mätperiod			Producerad fr. turbo kWh/h	Producerad fr. motor kWh/h	Producerad El kWh/h	Summa Energi kWh/h	Tillförd gasmängd Nm <sup>3</sup> /h	Tillförd Energi kWh/h	Verkn. grad %
Från Dag	Kl	Till Kl							
900330	00.44	01.44	27,9	385	287,5	700,4	74,1	800,28	88
	01.44	02.44	27,8	390	288,3	706,1	73	788,4	90
	02.44	03.44	27,6	389	287,3	703,9	73,1	789,48	89
	03.44	04.44	27,3	386	283,1	696,4	73,1	789,48	88
	04.44	05.44	27,4	385	283,85	696,25	73,1	789,48	88
	05.44	06.44	27,5	395	282,9	705,4	73,1	789,48	89
	06.44	07.44	27,1	374	280,7	681,8	72	777,6	88
	07.44	08.44	26,9	379	280,25	686,15	71,9	776,52	88
	08.44	09.44	26,8	381	280,85	688,65	71,8	775,44	89
	09.44	10.44	26	373	274,75	673,75	70,5	761,4	88
	10.44	11.44	26	374	274,55	674,55	70,4	760,32	89
	11.44	12.44	26,1	374	274,4	674,5	71,2	768,96	88
	12.44	13.44	26,6	377	275,55	679,15	70,9	765,72	89
	13.44	14.44	27,2	378	277,7	682,9	70,8	764,64	89
	14.44	15.44	26,5	381	276,7	684,2	70,8	764,64	89
	15.44	16.44	27	374	276,2	677,2	70,9	765,72	88
	16.44	17.44	26,5	379	275,35	680,85	71	766,8	89
	17.44	18.44	26,2	378	273,3	677,5	71	766,8	88
	18.44	19.44	25,6	371	268,1	664,7	69,3	748,44	89
	19.44	20.44	25,8	375	268,35	669,15	70,5	761,4	88
	20.44	21.44	25,4	375	270,9	671,3	69,6	751,68	89
	21.44	22.44	25,5	378	272,8	676,3	70,8	764,64	88
	22.44	23.44	26,2	380	276,45	682,65	70,9	765,72	89
	23.44	00.44	26,3	379	274,45	679,75	72	777,6	87
Medel / dygn			27	380	278	684	71	772	89

Medel. totalt	27	376	277	679	71	767	89
---------------	----	-----	-----	-----	----	-----	----

## MEDELVERKNINGSGRADER UNDER MÄTPERIODERNA

Mätperiod				Avg. värme motor MWh	Avg. värme turbo MWh	Prod. El MWh	Summa Energi MWh	Förbr.gasm. Nm3	Förbr. Energi MWh	För period Verkn.grad %
Från Dag	Kl	Till Dag	Kl							
900319	10.49	900323	10.49	24,30	1,74	17,82	43,86	4.580	49,46	88,67
900323	14.44	900331	08.44	69,31	4,91	50,98	125,20	13.070	141,16	88,70





LUNDS UNIVERSITET  
LTH/Malmö  
Driftekniska institutionen

**Projekt**

**MIKROKRAFTVÄRMEVERK  
FÖR VÄXTHUS,  
UTVÄRDERING**

**AVGASANALYS**

**1990-11-02  
Sören Dahlin  
Ulf Norling  
Torbjörn Karlsson**

## Mikrokraftvärmeverk för växthus, utvärdering.

Drifttekniska institutionen har på uppdrag av Roy Ericsson, Kjessler & Mannerstråle i Helsingborg, genomfört emissionsmätningar inom ramen för rubricerat projekt.

Mätningarna genomfördes på den naturgasdrivna motorn, av fabrikat MAN mod 2842 LE, under perioden 13 - 15 februari 1990.

I uppdraget ingick mätningar med avseende på kolväten, kolmonoxid, kväveoxid och kvävedioxid i avgaserna. Syrehalten uppmättes för att kunna beräkna luftfaktor och emission.

Driftstrategin för gasmotorn är att den skall ge maximal eleffekt under drift.

Efter inledande prover den 13/2 gjordes bedömningen att provperioden kunde begränsas till tre dagar eftersom dellastkörning ej är aktuellt och mätvärdena visade på god stabilitet.

För att få en uppfattning om hur de uppmätta värdena beror av gasmotorns belastning genomfördes ett prov vid dellast ( $P_{el} = 140$  kW).

Proverna planerades så att en mätserie togs efter den service som genomfördes på motorn den 15/2.

**Instrumentering.**

Analysinstrumentet är en IR-spektrofotometer med gascell där strålgången är 20,5 meter. Analys kan ske med avseende på alla ämnen som går att detektera med IR-teknik. Väte ( $H_2$ ), kväve ( $N_2$ ) och syre ( $O_2$ ) kan tex inte analyseras med denna teknik.

Analyserade ämnen och analysväglängd anges i nedanstående tabell.

Ämne	Våglängd $\mu m$	
Vatten, $H_2O$	2,603	För interferensberäkning
Koldioxid, $CO_2$	2,732	
Metan, $CH_4$	3,318	$\Sigma$ kolväten, alla kolväten absorberar vid denna våglängd
Kolmonoxid, $CO$	4,600	
Kväveoxid, $NO$	5,260	
Kvävedioxid, $NO_2$	6,205	

Mätsystemets uppbyggnad framgår av figur 1.

Avgaser sugts från skorstenen med en vakuumpump via uppvärmd ledning och tork till analysinstrumentet.

För att undvika kondensation av vattenångan i avgaserna är ledningen mellan skorstenen och torken uppvärmd till ca 100 °C. I torken bortförs vattnet i gasform så att avgaserna efter torken innehåller ca 0,1 vol-% vattenånga vilket motsvarar en vattendaggpunkt av ca -20 °C. Denna låga vattenångkoncentration gör att avgaserna kan betraktas som "torra".

Mätcellen i analysinstrumentet spolras under ca 3 minuter, med ett flöde av ca 800 liter/timme, varefter magnetventiler kastar om så att flödet går förbi mätcellen och tryckutjämning sker i mätcellen.

Under ca 1 minut bestäms IR-absorbtionen, vid ovan angivna våglängder, i den gas som befinner sig i mätcellen.

Absorbansdata och beräknade koncentrationer visas på bildskärm och samlas på diskett.

Totala cykeltiden är ca 4 minuter.

Beräkning av koncentrationen görs med utgångspunkt från kalibreringsdata och hänsyn tages till att en del ämnen interfererar med varandra.

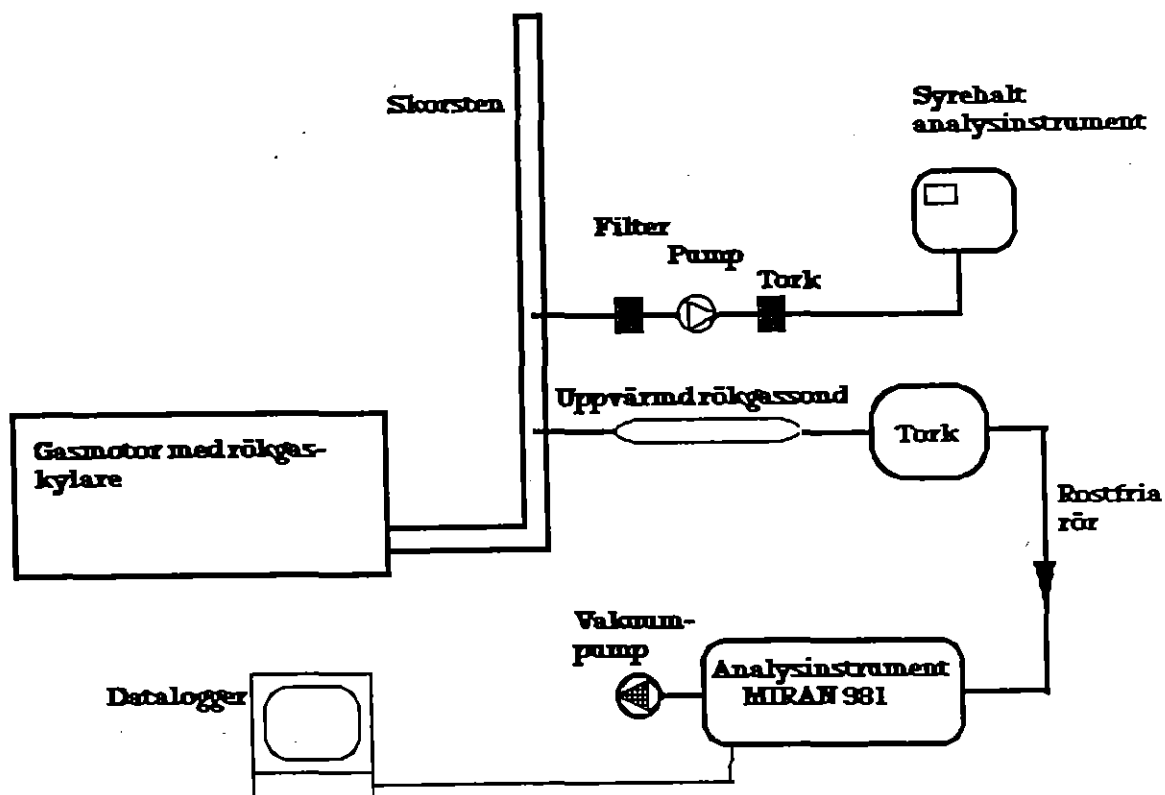
Mätsystemets totala onoggränhet är  $\pm 10\%$ .

Kalibrerings och referensgaser är inköpta hos ALFAX.

Syrehalten i torra avgaser uppmättes med ett separat system bestående av filter, pump, tork och analysinstrument.

**Utrustning:**

- Rökgassond, WA-203/04, längd 2,3 m, termostatreglerad max temp 200 °C.
- Gasbehandlingssteg, fabrikat PERMA-PURE, chassi modell KSS-2113E, tork modell PD-1000-24SS
- IR-spektrofotometer MIRAN 981, fabrikat FOXBORO
- Syrehaltanalysinstrument, SERVOMEX, med paramagnetisk mätcell



Figur 1. Principiell uppbyggnad av mätsystemet.

**Beräkningar.**

Vid omräkningar från uppmätt koncentration i torra rökgaser (ppm) till emission (mg/MJ) har följande bränsledata använts (volymangivelser avser normal-tillstånd, 0 °C och 1013 mbar):

Gasens effektiva värmevärde,  $H_1 = 39,00 \text{ MJ/m}^3$

Teoretiskt luftbehov (torr luft),  $l_{ot} = 10,37 \text{ m}^3 \text{ tL/m}^3 \text{ B}$

Teoretiskt rökgasvolym (torra rökgaser),  $g_{ot} = 9,33 \text{ m}^3 \text{ tA/m}^3 \text{ B}$

Beräkning av luftfaktor (luftöverskott).

$$n = 1 + \frac{g_{ot}}{l_{ot}} * \frac{(O_2)_t}{[20,9 - (O_2)_t]}$$

Beteckningar enligt nedan.

Omräkning från uppmätt koncentration i torra rökgaser med aktuellt luftöverskott till koncentration vid stökiometrisk förbränning, luftfaktor  $n = 1,0$  (index 1).

$$(K_1)_t = \frac{20,9}{[20,9 - (O_2)_t]} * (K)_t \quad \text{ppm}$$

Beteckningar enligt nedan.

Omräkning från uppmätt koncentration i torra rökgaser med aktuellt luftöverskott till emission.

$$E = \rho * \frac{g_{ot}}{H_1} * \frac{20,9}{[20,9 - (O_2)_t]} * (K)_t \quad \text{mg/MJ}$$

$n$ =luftfaktor

$(O_2)_t$ = syrehalt i torra rökgaser, %

$(K)_t$ = koncentration av aktuellt ämne i torra rökgaser vid rådande luftöverskott, ppm

$(K_1)_t$ = koncentration av aktuellt ämne i torra rökgaser vid luftfaktor  $n=1,0$ , ppm

$E$  = emission, mg/MJ

$\rho$  = densitet,  $\text{kg/m}^3$  (kvävedioxid,  $\rho = 2,05 \text{ kg/m}^3$ )

$(K)_t, \text{NO}_x = (K)_t, \text{NO} + (K)_t, \text{NO}_2$  ppm, vid beräkning av  $\text{NO}_x$ -emission

**Uppmätta och beräknade värden.**

I tabellen nedan presenteras uppmätta och beräknade värden som medelvärden under angiven mätperiod (kolumn 1). Mätvärdena är också korrelerade till avgiven eleffekt, avläst på instrumentet i motorrummet (kolumn 2). Uppmätt syrehalt  $\{(O_2)_t\}$  och beräknad luftfaktor redovisas i kolumn 3. I kolumn 4-7 redovisas de uppmätta och beräknade värdena (vid  $n=1$ ) vad avser kolväten (som metan), kolmonoxid, kväveoxid och kvävedioxid. Slutligen redovisas den beräknade emissionen (som kvävedioxid) i kolumn 8.

1	2	3	4	5	6	7	8
Dag	Eleffekt	$(O_2)_t$	$(CH_4)_t$	$(CO)_t$	$(NO)_t$	$(NO_2)_t$	$NO_x$
Mät- period	kW	%/ Luftfaktor	Uppmätt/ $n=1,0$ ppm	Uppmätt/ $n=1,0$ ppm	Uppmätt/ $n=1,0$ ppm	Uppmätt/ $n=1,0$ ppm	som $NO_2$ mg/MJ
13/2	285	8,1	578	283	454	76	
1230- 1330		1,57	944	462	741	124	424
14/2	285	8,2	530	264	427	75	
1017- 1131		1,58	872	434	703	123	405
14/2	140	8,0	1380	362	142	54	
1149- 1208		1,56	2236	586	230	87	155
15/2	275	8,2	612	278	392	71	
1328- 1418		1,58	1007	457	645	116	374
15/2	285	8,2	601	273	411	74	
1433- 1441		1,58	989	450	676	121	390



**Svenskt Gastekniskt Center AB**

---

**Box 50525, 202 50 MALMÖ**

**Telefon: 040-700 40**

**Telefax: 040-30 50 82**