

---

Arbetsrapport SGC A02

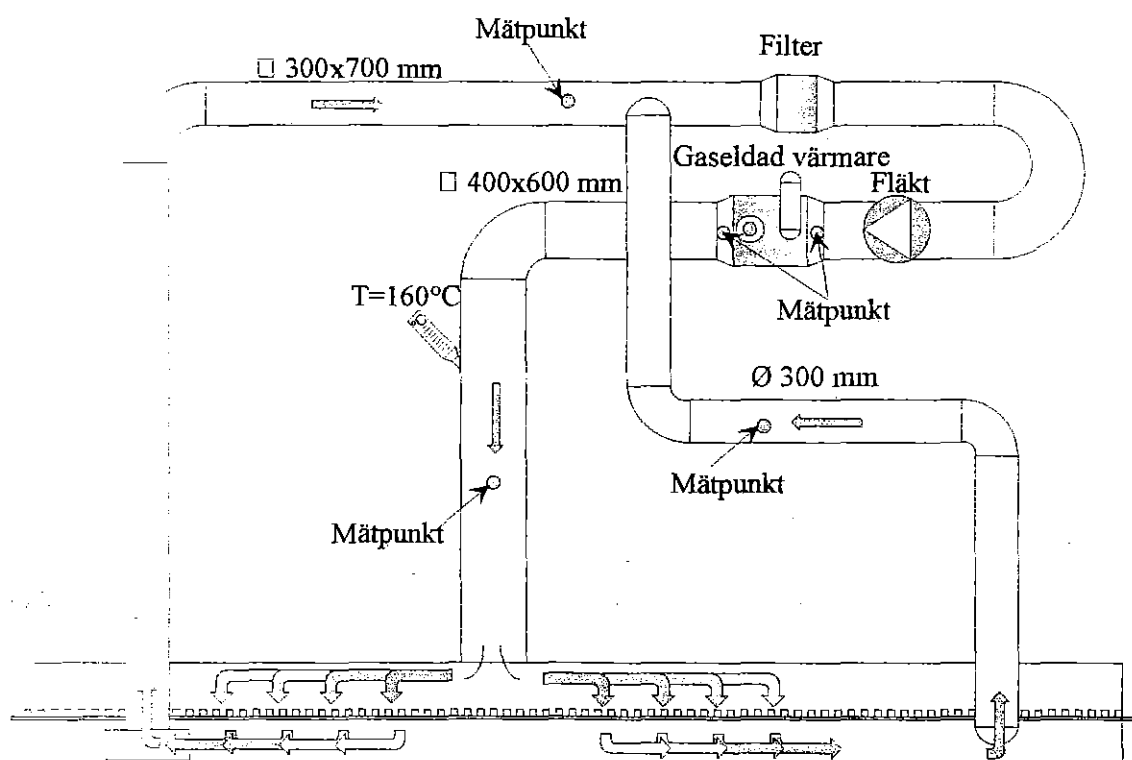
UPPFÖLJNING AV GASELDADE LUFTVÄRMARE  
VID ARLÖVS SOCKERRAFFINADERI

Rolf Christensen  
Enerkon RC

Juli 1995



# Uppföljning av gaseldade luftvärmare vid Arlövs Sockerraffeneri



**Enerkon RC**  
Energikonsult Rolf Christensen

**ENERKON RC**

**INNEHÅLLSFÖRTECKNING**

1	BAKGRUND.....	3
2	MÄTNINGAR .....	4
	2.1 Torklinje 5 - Eclipse RHT-100 .....	6
	2.2 Torklinje 6 - CGAH-Bronswerk Heat Transfer BV .....	7
	2.3 Energibesparingar .....	8
3	SLUTSATSER OCH ÖVRIGA KOMMENTARER.....	10
	3.1 Mätresultat .....	10
	3.2 Skador på CGAH samt åtgärder.....	10
	3.3 För- och nackdelar med respektive värmare.....	11
	3.4 Kostnader .....	11

**Bilagor**

Bilaga 1	FÖRBRÄNNINGSBERÄKNING LINJE 5 ECLIPSE RHT-100
Bilaga 2	Förbränningsberäkning Linje 6 Bronswerk CGAH

**1 BAKGRUND**

SSA Arlov har idag sex parallella linjer för produktion av bitsocker. Varje linje innehåller en bandtork där sockerbitarna torkas i hetluft med en temperatur på cirka 160 °C. Processluften värmdes tidigare med ånga men har under 1993 bytts ut mot kompakta gaseldade luftvärmare, en för varje linje. Övergången till gasvärmning grundas på att man valt att endast producera lågtrycksånga inom bruket. Nuvarande ångdata är inte tillräckliga för att värma torkluften till erforderlig temperatur.

Som ersättning för ångvärmarna har en prototyp till en kompakt gaseldad luftvärmare provats under våren 1993. Luftvärmaren är utvecklad av GASTEC och beteckningen är CGAH ( Compact Gasfired Air Heater). Värmaren som eldas med en Eclipse höghastighetsbrännare HVTA- 84-14-A tillverkas av Bronswerk Heat Transfer BV i Holland.

Provresultaten resulterade i att man installerade en värmare på varje linje.

Under hösten 1993 havererade dock flera värmare vilket föranledde SSA att i en av torklinjerna (nr 5) prova en konventionell gaseldad värmare från Eclipse. Värmeväxlarenheten med beteckningen RHT-100 eldas med en brännare typ Ratiomatic RM50.

Målsättningen med uppföljningen var att jämföra GASTEC- och Eclipsevärmarna med varandra med avseende på verkningsgrad, tryckfall över värmebatteriet mm.

## 2 MÄTNINGAR

Värmarnas verkningsgrad har bestämts indirekt genom mätning av rökgasernas O<sub>2</sub>-halt, CO-halt och temperatur.

Vid utvärderingen av värmarna på torklinje 5 och 6 uppmättes torkluftsfloödet med pitotrör på såväl retur- som tilloppskanalerna. Motivet till detta var att de dynamiska trycken, dvs de uppmätta differensstrycken, i kanalerna beräknades bli mycket låga, några tiotals pascal, vilket påverkar mätnoggrannheten.

För att öka tillförlitligheten i mätningarna kontrollerades de erhållna flödena i returkanalerna med flödet i respektive tilloppskanal samt med värmebalanser över värmebatterierna.

Avsikten med att mäta i returkanalerna var även att få en indikation på om flödesfördelningen mellan returkanalerna var korrekt samt om några avvikelser förekom mellan linjerna.

Eftersom torkluftens innehåll av vattenånga har en stor betydelse för dess densitet uppmättes även torkluftens torra och våta temperatur så att dess fukthalt och sammansättning kunde bestämmas. Torkluftens sammansättning har sedan använts vid beräkningarna för att relativt noggrannt bestämma torkluftens fysikaliska data i returkanaler, blandningspunkter samt tilloppskanaler.

Vid mätningen har följande punkter registrerats:

### Mätpunkter

#### \* Flöden

— Naturgasflöde	Bef Mätare
— Torkluftflöde	Pitotrör

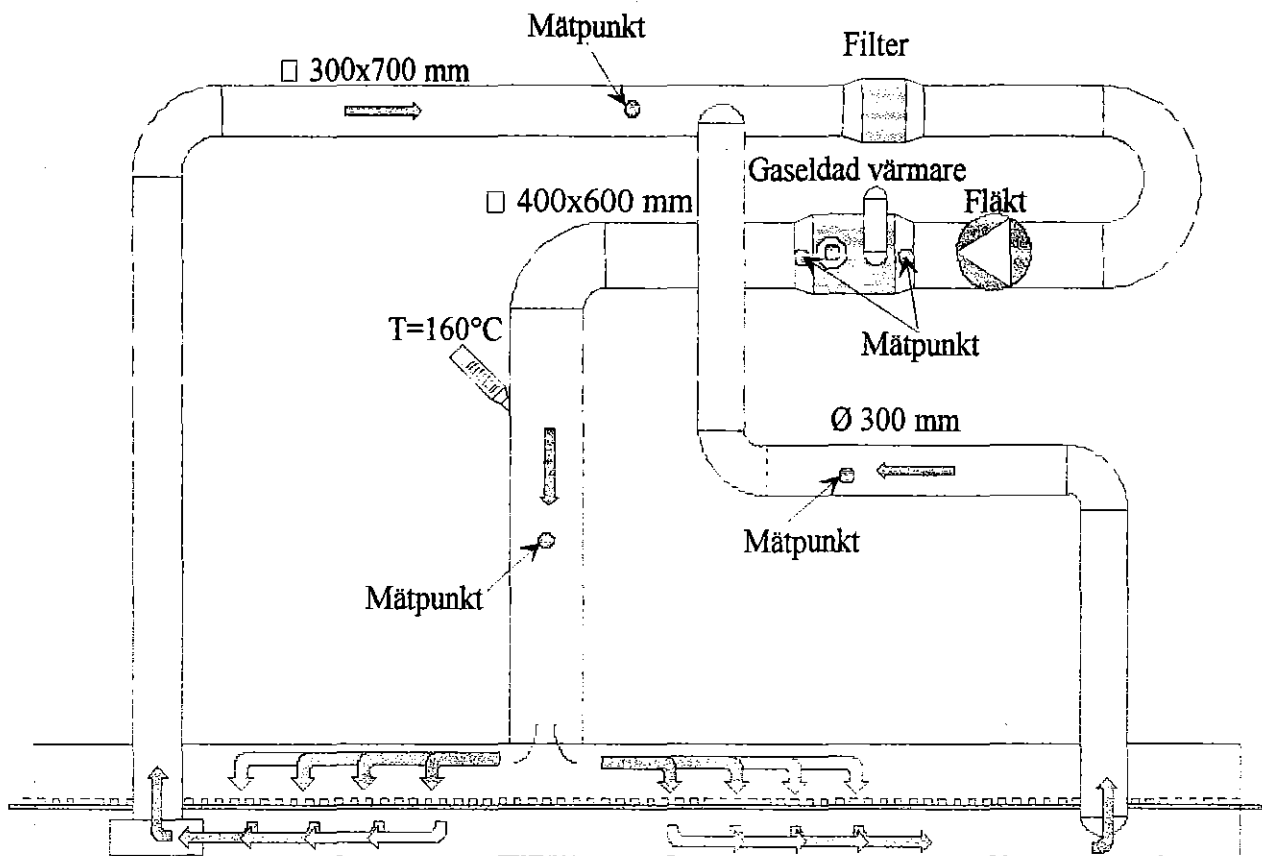
#### \* Temperaturer

— Naturgas	Ytgivare TE
— Förbränningsluft	Ytgivare TE
— Rökgaser	Termoelement (TE)
— Utgående torkluft (torr&våt)	Termometer/TE
— Inkommande luft till tork (torr&våt)	Termometer/TE

#### \* Tryck

— Differensstryck över värmebatteri	Tryckgivare
— Naturgastryck före mätare	Tryckgivare
— Statiskt tryck torkluftskanaler	Tryckgivare

Mätpunkternas placering visas schematiskt i figur 2.1.



Figur 2.1 Principskiss sockerbitstork

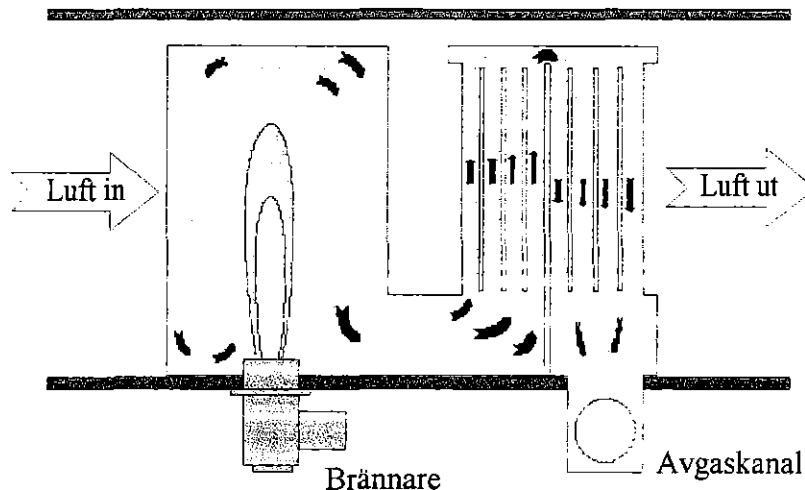
## 2.1 Torklinje 5 - Eclipse RHT-100

Resultat från mätningarna avseende torkluftens parametrar visas i tabell nedan:  
 Verkningsgradsberäkningar visas i bilaga 1.

Kanal	$\Delta p$	c	m	Temp	$\rho_{kanal}$	$x_{kanal}$	$h_{kanal}$
	Pa	m/s	ton/h	°C	kg/m <sup>3</sup>	kg/kg tL	kJ/kg
Tilopp 400x600	18	6,6	4,55	160	0,817	0,068	351,0
Retur 300x700	8	4,2	2,82	110	0,921	0,07	299,9
Retur Ø 300	24	7,3	1,63	115	0,909	0,067	297,4

Differensen mellan flödena i tillopps- och returkanalerna uppgår till cirka 2,3 %. Genom energibalanser över värmaren beräknades torkluftflödet till 4,62 ton/h vilket ger att felet mellan beräknat torkluftflöde och uppmätt flöde i tilloppskanal uppgår till cirka 1,5 %. Detta får anses som en mycket god överensstämmelse med hänsyn tagen till de låga differenstryck som erhöles vid flödesmätningarna i kanalerna.

Vårt att notera är att differenstrycket över värmebatteriet var lågt cirka 0,1 mbar. Enligt Eclipse's datablad uppgår det maximala tryckfallet över värmebatteriet på torkluftssidan till 3 mbar. Det finns dock inte angivet i bladet vid vilka temperaturer som detta tryckfall gäller. Troligen anges "worst case" dvs maximala inlopps- och utloppstemperaturer, vilket skulle innebära 290°C utloppstemperatur och 50°C inloppstemperatur vid det trestråksutförande som visas i bladet. Nominellt flöde i RHT-100 uppgår till 1,62 Nm<sup>3</sup>/s vilket motsvarar 7,54 ton/h torr luft eller 7,11 ton/h torkluft med en fukthalt på 0,07.



Figur 2.2 Principskiss Eclipse RHT-100 Indirect Air Heater

I figur 2.2 visas att värmaren är byggd som en medströmskopplad tvärströmsväxlare. Kopplingen i medströms ger lägre materialtemperaturer och bättre värmeöverföring vid förbränningskammaren medan materialtemperaturen ökar och värmeöverföringen försämras i de sista stråken vid jämförelse med motströmskoppling.

Fördelen med medströmskopplingen i denna applikation är att materialtemperaturen är jämnare än vid motströmskoppling vilket ger mindre påkänningar orsakade av termisk expansion. Nackdelen är att verkningsgraden reduceras.

Verkningsgraden uppgår enligt mätningarna till 84,7 % baserat på gasens effektiva värmevärde samt referenstemperatur 25 °C. Enligt databladet utlovas verkningsgrader mellan 70 - 85 % vilket uppfylls väl vid rådande förhållanden. Det bör noteras att värmarens verkningsgrad inte mäts vid maxlast utan vid cirka 67 % av maxeffekten, vilket var effekten vid kontinuerlig drift.

## 2.2 Torklinje 6 - CGAH-Bronswerk Heat Transfer BV

Preliminära resultat från mätningarna avseende torkluftens parametrar visas i tabell nedan: Verkningsgradsberäkningar visas i bilaga 2.

Kanal	$\Delta p$	c	m	Temp	$\rho_{kanal}$	$x_{kanal}$	$h_{kanal}$
	Pa	m/s	ton/h	°C	kg/m <sup>3</sup>	kg/kg tL	kJ/kg
Tillopp 400x600	ca 11	5,3	3,56	160	0,771	0,067	348,2
Retur 300x700	7	3,3	2,23	100	0,896	0,065	275,1
Retur Ø 300	23	6,0	1,32	110	0,868	0,07	299,9

Differensen mellan flödena tillopp och returkanalerna uppgår till cirka 0,2 %.

Genom energibalanser över värmaren beräknades torkluftflödet till 3,20 ton/h vilket ger att felet mellan beräknat torkluftflöde och uppmätt flöde i tilloppskanal uppgår till cirka 10 %. Detta får anses som en acceptabel överensstämmelse med hänsyn tagen till de låga differensstryck som erhålls vid flödesmätningarna i kanalerna.

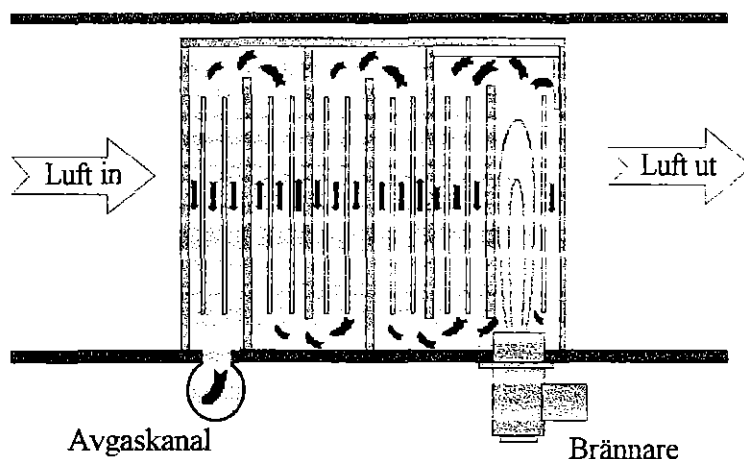
Då såväl fukthalter som temperaturer i returkanalerna inverkar på energibalansen över värmebatteriet är det troligt att detta är orsaken till avvikelserna i beräknat och uppmätt torkluftflöde, eftersom flödesdifferensen mellan tillopp och retur är försumbar.

Såväl mätningar som energibalanser visar entydigt att torkluftflödet i linje 6 är lägre än i linje 5. Förklaringen till detta ligger troligen i att transportbandet är perforerat på linje 6 medan det är helt på linje 5.

Differensstrycket över värmebatteriet, dvs tryckfallet, uppmättes till cirka 2,4 mbar. Vid jämförelse med angivna värden i datablad ter sig det uppmätta tryckfallet över växlaren som lågt. En grov beräkning av angivet tryckfall enligt databladet efter korrigerad torkluftflödet till vid provet gällande driftförhållande ger att tryckfallet borde varit drygt 4 mbar.

Värmaren är byggd som en motströmskopplad tvärströmsväxlare i sexstråksutförande, se figur 2.3. Kopplingen i motströms ger vid jämförelse med medströmskoppling högre materialtemperaturer och sämre värmeöverföring vid förbränningskammaren medan materialtemperaturen minskar och värmeöverföringen förbättras i de sista stråken. Sett över hela värmeväxlaren ökar värmeöverföringen vid motströmskoppling.





Figur 2.3 Principskiss Bronswerk Compact Gas Air Heater (CGAH)

Fördelen med motströmskopplingen i denna applikation är att värmeöverföringen blir effektivare än vid medströmskoppling vilket ger en kompaktare värmeväxlare samt högre verkningsgrad då rök Gastemperaturen minskar. Nackdelen är att materialtemperaturen i förbränningskammaren blir högre än vid motströmskoppling vilket ger ökade påkänningar orsakade av termisk expansion.

Verkningsgraden uppgår till 93,9 % baserat på gasens effektiva värmevärde samt referenstemperatur 25 °C. Enligt databladet är verkningsgraden cirka 94 %, vid 110 kW och inloppstemperatur 110°C, vilket uppfylls knappt vid rådande förhållanden. Det bör noteras att värmarens verkningsgrad inte mättes vid 110 kW utan vid 61 kW, vilket var effekten vid kontinuerlig drift. Att den tillförda effekten vid provtagningstillfället var lägre än databladets medför att angivna verkningsgrader inte kommer att kunna uppnås med nuvarande injustering, där O<sub>2</sub>-halten är relativt hög.

Avvikelsema från angivna värden är dock relativt måttliga.

### 2.3 Energibesparingar

Vid en jämförelse av vilka energibesparingar som är möjliga med Bronswerk CGAH i förhållande till Eclipse RHT-100 får två fall särskiljas. Det första är att enbart verkningsgradsskillnader inkluderas i beräkningarna.

I det andra fallet tas även hänsyn till att effektbehovet är lägre för linje 6 pga ett mindre torkluftsflode.

Baseras beräkningarna på en årlig drifttid på  $40 * 16 * 5 = 3200$  h/år samt ett gaspris på 150 kr/MWh blir den årliga energikostnaden för de olika linjerna följande:

	Avgiven effekt kW	Verkningsgrad %	Tillförd effekt kW	Energikostnad kr
Linje 5 Eclipse	67	84,7	79,1	37.970
Linje 5 Bronswerk	67	93,9	71,4	34.250
Linje 6 Eclipse	60	84,7	70,8	34.000
Linje 6 Bronswerk	60	93,9	63,9	30.670

Tabell 2.3 Energikostnaden för sockertork linje 5 &amp; 6

**ENERKON RC***Energikonstul Rolf Christensen*1995-06-18

---

Det bör här poängteras att ovan angivna siffror endast kan användas för grova överslagsberäkningar. Ifall mer noggranna värden önskas bör energianvändningen ställas i relation till mängden torkad produkt samt andelen kontinuerlig drifttid av total produktionstid, dvs hänsyn tas till uppstart och stopp av bitsockerlinjerna.

I denna utvärdering är dock grova överslagberäkningar tillräckliga för att kunna dra generella slutsatser om besparingar och energianvändning.

Om det bortses från variationerna i tillförd effekt mellan linjerna resulterar skillnaderna i verkningsgrad mellan Bronswerk- och Eclipsevärmarna i en besparing på 3.300 - 3.700 kr per linje och år. För samtliga 6 torklinjerna motsvarar detta en årlig besparing på drygt 20.000 kr vilket ger att energibesparingens betydelse blir liten i förhållande till de underhållskostnader som kan uppkomma på grund av haverier med påföljande produktionsstopp.

Det är således väsentligt att värmarnas tillgänglighet är hög.

### 3 SLUTSATSER OCH ÖVRIGA KOMMENTARER

#### 3.1 Mätresultat

Mätningarna avseende värmarnas verkningsgrader visar att Bronswerk CGAH är en mycket effektiv värmare. Verkningsgraden vid 110°C inloppstemperatur och 160 °C utloppstemperatur till batteriet var knappt 94 %. Differensen mellan inkommande torkluftstemperatur och rökgastemperatur är endast cirka 25°C.

Tryckfallet över värmebatteriet är högre för Bronswerk CGAH än Eclipse RHT-100, 2,4 respektive 0,1 mbar vid mättillfället. Båda uppmätta tryckfallen skiljer sig väsentligen från de som angivs i databladerna även efter korrigering till vid mättillfället rådande förhållanden eller vice versa.

Beräknat torkluftsflöde baserat på uppställda energibalanser över värmebatteriet stämmer väl med uppmätta värden och visar entydigt att torkluftsflödet är lägre på linje 6 än på linje 5. Det lägre torkluftsflödet gör att tillförd gaseffekt till värmaren på linje 6 är lägre än på linje 5.

#### 3.2 Skador på CGAH samt åtgärder

Som nämnts i kapitel 1, Bakgrund, havererade flera av värmarna från Bronswerk under hösten 1993. I samband med mätningarna gjordes en kort okulär inspektion av en havererad Bronswerk CGAH. Det noterades stora skador vid infästningen av förbränningskammaren till första vändkammaren orsakade av materialets termiska expansion.

Socketbolaget har också själva i samarbete med Bronswerk undersökt en värmare med hjälp av fiberoptik. Man kunde då konstatera att det fanns skador på den keramiska fiberisolering som finns i vändkammaren. Isoleringen, som består av en fibermatta, är klistrad på vändkammarens väggar. Inloppsändan av tuberna i första stråket efter brännkammaren skyddas också av keramiska insatser som är fästa i brännkammarens fiberisolering. I vissa tillfällen har också dessa insatser lossat.

Vid ett tillfälle då man lyfte ut en av värmarna fanns det en kraftig beläggning av koks på tubfenorna i värmarnas utloppssida. Detta hade uppstått genom att stora mängder sockerdamm följt med processluften vid något tillfälle. Det visade sig dock vara lätt att rengöra värmaren genom att spola den med vatten.

Bronswerk har också sålt en mindre enhet på 100 kW till en anläggning i Holland. Även denna lär enligt uppgift ha drabbats av liknande problem som SSA:s värmare.

Den nuvarande konstruktionen, där den bakre gaveln innehållande första och tredje vändkammaren är upphängd på tappar för att ta upp termiska expansioner, bedöms inte som tillförlitlig eftersom skillnaderna i materialtemperatur mellan förbränningskammare och rökgasstråken är stora. Detta medför att påkänningarna på tubinfästningarna blir höga. Konstruktionen medför uppskattningsvis att förbränningskammaren utvidgas 2 - 3 mm mer än tuberna i sista stråket.

Problemen bör vara som störst vid uppstarten av torken då temperaturgradienterna är som störst och brännaren går på hög effekt. De största problemen bör kunna undvikas genom att justera ner maxeffekten om detta är möjligt med hänsyn till erforderlig uppstartstid.

För att komma tillrätta med problemen har Bronswerk installerat en kompensator mellan förbränningskammaren och första vändkammaren. Hela den bakre gaveln med vändkammare är fortfarande rörligt upphängd på tappar. En värmare med denna konstruktion är provkörd en tid hos SSA och därefter sänd till Bronswerk för kontroll. Inga skador har kunnat upptäckas i tubernas infästningar.

SSA:s intryck av Bronswerk är att de tagit sitt ansvar och arbetat seriöst för att lösa problemen. Detta har medfört att SSA, trots problemen, valt att satsa vidare på Bronswerks konstruktion och inte välja det andra alternativet i form av Eclipse värmaren.

### 3.3 För- och nackdelar med respektive värmare

Vid en jämförelse mellan de båda värmarna finns det ett antal faktorer som talar till CGAH:s fördel, nämligen:

- CGAH:n är betydligt kompaktare än Eclipse värmaren. Ytermåtten för respektive värmare med samma värmningseffekt är:  
CGAH: 800 x 450 x 450  
Eclipse: 1270 x 1300 x 700 mm
- Verkningsgraden för CGAH:n är högre, 93,9 jämfört med 84,7 %
- Bättre verkningsgrad innebär lägre avgastemperatur och därmed mindre anslutningar för avgasledning, rökgasfläkt mm och lägre temperaturkrav på avgassystemet.

Å andra sidan finns ett antal faktorer som talar emot CGAH:n jämfört med Eclipse värmaren:

- Eclipse har en robustare och mer beprövad konstruktion
- Tryckfallet på processluftsidan är lägre för Eclipse, 0,1 mbar mot 2,4 mbar.
- CGAH:n kräver ett högt matningstryck på förbränningsluften, vilket gör att man använder en speciell högtrycksfläkt.

### 3.4 Kostnader

Som noterats under punkt 2.3 är skillnaden i energikostnad liten mellan de båda alternativen vid de drifttider som Sockerbolaget har. Viktigare är underhållskostnader, kostnader för produktionsstopp och investeringskostnader.

Underhållskostnader och kostnader för driftsstopp är beroende av hur tillförlitlig konstruktionen kan bli efter den vidareutveckling och omkonstruktion som Bronswerk nu arbetar med.

Investeringskostnaden är i stort sett lika för de båda alternativen. När Sockerbolaget jämfört offerter för de båda typerna har man inte funnit sådana skillnader att detta kunnat avgöra valet av utrustning.

**BILAGA 1****GRUNDLÄGGANDE DATA FÖR FÖRBRÄNNINGSBERÄKNINGAR****BRÄNSLEANALYS**

Metanhalt (CH <sub>4</sub> )	91,10 vol-%
Etanhalt (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	4,70 vol-%
Propanhalt (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	1,70 vol-%
Butanhalt (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	1,40 vol-%
Kvävehalt (N <sub>2</sub> )	0,60 vol-%
Koldioxidhalt (CO <sub>2</sub> )	0,50 vol-%
Undre värmevärde	39,00 MJ/m <sup>3</sup> (n)
Referenstemp för värmevärde	25,0 °C

**ENERKON RC**

Energikonsult Rolf Christensen

1995-06-18

**BILAGA 1****Sockerbolaget LINJE 5 - Eclipse RHT100**

Prov 93-12-16 kl. 16.30-18.00

**NATURGAS**

Gastemperatur	32,0	°C
Flöde, m <sup>3</sup> (n)/s	0,00203	m <sup>3</sup> (n)/s
Flöde, kg/s	0,0016376	kg/s

**FÖRBRÄNNINGSLUFT**

Temperatur, °C	34,2	
Absolut fuktighet, g/kg	8,00	
Flöde	<i>Torr gas</i>	<i>Fuktig gas</i>
m <sup>3</sup> (n)/s	0,023958	0,024256
kg/s	0,030977	0,031224

**RÖKGASER**

CO <sub>2</sub> -halt, %	10,37	vol-%
CO-halt, ppm	14	vol-%
O <sub>2</sub> -halt, %	2,80	vol-%
Temperatur, °C	350,0	°C
Flöde	<i>Torr gas</i>	<i>Fuktig gas</i>
m <sup>3</sup> (n)/s	0,021823	0,026256
kg/s	0,029168	0,032861

**EFFEKTUPGIFTER**

Nyttiggjord effekt	67	kW
Referenstemperatur för verkningsgrad	25,0	°C

**ENERGIBALANS**

<i>Tillfört värme</i>	<i>kW</i>	<i>%</i>
Bränsle	79	99,6
Förbränningsluft	0	0,4
Totalt	79	100,0

<i>Bortfört värme</i>	<i>kW</i>	<i>%</i>
Nyttiggjord värme	67	84,7
Rökgaser	12	15,3
Oförbränt i rökgaser	0	0,0
Totalt	79	100,0

**ENERKON RC**

Energikonsult Rolf Christensen

1995-06-18

**BILAGA 2****Sockerbolaget LINJE 6 Bronswerk CGAH**

Prov 93-12-16 kl. 18.30-20.30

**NATURGAS**

Gastemperatur	29,0	°C
Flöde, m <sup>3</sup> (n)/s	0,00155	m <sup>3</sup> (n)/s
Flöde, kg/s	0,0012504	kg/s

**FÖRBRÄNNINGSLUFT**

Temperatur	42,5	°C
Absolut fuktighet	8,00	g/kg
<i>Flöde</i>	<i>Torr gas</i>	<i>Fuktig gas</i>
m <sup>3</sup> (n)/s	0,024114	0,024413
kg/s	0,031178	0,031427

**RÖKGASER**

CO <sub>2</sub> -halt, %	7,69	vol-%
CO-halt, ppm	11	vol-%
O <sub>2</sub> -halt, %	7,50	vol-%
Temperatur, °C	130,0	°C
<i>Flöde</i>	<i>Torr gas</i>	<i>Fuktig gas</i>
m <sup>3</sup> (n)/s	0,022483	0,02594
kg/s	0,029797	0,032676

**EFFEKTUPGIFTER**

Nyttiggjord effekt	57	kW
Referenstemperatur för verkningsgrad	25,0	°C

**ENERGIBALANS**

<i>Tillfört värme</i>	<i>kW</i>	<i>%</i>
Bränsle	60	99,1
Förbränningsluft	1	0,9
Totalt	61	100,0
<i>Bortfört värme</i>	<i>kW</i>	<i>%</i>
Nyttiggjord värme	57	93,9
Rökgaser	4	6,1
Oförbränt i rökgaser	0	0,0
Totalt	61	100,0