



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R25:1990**

# **Stirlingmotordriven värmepump**

**Förstudie avseende planerat  
experimentbygge i Kågeröd**

**Jan Bovin**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135430

# **Byggforskningsrådet**

R25:1990

## **STIRLINGMOTORDRIVEN VÄRMEPUMP**

**Förstudie avseende planerat experimentbygge i Kågeröd**

**Jan Bovin**

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 880388-0  
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,  
Malmö.**

## REFERAT

Elmotordrivna värmepumpar är beprövade och finns sedan flera år i drift i ett stort antal i Sverige. Tillgången på billig elenergi kommer dock att minska på 90-talet samtidigt som en omfattande naturgasutbyggnad planeras. Ett sätt att möta dessa förändringar är att bygga värmepumpar med naturgasdrivna förbränningsmotorer. Sådana finns redan på kontinenten.

I detta projekt planeras ett experimentbygge med en Stirlingmotor som drivkälla till en modern värmepump. Installationen avses ske i en liten kommunal gruppcentral i Skåne. Oljeförbrukningen är idag 31 m<sup>3</sup> el/år. Värmeproduktionen kommer att ske först i värmepumpens kondensator och därefter via överskottsvärme i Stirlingmotorns kylvatten- och avgassystem. En gaseldad panna kommer att tjäna som topplastäckning och reserv. Uteffekten från det Stirlingmotordrivna värmepumpsaggregatet kan regleras från max ca 38 kW ner till ca 27 kW genom att motorns varvtal minskas. Av det totala värmeenergi-behovet svarar det Stirlingmotordrivna värmepumpsaggregatet för 80 % och gaspannan för resterande 20 %. Driftkostnaderna blir väsentligt lägre än för nuvarande oljeeldning, men kapitalkostnaderna för installationen är för närvarande för hög för strikt lönsamhet i projektet. Stirlingmotorn har dock så stora miljömässiga fördelar att ett projekt av denna typ måste anses vara ett viktigt led i att demonstrera modern miljövänlig och elenergisnål värmeproduktionsteknik.

I Byggnadsforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R25:1990

ISBN 91-540-5180-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**gotab** Stockholm 1990

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		Sid
1.	SAMMANFATTNING	1-2
2.	INLEDNING	3-4
2.1	Bakgrund	
2.2	Projektets målsättning och genomförande	
3.	PROJEKTBESKRIVNING	5-11
3.1	Lokalisering	
3.2	Befintligt värmesystem	
3.2.1	Oljeförbrukning, effekt- och energibehov	
3.3	föreslaget värmesystem	
3.3.1	Val av aggregat	
3.4	Stirlingmotorn	
3.5	Värmepumpsdelen	
4.	EKONOMI	12-14
4.1	Driftskostnadskalkyl	
4.1.1	Förutsättningar	
4.1.2	Beräkning av driftskostnader	
4.1.3	Jämförelse med nuvarande oljeeldning	
4.2	Lönsamhet	
5.	MILJÖASPEKTER	15-16
5.1	Värmepumpen	
5.2	Stirlingmotorn	



## STIRLINGMOTORDRIVEN VÄRMEPUMP

### Förstudie avseende planerat experimentbygge i Kågeröd

#### 1 SAMMANFATTNING

Elmotordrivna värmepumpar är beprövade. Ett stort antal sådana aggregat har under 80-talet tagits i drift i Sverige.

Men tillgången på billig energi, vilket varit en av förutsättningarna för denna utveckling, förväntas under 90-talet minska. Alternativa energiformer måste prövas. Naturgasnätet kommer att byggas ut.

En intressant tanke är då att i en värmepump ersätta elmotorn med en förbränningsmotor där bränslet är naturgas.

I denna förstudie belyses möjligheterna att i ett konkret värmepumpprojekt använda en Stirlingmotor som drivkälla.

Avsikten är att som steg 2 genomföra ett experimentbygge och i steg 3 följa upp driften under en 2-årsperiod.

Ett lämpligt projekt, som studeras närmare, är en liten kommunal gruppcentral i Kågeröd i sydvästra Skåne. I anläggningen förbrukas årligen 31 m<sup>3</sup> eol och det maximala värmebehovet uppgår till 94 kW.

I förstudien har valts ett tänkt aggregat bestående av en Stirlingmotor V160 från Stirling Power Systems sammanbyggd med en värmepump EST 35 från Energisparteknik AB. Detta aggregat avger max 38 kW värme. Hur det kan installeras i den befintliga värmeanläggningen redovisas närmare.

Studien visar att upp till 80 % av det årliga värmebehovet kan produceras i det Stirlingmotordrivna värmepumpaggregatet medan resterande 20 % täcks med hjälp av en gaspanna, vilken ersätter befintlig oljepanna. Gaspannan tjänar dessutom som reserv.

Den från aggregatet avgivna värmeeffekten kan regleras inom vissa gränser genom att Stirlingmotorns varvtal varieras.

Detta medför en bättre anpassning till anläggningens värmebehov enligt varaktighetsdiagrammet än om enbart on-off drift med en elmotor hade använts.

Värmeproduktionskostnaden (exkl kapitalkostnaden) beräknas bli 204 kr/MWh jämfört med 335 kr/MWh vid nuvarande oljeeldning. Det blir alltså klart billigare att producera värme med det Stirlingmotordrivna värmepumpsaggregatet, men driftsvinsten täcker inte kapitalkostnaderna för det tänkta aggregatet.

Det erfordras större serier av Stirlingmotorer för att pressa prisnivån.

Utredningsarbete av annan Stirlingmotorstyp pågår i Malmö.

En av den naturgaseldade Stirlingmotorns fördelar är dock att den är klart miljövänligare än konventionella förbränningsmotorer, speciellt dieselmotorn.



## 2. INLEDNING

### 2.1 Bakgrund

Värmepumpar med kompressorer drivna av elektriska motorer är såväl teoretiskt som praktiskt väl utvecklade och finns sedan flera år tillbaka installerade i många värmeanläggningar i Sverige. Eftersom endast ca 1/3 av den i värmepumpen producerade värmen består av tillförd el till kompressormotorn måste själva värmepumpstekniken betraktas som mycket energisnål och eleffektiv. I tider av planerad kärnkraftsavveckling och därmed sannolikt mer restriktiv användning av el för uppvärmningsändamål kommer säkerligen värmepumpen att få en ny renässans som ersättare av elpannor och direktel i värmeproduktionsanläggningar. Trots detta frestar emellertid tanken att göra värmepumpen ännu mer oberoende av elenergi genom att ersätta elmotorn med en förbränningsmotor.

Denna tanke är i sig inte ny. På kontinenten, där elpriserna är högre, finns sedan flera år tillbaka sådana värmepumpsaggregat i drift.

De drivs i huvudsak av Otto- eller Dieselmotorer. I föreliggande projekt planeras emellertid att använda en Stirlingmotor som drivkälla.

Den miljövänliga Stirlingmotorn, vilken beskrivs närmare i avsnitt 3.4, har bland annat den utomordentliga egenskapen att den kan drivas med såväl gasformiga, som flytande bränslen av mycket skiftande kvalitet.

Ett utmärkt gasformigt bränsle i detta sammanhang är givetvis naturgas, som alltmer introduceras i det svenska energisystemet.

Omfattande teoretiska studier och beräkningar beträffande energiomvandling med gaseldad Stirlingmotor har tidigare publicerats i BFR-rapporten R50-1987.

I föreliggande förstudie ägnas därför den teoretiska delen mindre intresse och inriktningen koncentreras istället mot den praktiska tillämpningen i ett konkret projekt.

## 2.2 Projektets målsättning och genomförande

Målsättningen med projektet är att bygga en experimentanläggning och att under en två-årsperiod utvärdera den praktiska driften. Genomförandet avses ske i tre steg:

- 1 Förstudie - denna handling
- 2 Experimentbygge
- 3 Driftsuppföljning och utvärdering

Experimentbygget avser installation av ett Stirling-motordrivet värmepumpsaggregat i en mindre blockcentral, som idag eldas med olja, men som inom en snar framtid kan konverteras till naturgaseldning.

Ett lämpligt projekt baserat på ovannämnda förutsättningar beskrivs i avsnitt 3 nedan.

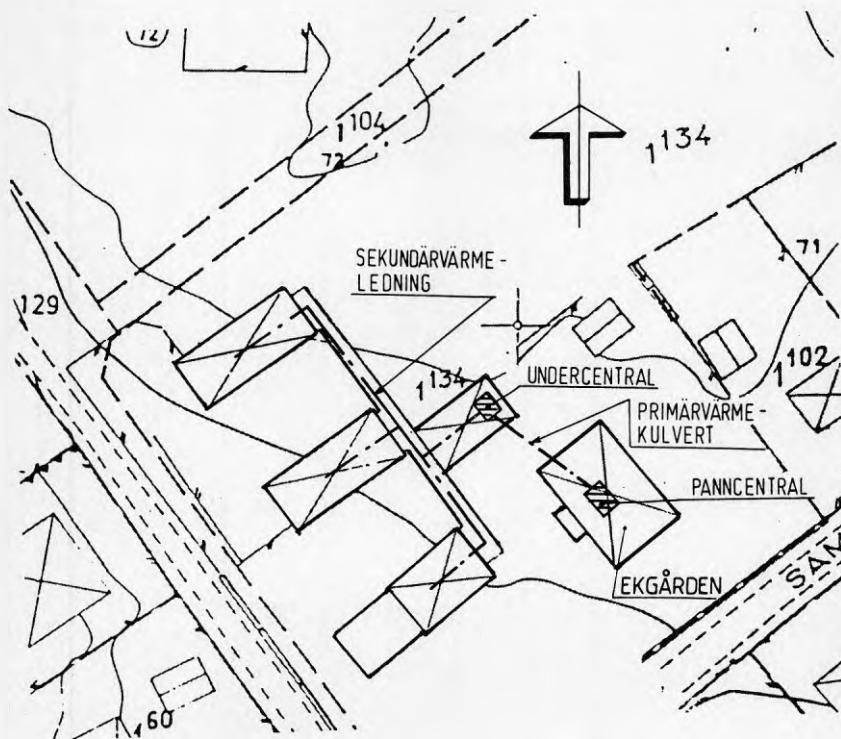
### 3 PROJEKTBEKRIVNING

#### 3.1 Lokalisering

I Kågeröd, som är en av tätorterna i Svalövs kommun i sydvästra Skåne, finns fastigheten Kågeröd 1:134 "Ek-gården". Läget framgår av situationsplan figur 1.

Fastigheten, som ägs av kommunen, består av fem byggnader i vilka inryms daghem, förskola, samlingslokal, skolbespisning och klubbhus.

I källaren i en av byggnaderna finns ett pannrum med en oljepanna, som betjänar alla fem byggnaderna med värme och varmvatten.



Figur 1 Situationsplan

### 3.2 Befintligt värmesystem

Den i oljepannan producerade primärvarmen med en framtemperatur av ca 65°C året runt, distribueras via markförlagd kulvert till en av de andra byggnaderna i vilken en undercentral inryms. I undercentralen finns shuntgrupper för styrning av utgående temperatur i de sekundära värmesystemen. Det finns tre shuntgrupper varav en för radiatorer, en för tillluftsaggregat och en för varmvattenberedning.

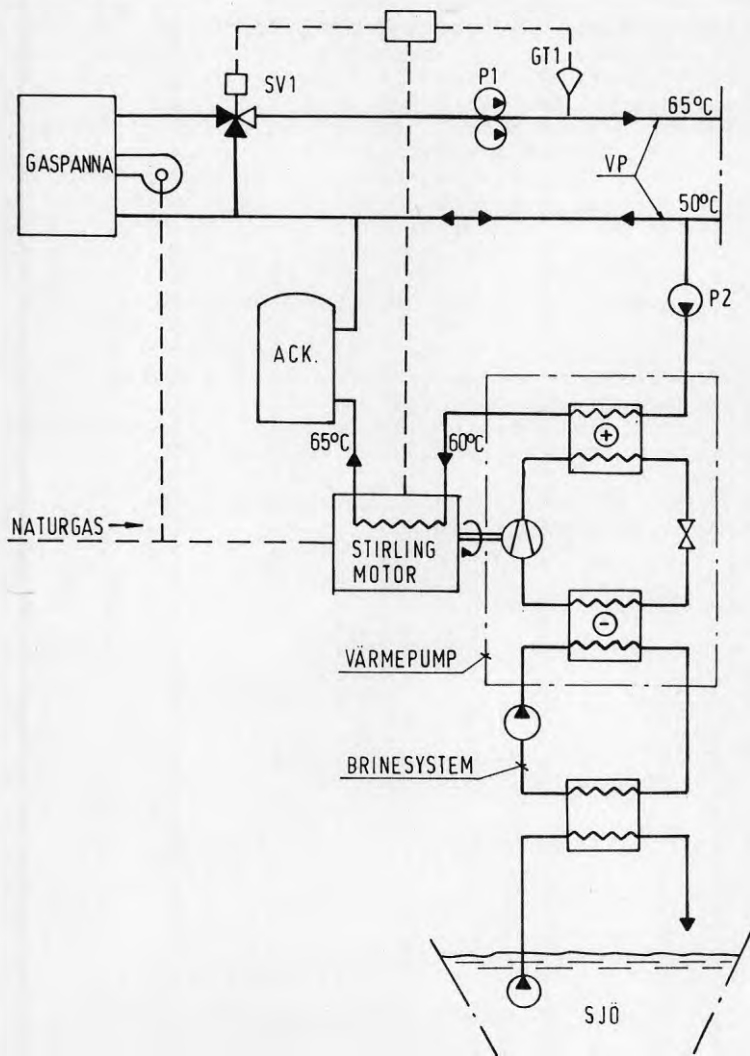
Shuntgrupperna är försedda med 2-vägs modulerande styrventiler som stänger/stryper primärvattenflödet vid minskande värmebehov respektive öppnar/ökar det vid stigande värmebehov. Returtemperaturen till pannan ligger på ca 50°C.

#### 3.2.1 Oljeförbrukning, effekt- och energibehov

Oljeförbrukningen är ca 31 m<sup>3</sup> eol per år, vilket motsvarar en energitillförsel av ca 300 MWh/år. Den årliga pannverkningsgraden vid oljeeldningen uppskattas till ca 75 % varför nettovärmebehovet blir ca 225 MWh/år. Baserat på ovanstående siffror bedöms anläggningens maximala värmeeffektbehov uppgå till 94 kW.

### 3.3 Föreslaget värmesystem

Den befintliga oljepannan demonteras och ersätts med en ny gaspanna dimensionerad så att den ensam täcker ca 2/3 av det maximala värmebehovet. Till primärvärmesystemets returledning ansluts ett Stirlingmotordrivet värmepumpsaggregat. Den föreslagna inkopplingen framgår av figur 2 och beskrivs närmare i avsnitt 3.3.1.



Figur 2 Kopplingsschema

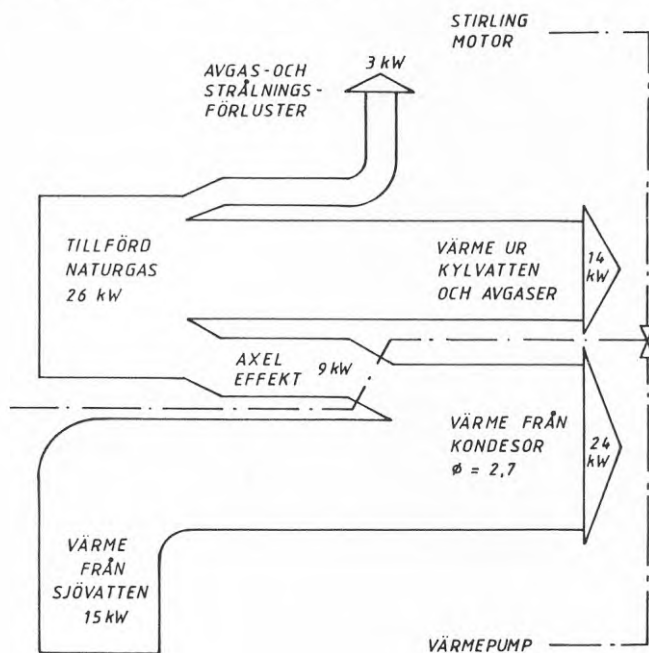
### 3.3.1 Val av aggregat

Då riktlinjerna för detta projekt drogs upp ingick i förutsättningarna att använda en Stirlingmotor från Stirling Power Systems vilken skulle byggas samman med en värmepumpsdel från E.S.T Energisparteknik. I skrivande stund är det dock osäkert om den föreslagna Stirlingmotorn kommer att finnas tillgänglig på marknaden. Om den inte skulle kunna användas är förstudiens beräkningar och slutsatser ändå generellt giltiga.

De prestandauppgifter, som anges i fortsättningen, härrör sig sålunda från Stirling Power System's V160-aggregat sammanbyggt med E.S.T.'svärmepump E.S.T.35.

Av kopplingsschemat figur 2 framgår att en del av det 50-gradiga returvattnet cirkuleras via pump P2 genom värmepumpens kondensor där det värms till ca 60°C och därefter genom Stirlingmotorns kyl- och avgassystem där det värms ytterligare till ca 65°C.

Hur energiflödena fördelar sig i aggregatet framgår av Sankey-diagrammet i figur 3.



Figur 3 Energiflöden

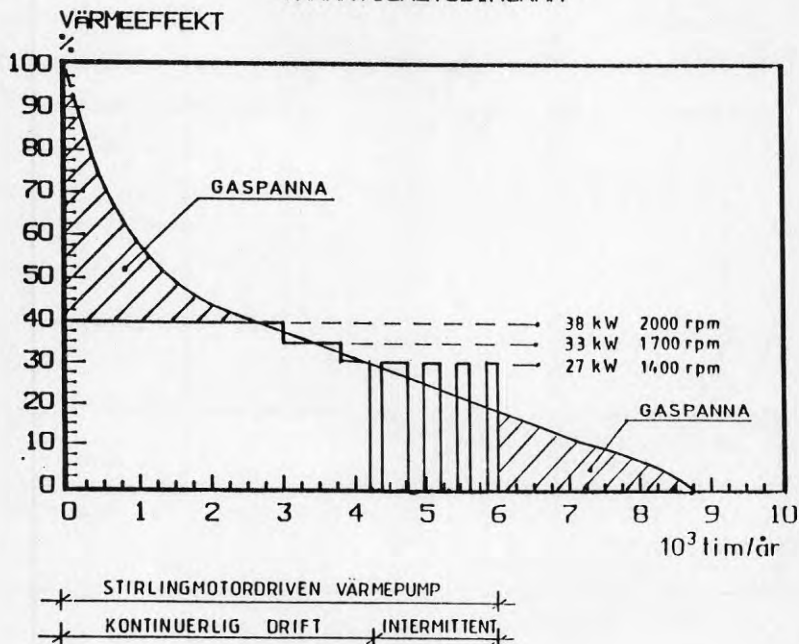
Av diagrammet ser man att Stirlingmotorns utgående axeleffekt är 9 kW vid en tillförd effekt av 26 kW. Eftersom axeln kopplas direkt till värmepumpens kompressor och värmefaktorn uppgår till  $\phi=2.7$  blir utgående värmeeffekt från kondensorn  $9 \times 2.7 = 24 \text{ kW}$ .

Tillsammans med värme ur motorns kylvatten och avgaser (14 kW) blir den maximala värmeproduktionen 38 kW. Det betyder att gaspannan måste startas för att producera tillskottsvärme, då anläggningens värmebehov överstiger 38 kW. Då detta inträffar styrs styrventil SV1, så att framledningstemperaturen vid GT1 konstanthålls på inställt värde.

Temperaturgivare GT1 styr också den stegvisa varvtalsregleringen i Stirlingmotorn. I och med att varvtalet sänks minskar motorns uteffekt och därmed värmeproduktionen. Hur detta sker under drift framgår av varaktighetsdiagrammet figur 4.

Värmekälla till värmepumpens förångare är ett cirkulerande brine-system, som i sin tur via en värmeväxlare tar sin värme från ett numera nedlagt vattenfyllt stenbrott.

#### VÄRMEEFFEKT

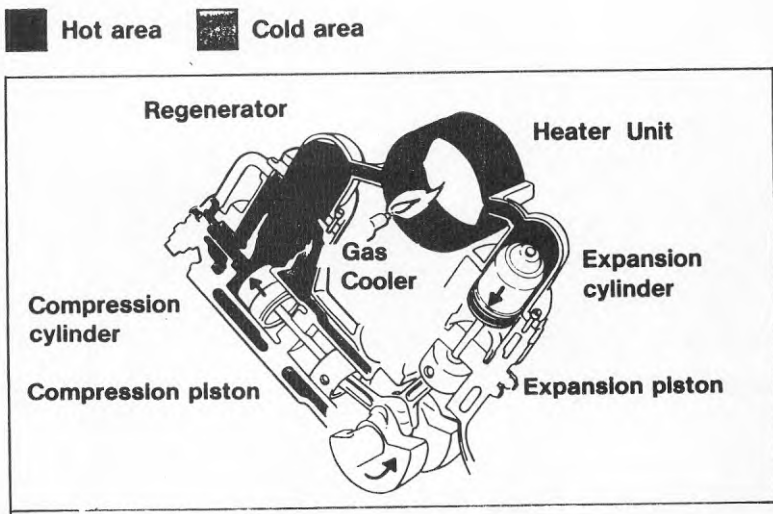


Figur 4 Driftsschema

### 3.4 Stirlingmotorn

Stirlingmotorn utnyttjar liksom andra värmemotorer, en termodynamisk process i vilken värme omvandlas till mekanisk energi genom att ett medium komprimeras vid låg temperatur och utvidgas vid hög temperatur.

Till skillnad från Otto- och Dieselmotorer sker förbränningen i Stirlingmotorn i en separat brännkammare utanför arbetscyklindern. (Figur 5)



Figur 5 Stirlingmotor V160

Förbränningen kan därför genomföras kontinuerligt med en mycket låg hastighet och ett noggrant anpassat luftöverskott så att den blir näst intill fullständig.

Detta bidrar till att emissionen av giftiga ämnen blir väsentligt mindre än i motorer med inre förbränning, dvs i Otto- och Dieselmotorer. En mer detaljerad redogörelse för emissionsnivåer m m, redovisas i avsnitt 5, Miljöaspekter.



Arbetsmediet, som normalt är heliumgas kommer aldrig i kontakt med förbränningen och förändras därför inte under arbetscykeln.

Genom att inga "explosioner" äger rum är Stirlingmotorn mycket tystgående. Den växelvisa värmningen och kylningen av arbetsgasen gör också att tryckvariationerna sker mjukare än i konventionella motorer. Detta tillsammans med den kontinuerliga förbränningen ger en mycket låg ljud- och vibrationsnivå.

Eftersom Stirlingmotorn innehåller ett absolut minimum av rörliga delar kan man räkna med en mycket lång livslängd och låga underhållskostnader. Genom att förbränningen sker externt utanför motorns cylindrar kan inga förbrända eller oförbrända bränslerester komma ner i vevhuset. Detta gör att oljan inte blir förorenad eller utspädd och därmed mister sin smörjande funktion. Smörjoljeförbrukningen är försumbar.

### **3.5 Värmepumpsdelen**

Den värmepump, som valts till projektet tillverkas av EST Energisparteknik AB i Bjärred. Utmärkande för denna värmepumptyp är bl a att köldmediefyllningen är mycket liten genom att hellödda plattvärmväxlare används för såväl förångare som kondensor.

## 4 EKONOMI

Investeringen för en prototypanläggning av det slag som det här är fråga om blir givetvis avsevärt högre än för motsvarande anläggning med kommersiellt tillgängliga eldrivna värmepumpsaggregat.

Någon jämförande lönsamhetsbedömning är därför inte meningsfull. Inriktningen koncentreras istället på att ta fram en driftskostnadskalkyl och att ange ett acceptabelt framtida högsta pris för ett Stirlingmotordrivet värmepumpsaggregat.

### 4.1 Driftskostnadskalkyl

#### 4.1.1 Förutsättningar

Oljeförbrukning (nuvarande)	31 m <sup>3</sup> eol/år
Årsverkningsgrad oljeeldning	75 %
Årsverkningsgrad naturgaseldning	80 %
Oljans värmevärde	9960 kWh/m <sup>3</sup>
Naturgasens värmevärde	49,9 MJ/kg
Anläggningens nettovärmebehov	225 MWh/år
Oljepris	2500 kr/m <sup>3</sup>
Naturgaspris	200 kr/MWh

#### Stirlingvärmepumpsaggregat

- Avgiven värmeeffekt (fullast)	38 kW
- Driftstid (fullast)	4700 tim/år
- Producerad värmeenergi	
38 kW x 4700 tim/år	179 MWh/år
- Tillförd naturgaseffekt (fig 3)	26 kW
- Naturgasbehov	
26 kW x 4700 tim/år	122 MWh/år
- Servicekostnad	50 kr/MWh

#### Gaspannan

- Avgiven värmeeffekt 2/3 x 94 kW	63 kW
- Producerad värmeenergi	
(225-179) MWh/år	46 MWh/år
- Tillförd naturgaseffekt	
63 kW/0,8	79 kW
- Naturgasbehov 46 MWh/0,8	58 MWh/år

#### 4.1.2 Beräkning av driftskostnader

Naturgas för drift av Stirling- motorn 122 MWh/år x 200 kr/MWh	24400 kr/år
Naturgas för drift av gaspannan 58 MWh/år x 200 kr/MWh	11600 kr/år
Service på Stirlingmotor/värmepump 50 kr/MWh x 179 MWh/år	9000 kr/år
Brännarservice, sotning	1000 kr/år
	<hr/>
	46000 kr/år
Värmeproduktion i anläggningen	225 MWh/år
Värmeproduktionskostnad 46000 kr/225 MWh	<u>204 kr/MWh</u>

#### 4.1.3 Jämförelse med nuvarande oljeeldning

Värmeproduktionskostnaden 204 kr/MWh kan jämföras med motsvarande för nuvarande oljeeldning, som blir  $2500 \text{ [kr/m}^3\text{]}/9960 \text{ [kWh/m}^3\text{]} \times 0.75 = 335 \text{ kr/MWh}$

Värmeproduktionskostnaden blir alltså klart lägre än för nuvarande oljeeldning. Men blir den årliga vinsten tillräckligt stor för att finansiera investeringen? Eller omvänt - hur mycket får ett Stirlingmotordrivet värmepumpaggregat högst kosta för att projektet skall vara lönsamt?

#### 4.2 Lönsamhet

Kriteriet för lönsamhet skulle i detta fall vara att kapitalkostnaden för investeringen understiger den årliga driftsvinsten (Å). Om man förutsätter att kapital kan lånas upp till 12% ränta och 15 års amortering blir annuitetsfaktorn  $a=0.15$ .

Den maximala investeringen (I) bestäms av följande samband

$$I \leq \frac{A}{a}$$

varvid

$$A = (335-204) \text{ kr/MWh} \times 225 \text{ MWh/år} = 29475 \text{ kr/år}$$

$$a = 0,15$$

Insättes dessa värden i sambandet ovan får man:

$$I \leq \frac{29475}{0,15} = 196.500 \text{ kr}$$

Investeringen får alltså inte överstiga 196.500kr för att projektet ska bli lönsamt med antagna förutsättningar. Går det då att genomföra projektet för denna kostnad?

Nej - sannolikt inte med de "prototypaggregat" av Stirlingmotorer som finns på marknaden. Prisindikationer har visat att minst dubbla kostnaden (ca 400.000 kr) är realistisk. Vid en framtida serietillverkning är det dock fullt möjligt att priset på Stirlingmotorer kan sänkas till acceptabel nivå.

Fortsatt utvecklingsarbete på en delvis annan typ av Stirlingmotor bedrivs för närvarande bl a i Malmö och det kan kanske om något år leda till konkurrenskraftigare modeller. Höjda elpriser talar naturligtvis också för att projektet blir mer intressant, givetvis under den förutsättningen att priset på naturgas inte stiger lika mycket.

## 5. MILJÖASPEKTER

Det i föregående avsnitt beskrivna Stirlingmotordrivna värmepumpsaggregatet måste anses som ett mycket miljövänligt värmeproduktionssystem. Eftersom det består av två huvudkomponenter behandlas dessa något mer ingående var för sig.

### 5.1 Värmepumpen

Allmänt gäller om värmepumpar att de utnyttjar naturresurserna väl, genom att hela 2/3 av den producerade värmen är "gratisenergi" tagen ur omgivningen och endast 1/3 måste tillföras i form av drivenergi i någon form.

För detta projekt gäller dessutom att den föreslagna värmepumpen endast innehåller ca 2 kg av det för ozonskiktet relativt ofarliga köldmediet R22. Normalt sker heller inga utsläpp till atmosfären eftersom köldmediesystemet, som i sin helhet installeras och läckagetestas på fabrik är helt slutet. Värmeproduktionen i värmepumpen sker utan att det produceras någon koldioxid som tillskott till den skadliga växthuseffekten. Vid motsvarande oljeeldning hade ca 115 ton CO<sub>2</sub>/år släppts ut till atmosfären.

### 5.2 Stirlingmotorn

Den föreslagna Stirlingmotorn med naturgas som bränsle är som beskrivits tidigare i avsnitt 3.4 mycket miljövänlig. Naturgasen innehåller inga tungmetaller och kan eftersom den renats från svavelföreningar i utvinningsprocessen betraktas som svavelfri. Jämfört med en dieselmotor är emissionsnivån, som framgår av nedanstående tabell, väsentligt lägre. I tabellen anges utsläppen från Stirlingmotorn i relation till de från dieselmotorn vars värden satts till 100%.

	<u>Diesel</u>	<u>Stirling</u>
NOx	100%	33%
CO	100%	1%
HC	100%	10%

I absoluta tal kan följande emissionsmängder från den föreslagna Stirlingmotorn påräknas

	<u>ppm</u>	
NOx	160	(58 mg/MJ tillfört bränsle)
CO	120	
HC	0	

Genom att återcirkulera rökgaser i brännkammaren kan på ett relativt enkelt sätt NOx-utsläppen ytterligare reduceras till mindre än hälften eller ca 75 ppm (26 mg/MJ tillfört bränsle).

Övriga goda miljöegenskaper, som kan tillskrivas Stirlingmotorn, är dess tysta och vibrationsfria gång samt den i det närmaste försumbara smörjoljeförbrukningen.

**VIAK AB**  
Malmökontoret

Jan Bovin

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 880388-0  
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB, Malmö**

**R25: 1990 Stirlingmotordriven värmepump J Bovin**

**R25: 1990**

**ISBN 91-540-5180-0**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6801025**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna**

**Cirkapris: 37 kr exkl moms**