



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.



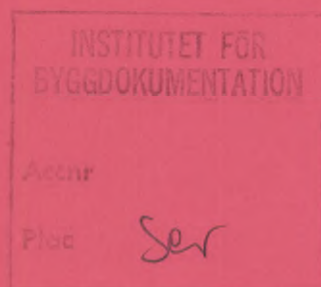
**Rapport**

**R91:1989**

**Rökgaskondensering med  
uteluftvärmepump i  
gruppcentral**

**Förstudie**

**Henrik Enström**



**Byggforskningsrådet**

R91:1989

RÖKGASKONDISERUNG MED UTELUFTVÄRMEPUMP  
I GRUPPCENTRAL

Förstudie

Henrik Enström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860729-7  
från Statens råd för byggnadsforskning till Skandinavisk  
Termoekonomi AB, Stockholm.

**VA NYTT**

45129

### REFERAT.

Rapporten redovisar resultat från en förprojektering av en installation av kondenserande rökgasvärmväxlare i en oljeeldad panncentral. Rökgaserna kyls dels med vatten från värmekulvertens returledning, dels med köldbärare från en uteluftvärmepump. Värmen tillförd köldbäraren används i första hand för avfrostning av värmepumpens kylbatterier.

Panncentralen med oljepannor och värmepump finns i Fisksätra, Nacka. Den ägs av det kommunala bostadsföretaget Nackahem. Installationen av rökgasvärmväxlare beräknas vara slutförd under år 1989.

Den studerade installationen beräknas minska oljeförbrukningen med 150 kbm/år. Svavelutsläppen reduceras med 20 % (2,7 ton) och stoftutsläppen med 50 %. Erforderlig behandling av utkondenserat vatten diskuteras i rapporten. Vid ett oljepris på 2.000 kr/kbm blir pay off tiden ca 6 år.

I Byggforskningsrådets 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.

R91:1989

ISBN 91-540-5083-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|   | Sida |
|---|------|
| SAMMANFATTNING.....                             | 4    |
| 1. INLEDNING.....                               | 6    |
| 2. ANLÄGGNINGSBESKRIVNING.....                  | 7    |
| 2.1 Området.....                                | 7    |
| 2.2 Värmepumpen.....                            | 7    |
| 2.3 Rökgasvärmväxlare.....                      | 8    |
| 2.4 Systemuppbyggnad.....                       | 9    |
| 3. VÄRMETEKNISKA KALKYLER.....                  | 11   |
| 4. MILJÖTEKNISKA EFFEKTER.....                  | 13   |
| 4.1 Rökgasemission.....                         | 13   |
| 4.2 Reningseffekter vid rökgaskondensering..... | 13   |
| 4.3 Kondensat.....                              | 14   |
| 4.4 Närmiljön.....                              | 15   |
| 5. EKONOMI.....                                 | 17   |
| 6. MÄTPROGRAM.....                              | 18   |
| 6.1 Allmänt.....                                | 18   |
| 6.2 Värmetekniskt mätprogram.....               | 18   |
| 6.3 Miljötekniskt mätprogram.....               | 18   |
| 6.3.1 Bränsle.....                              | 20   |
| 6.3.2 Kondensat.....                            | 20   |
| 6.3.4 Rökgasar.....                             | 21   |
| 6.4 Kostnader.....                              | 21   |

## SAMMANFATTNING.

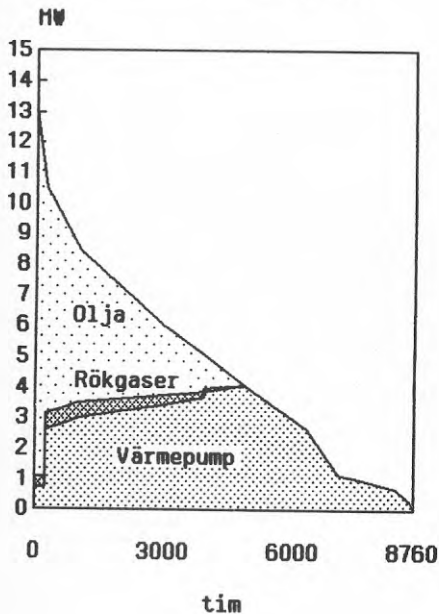
Vid förbränning av fossila bränslen, ved och sopor fås oönskade utsläpp till naturen via rökgaserna. Exempel på typiska ämnen är  $SO_x$ ,  $NO_x$ , klorider, tungmetaller och diverse stoftpartiklar. Olika metoder finns att rena rökgaserna, vanligen genom tillförsel av kemikalier. Rapporten behandlar en annan princip: kraftig nedkylning av rökgaserna. Om temperaturen sänks under daggpunkten fås en viss reningseffekt, olika stor för olika ämnen. För stoft, tungmetaller och  $SO_3$  är effekten betydande, för  $SO_2$  måttlig medan den för  $NO_x$  är betydelselös. Dessutom fås en ordentlig värmeåtervinning, 10–20 %, vilken direkt påverkar samtliga utsläpp samt ger en ekonomisk vinst.

För att nå ner till rökgasernas daggpunkt krävs tillräckligt låg temperatur på kylmediet. Vanligen finns vatten från kulvertnätets returledning och förbränningsluft tillgänglig. Vid oljeeldning ger då både temperaturnivåerna och tillgängligt värmekapacitetsflöde begränsningar. I denna rapport behandlas en applikation där köldbäraren från en uteluftvärmepump används som kylmedium.

Panncentralen med oljepannor och värmepump finns i Fisksätra, Nacka. Den ägs av det kommunala bostadsföretaget Nackahem. Installationen av rökgasvärmexlare beräknas vara slutförd under år 1989. Området och värmeproduktionssystemet beskrivs i *kapitel 2*.

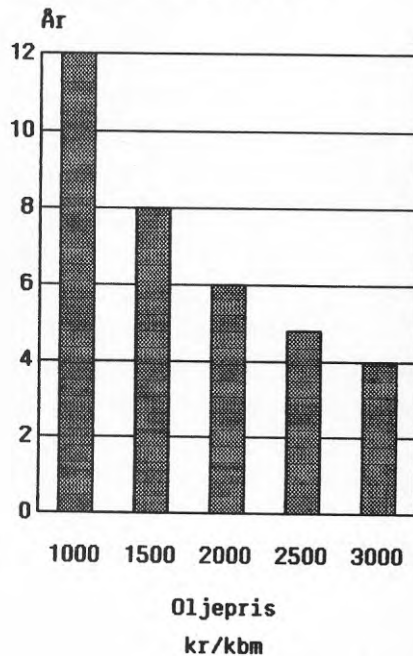
Figur S.1

Aktuella värmemängder.



Figur S.2

Rak pay off tid.



Enligt *kapitel 3* kan ca 150 kbm olja sparas årligen. Aktuella värme- mängder finns inlagda i ett varaktighetsdiagram för områdets värme- behov, figur S.1. Som framgår av *kapitel 5* blir installationens lönsam- het kraftigt beroende av oljepriset. Ett pris på 2.000 kr/kbm ger en rak pay-off tid på 6 år, vilket torde vara längsta acceptabla, jämför figur S.2.

De miljötekniska effekterna behandlas i *kapitel 4*. Där framgår att sva- velutsläppet kan förväntas minska med 20 %, eller totalt 2,7 ton/år, och stoftutsläppen med minst 50 %, eller ca 500 kg/år. Reduktionen av tungmetaller torde ligga i intervallet 20–50%. Dessa föroreningar upptas av utkondenserat vatten. Vattnet måste därför behandlas; med pH- justering, flockning och slamavskiljning, innan det lämnar pann- centralen.

I *kapitel 6* beskrivs ett förslag till mätprogram för kontroll av verkliga prestanda och reningseffekter. Beroende på ambitionsnivån uppskattas kostnaden till mellan 200 och 300 tkr. Därtill kommer kostnaden för själva utvärderingsarbetet.

## 1. INLEDNING.

Det ökande miljömedvetandet i dagens samhälle ställer krav på ekonomiska metoder för energibesparing och miljöförbättring vid värmeproduktion. En stor andel av värmeproduktionen sker vid förbränning av fossila bränslen, ved och sopor. Beroende på bränsleslag fås varierande sammansättning av ämnen i de rökgaser som tillförs omgivningen vid förbränningen. Exempel på typiska ämnen är SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, klorider, tungmetaller och diverse stoftpartiklar. Olika metoder finns att rena rökgaserna/avgaserna, vanligen genom tillförelse av kemikalier. Mestadels är dessa metoder praktiskt och ekonomiskt genomförbara endast vid stora anläggningar.

Genom att via värmeväxling sänka rökgasernas/avgasernas temperatur kan en viss energibesparing fås. Den värme som fås ur rökgaserna tillförs då vanligen vattnet i en värmekulvert eller förbränningsluft. Härvid minskar förbränningen av bränsle i motsvarande grad, varför en viss emissionsminskning uppnås. Om konventionella material används i värmeväxlaren blir dock effekten ringa,  $\leq 5\%$ . Vid större nedkylning av rökgaserna börjar nämligen ämnen vilka orsakar kraftig korrosion kondensera. Vid exempelvis oljeeldning fås utfällning av korrosiva svavelöreningar vid ca 130°C.

En kraftig energibesparing (10–20%) kräver nedkylning under aktuell daggpunkt för det vatten som finns i gaserna. Denna temperatur varierar för olika bränslen. Vid oljeeldning ligger daggpunkten vanligen kring 45°C, för fuktiga träbränslen vid ca 60°C. En så kraftig temperatur-sänkning ger stora korrosionsproblem men ger samtidigt möjlighet till en intressant utfällning av för miljön skadliga ämnen.

Flera allmänna studier om rökgaskondensering finns utförda, t ex BFR: R138:1985. En del installationer har utförts av olika slag och från vissa finns även mätdata redovisade. Den applikation som behandlas i denna rapport är oljeeldade gruppcentraler kompletterade med uteluftvärmepumpar med indirekt värmeupptagning.

Det kommunala bostadsföretaget Nackahem i Nacka har installerat en stor uteluftvärmepump i sin panncentral i Fisksätra. Den togs i drift vid årsskiftet 1987/88. I samband härmed har möjligheterna att utnyttja värmepumpen för rökgaskondensering diskuterats. För att ta fram beslutsunderlag för en sådan installation har denna förstudie/förprojektering genomförts. Arbetet har således varit inriktat på en snabb och konkret fortsättning av projektet.

För att säkerställa den miljötekniska kompetensen har Lars-Erik Glas från Kemiinformation AB, Stockholm, knutits till projektet.



## 2. ANLÄGGNINGSBESKRIVNING.

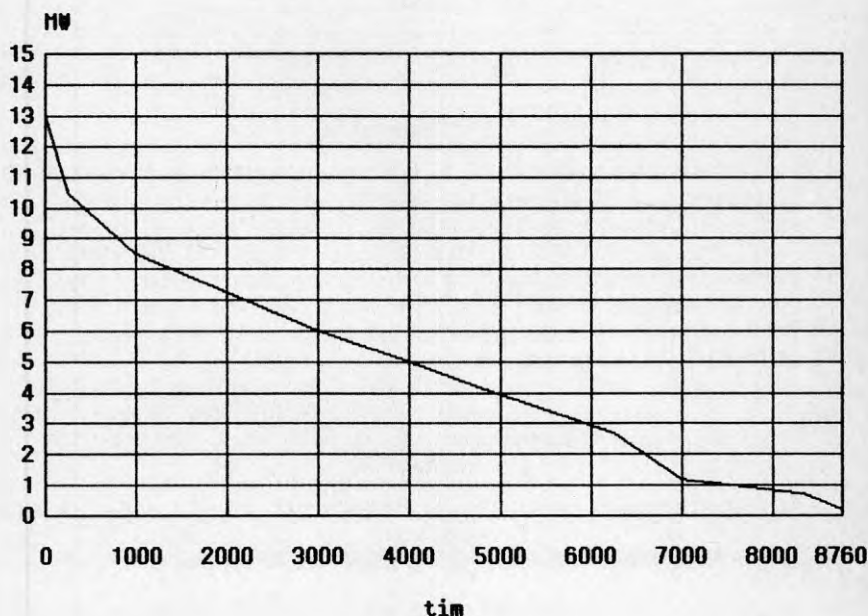
### 2.1 Området.

Fisksätra panncentral betjänar ca 2.500 lägenheter, 3 skolor och ett affärscentrum. Värmen produceras i 3 oljepannor, 2 avkopplingsbara elpannor och en värmepumpanläggning (hösten 1987). En oljepanna på 7 MW har bytts under 1987. Totalt årsvärmebehov är ca 41 GWh.

Områdets värmebehov framgår av varaktighetsdiagrammet, figur 2.1. Där finns också värmeleveranserna från värmepump, oljepannor och den tilltänkta rökgasvärmeåtervinningen markerade.

Figur 2.1

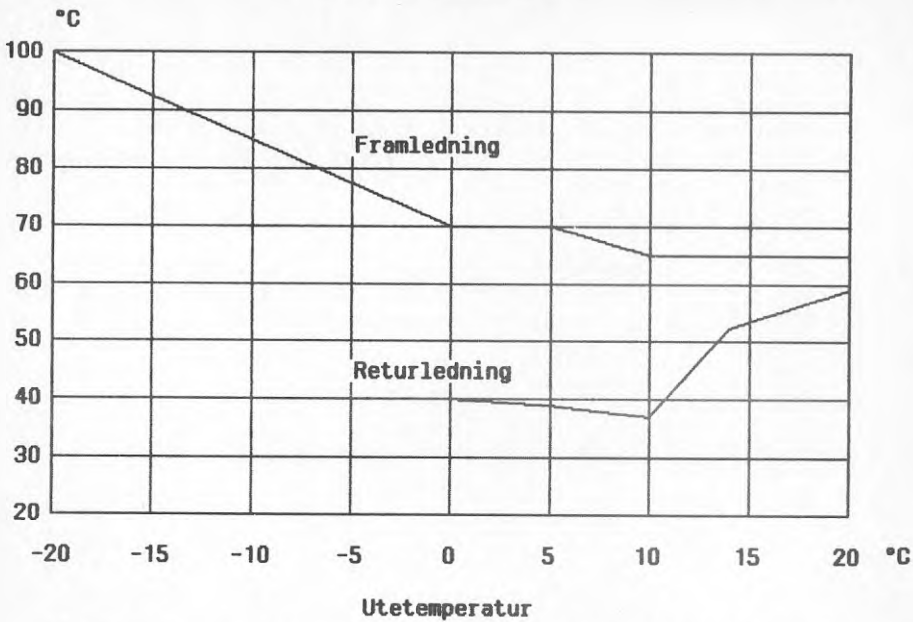
Värmebehovets varaktighet.



### 2.2 Värmepumpen.

Värmepumpen är uppbyggd kring två skruvkompressoraggregat typ STAL VSP73EC. Som värmekälla används uteluft ur vilken värme upptas indirekt via kylbatterier placerade på maskinhusets tak. Köldbärare är CaCl<sub>2</sub>, vilken uppvisar goda egenskaper vid låga temperaturer. Värme-systemets temperaturnivåer, se figur 2.2, möjliggör användning av R22 i ett av aggregaten. I det andra krävs R12 för att säkerställa tillräckligt hög framledningstemperatur.

## Kulverttemperaturer.



Vid balanstemperaturen  $\approx +8$  °C är effektbehovet drygt 4 MW och vid utetemperaturen 0 °C beräknas värmepumpen avge ca 3,4 MW värme till nätet. Den planeras tas ur drift vid utetemperaturer under  $-10$  °C, vilket innebär ett avsiktligt stopp på ca 250 timmar/år. Vid installation av rökgasvärmväxlare kan dock värmepumpen med reducerad kapacitet utnyttja rökgaserna som enda värmekälla vid låga utetemperaturer. Totalt kommer värmepumpen att årligen avge ca 23 GWh värme, motsvarande 55 % av behovet.

### 2.3 Rökgasvärmväxlare.

All utrustning för nedkyllning av rökgaser från oljepannorna placeras parallellt med befintliga rökgaskanaler. Härigenom säkerställs driften även vid eventuella störningar på nyinstallerad utrustning.

Rökgaskylningen dimensioneras för att kunna hantera rökgaserna från den nyinstallerade pannan vid full effekt, 7 MW.

Två stycken värmväxlare installeras. I den första avges värme direkt till värmekulverten, i den andra är köldbäraren kylmedium. Kondensation av vatten sker i växlare nummer två varför den måste vara utförd i korrosionssäkert material. Den första växlaren kan däremot tänkas utförd i enklare material. Då måste en shuntkrets installeras för att säkerställa tillräckligt hög temperatur på kylvattnet i alla driftfall. I den systemuppbyggnad som beskrivs nedan har dock även denna växlare

utförts korrosionssäkert för maximal värmeavgivning direkt till kulvertnätet.

#### 2.4 Systemuppbyggnad.

Ett förslag till systemuppbyggnad visas i figur 2.3. Den är, i syfte att framhäva det här centrala, starkt förenklad. Särskilt bör påpekas att kylbatterierna är uppdelade i flera grupper, vilka avfrostas i sekvens. Om skäl finns för att rörtekniskt separera rökgassidan helt från värme-pumpsystemet kan en mellankrets med förslagsvis glykolblandat vatten installeras. Detta komplicerar och fördyrar givetvis anläggningen.

Fläkten F12 kompenserar tryckfallet över de bägge växlarna VVX41 och VVX21. Den kan installeras före eller efter växlarna. Placeras den före växlarna kan den utföras med konventionellt material, placeras den efter måste den vara i korrosionssäkert material. Om befintlig fläkt F11 klarar det extra tryckfallet, t ex efter uppvarvning, och värmeväxlarna kan arbeta under övertryck på gassidan kan givetvis F12 slopas. Rökgasflödet styrs av reglercentralen RC11. Den styr spjället SP11 så att en viss överhettning, =10 °C, uppnås. Om gasen efter växlarna är mättad finns nämligen risk för kondensutfällning i skorstenen. Eventuellt förses RC11 med ett visst maxvärde för temperaturen efter växlarna där tillräcklig överhettning är garanterad för aktuellt bränsle, här ca 60 °C. Spjället SP12 är försett med motvikt så att det öppnar automatiskt vid ett ökat tryckfall i värmeväxlarslingan.

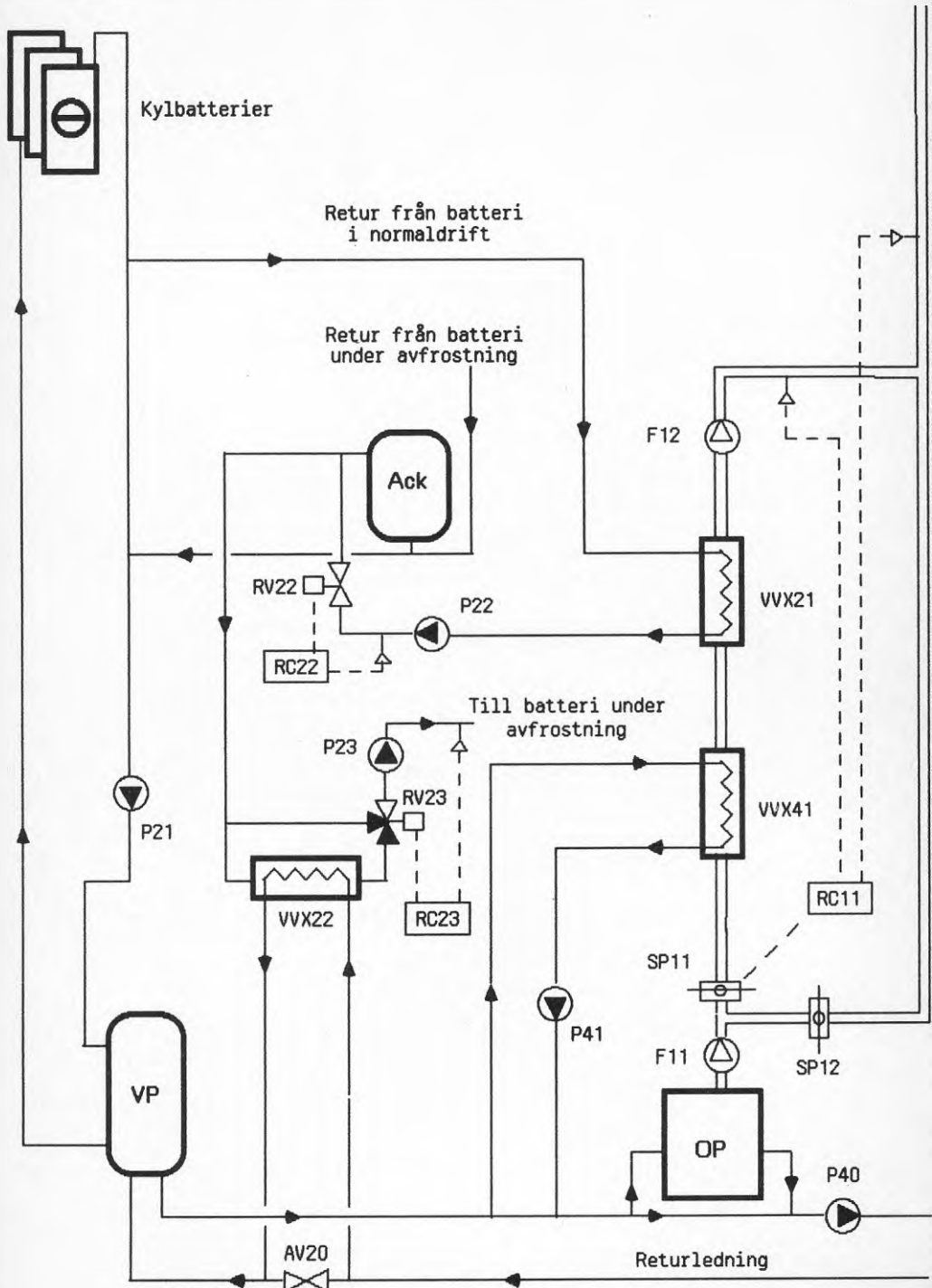
Utgående rökgastemperatur varierar mellan ca 30–60°C beroende av rökgasernas fukthalt och flöde samt kylmediernas temperaturer.

Pumpen P41 är kontinuerligt i drift. Eftersom även VVX41 är korrosionssäkert utförd kan syrautfällning ske utan risk.

I VVX21 avger rökgaserna värme direkt till köldbäraren. Pumpen P22 går kontinuerligt men flödet genom växlaren styrs så att utgående temperatur, GT22, hålls konstant på t ex 60 °C. Då köldbärare hela tiden tas direkt från kylbatteriernas utlopp säkerställs största möjliga temperaturdifferens i rökgasvärmeväxlaren.

Vid avfrostning startas pumpen P23. Varm köldbärare tas då från ackumulatorns topp och tillförs kylbatterierna. Ackumulatorn fylls på underifrån med köldbärare som använts för avfrostning. Dess temperatur är högre än köldbärare från kylbatterier i normaldrift. För att principen skall fungera väl krävs att en god temperaturskiktning kan åstadkommas i ackumulatorn. Den måste därför specialkonstrueras för detta syfte. Om ackumulerad värmekapacitet är otillräcklig styr RC23 köldbärare genom VVX22. Ventilen AV20 hålls stängd varför värme kan tas från värmekulvertens returledning på konventionellt sätt.

Figur 2.3. Principskiss av systemuppbyggnad.

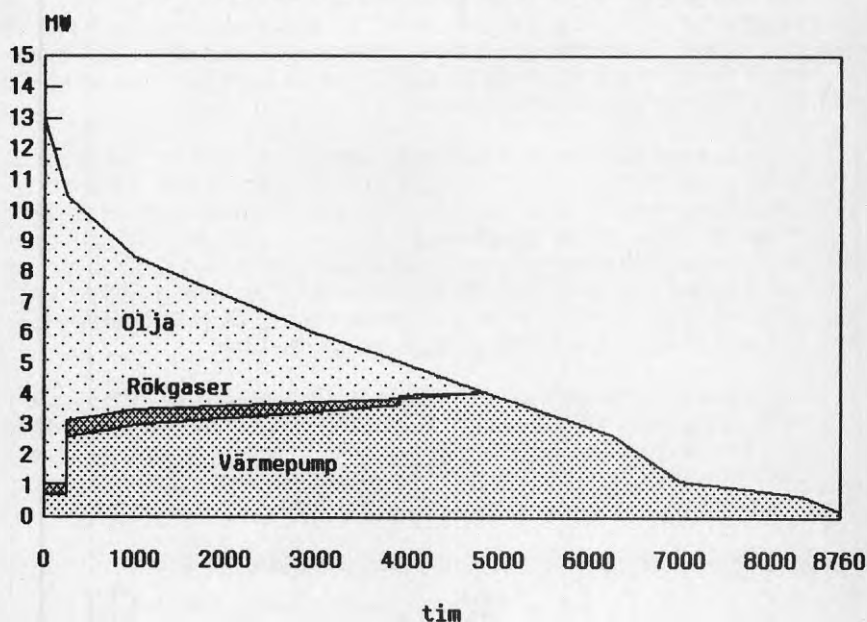


### 3. VÄRMETEKNISKA KALKYLER.

På basis av tillgänglig statistik har ett varaktighetsdiagrammet för områdets värmebehov framtagits, se figur 2.1. Genom att i detta lägga in aktuella värmeproducerande apparaters effekt kan årligt energiutbyte från dem beräknas. Energimängderna från oljepannor, rökgasvärmeväxlare och värmepump finns inritade i figur 3.1.

Figur 3.1

Varaktighetsdiagram med energimängder inlagda.



Med ca 650 kW maximal effekt från rökgasvärmeväxlarna kan ungefär 1,55 GWh/år fås ur dem. Denna energi kan nyttiggöras på följande sätt:

- för avfrostning
- köldbärarens returledning
- värmekulvertens returledning
- förvärmning av förbränningsluft

En förutsättning för att kunna tillvarata en stor andel av rökgasvärmem,  $\geq 10\%$ , är en mycket låg temperatur på det värmeupptagande mediet. För att inte värmeväxlarytorna ska bli oekonomiskt stora bör kylmediets temperatur inte överstiga 10 a 20 °C. Detta krav uppfylls med alternativ a och b samt till viss del av alternativ d. Vid förvärmning

av förbränningsluft kan dock endast en mindre effekt överföras vid låg temperatur.

Ur termodynamisk synpunkt är alternativ b sämre än övriga, då värmen tillförs värmepumpens kalla sida. En tillförsel av 100 kW värme motsvarar en höjning av köldbärareturen med knappt 0,3°C, vilket ökar värmepumpens värmeavgivning med 20 kW eller 0,5 % och dess värmefaktor med 0,01 enheter eller 0,5 %. Dessutom kommer en ökad temperatur på köldbäraren att något reducera behovet av avfrostning och förlänga värmepumpens drifttid vid låga utetemperaturer.

Samma temperaturhöjning kan också fås med större kylbatteriyta. En jämförelse med här aktuella förhållanden visar att 100 kW värme från rökgaserna till köldbäraren motsvarar en ökning av kylbatteriernas kA med ca 6%. Observera att en sådan jämförelse är unik för varje anläggning, beroende på ursprunglig dimensionering, varför inga generella slutsatser får dras av detta resultat.

I första hand bör således rökgasernas värme utnyttjas för förvärmning av värmekulvertens returledning. Därefter nyttjas värmen för avfrostning av värmepumpens kylbatterier. Kombinationen uteluftvärmepump/rökgaskondensering är uppenbarligen speciellt gynnsam. När avfrostningsbehovet ej räcker för att tillvarata all värme "dumpas" värme till köldbäraren. Förvärmning av förbränningsluften kan givetvis också övervägas, det kräver dock extra investeringar. I de fall förbränningsluften ändå skall värmas blir dock merkostnaden liten.

Den exakta fördelningen av värme till returledning, för avfrostning samt eftervärmning av köldbäraren är svårbestämbar. Ett av huvudmålen med projektet är ju att bestämma denna med mätningar. För den ekonomiska bedömningen förutsätts dock nyttan av installationen jämföras med en besparing av 1,4 GWh, motsvarande 150 m<sup>3</sup> olja.

#### 4. MILJÖTEKNISKA EFFEKTER.

##### 4.1 Rökgasemission.

Eldningsoljorna 3–5 får i Sverige innehålla maximalt 1% svavel och oljebolagen uppger att halten normalt är 0,8–1%. Enligt tillgängliga analysresultat är halten ofta ganska nära 1%. Den genomsnittliga densiteten för eo4 ls är ca 0,95 och vid 1% svavel i oljan blir då utsläppet ca 0,95 ton/100 m<sup>3</sup> olja. Vid oljeförbrukningen 1.500 m<sup>3</sup> blir alltså svavelutsläppet ca 14 ton/år.

En kalkyl av stoftutsläppet blir osäker eftersom det är beroende av såväl pannornas kondition och skötsel som oljekvaliteten. Från en bra anläggning är stoftutsläppet normalt 0,5–1 kg/m<sup>3</sup> olja eller 50–100 kg/100 m<sup>3</sup>. Vid oljeförbrukningen 1.500 m<sup>3</sup>/år blir stoftutsläppet 750–1500 kg/år. Därtill kommer dock ofta relativt stora mängder stoft vid sotning.

Enkla stoftavskiljare som vissa typer av cykloner och snedställda plåtar reducerar främst stoftutsläppet vid sotning medan de vid drift endast har en avskiljningsgrad på 10–20%.

##### 4.2 Reningseffekter vid rökgaskondensering.

Svavelutsläppet minskas huvudsakligen genom att svaveltrioxiden i rökgaserna till 80 å 90% absorberas i kondensatet. Däremot absorberas svaveldioxiden i mycket liten omfattning enligt tillgängliga mätresultat. Totalt kan man räkna med ca 10% lägre svavelhalt i rökgaserna efter en kondensering. Svavelutsläppet blir då ca 0,86 ton/ 100m<sup>3</sup> olja.

Om oljeförbrukningen utan rökgaskondensering är 1.500 m<sup>3</sup> kan man räkna med att förbrukningen minskat till ca 1.350 m<sup>3</sup> efter installation av rökgaskondensering. 10% avskiljningsgrad för svavel ger alltså en minskning av svavelutsläppet med  $13,5 \times 0,95 \times 0,1 = 1,28$  ton/år. Därtill kommer att utsläppet från sparade 150 m<sup>3</sup> olja bortfaller helt, dvs  $1,5 \times 0,95 = 1,42$  ton/år.

Den sammanlagda minskningen av svavelutsläppet blir alltså ca 2,7 ton/år, dvs ca 20 %.

Stoftutsläppet torde minska med åtminstone 50%. Om den befintliga rökgasreningen reducerar utsläppet med 20% blir minskningen för samma fall som ovan efter rökgaskondenseringen:

$$\text{Eldad olja: } 13,5 \times (50-100) \times 0,8 \times 0,5 = 270-540 \text{ kg/år}$$

$$\text{Inbesparad olja: } 1,5 \times (50-100) \times 0,8 = \underline{60-120 \text{ kg/år}}$$

$$\text{Totalt } 360-660 \text{ kg/år}$$

Osäkerheten är stor varför reduktionen anses ligga i intervallet 300–600 kg/år. Tillgängliga mätdata antyder att en minskning av metaller såsom bly, kadmium och kvicksilver med 20–50% kan påräknas.

#### 4.3 Kondensat.

I panncentralen finns en bassäng med ca 5 m<sup>3</sup> volym för neutralisering av sotningsvatten. Enligt uppgift sker vattensotning 1 gång/år och vattenvolymen är då ca 2 m<sup>3</sup>/panna. Hela bassängvolymen kan användas för neutralisering av kondensat under förutsättning att den tömms före sotning.

Neutraliseringen av sotningsvattnet utförs idag manuellt. Efter utförd neutralisering töms bassängen med en läns pump, eftersom ingen avloppsledning är ansluten direkt till bassängen.

Den automatiska reglerutrustningen finns inte kvar, då funktionen var otillfredsställande. Eftersom kondensvattenmängden kommer att bli ca 4 m<sup>3</sup>/dygn är det nödvändigt att installera en ny reglerutrustning samt att anordna en kontinuerlig avledning av det neutraliserade vattnet, antingen genom avrinning eller pumpning.

Vilka övriga kompletteringar som kan behövas är beroende av eventuella myndighetskrav.

Några riktlinjer från myndigheterna för behandling av vatten från kondensering av rökgaser finns hitintills ej. Detta gäller även sotningsvatten trots att vättsotning tillämpas vid ett stort antal panncentraler. Det är dock troligt att Naturvårdsverket inom en icke alltför avlägsen framtid kommer att utarbeta riktlinjer för behandling av sotningsvatten och kondensat. Därvid kommer man sannolikt att ställa samma krav på utgående vatten som man gör för avloppsvatten från verkstadsindustrier med kemisk ytbehandling. Ansvarig inom Naturvårdsverket rekommenderar också att man utformar kondensatvattenbehandlingen enligt dessa krav. Gemensamt för de två aktuella typerna av vatten är metallinnehållet.

Som nämnts tidigare är underlagen avseende metallmängderna i kondensaten bristfälliga, men det är helt klart att vissa metaller förekommer i högre halter än vad som tillåts i exempelvis avloppsvatten från ytbehandlingsverksamhet. I det här aktuella fallet eldas normalt 1.500 m<sup>3</sup> olja/år varför den genomsnittliga kondensatmängden kan bedömas bli ca 3,5 m<sup>3</sup>/dygn eller sammanlagt ca 900 m<sup>3</sup>/år. Utgående från en normalanalys av eo4 ls och med antagandet att hela metallmängden hamnar i kondensatet (den verkliga mängden är naturligtvis lägre) erhålls följande tabell.



Tabell 4.1. Metallämnen i kondensatvatten.

| Metall      | kg/1500 m <sup>3</sup><br>olja | Max konc i kondensat<br>mg/l (900 m <sup>3</sup> /år) | Troligt gräns-<br>värde mg/l |
|-------------|--------------------------------|---|------------------------------|
| Järn        | 8                              | 9   | 2                            |
| Krom        | 0,06                           | 0,07  | 1                            |
| Nickel      | 10                             | 11  | 1                            |
| Bly         | 4,6                            | 5,1   | 1                            |
| Kadmium     | 0,01                           | 0,01  | 0,1                          |
| Kvicksilver | 0,006                          | 0,007   | —                            |
| Vanadin     | 21                             | 23,3  | —                            |

Gränsvärden för kvicksilver och vanadin saknas för ytbehandlingsindustrin men det är troligt att den tolerabla halten för kvicksilver hamnar på några till 10 g/l och för vanadin på 1 mg/l. Av tabellen framgår att koncentrationerna av järn, nickel, bly, vanadin och möjligen kvicksilver i kondensatet kan bli högre än kommande gränsvärden. Med en konventionell rening, PH—justering, flockning och slamavskiljning bör man emellertid klara angivna gränsvärden.

Den befintliga bassängen bör alltså delas upp i tre—fyra sektioner:

- ph—justering
- flockning
- sedimentering
- ev pumpficka för avledning

Den största delen, ca 3,5 m<sup>3</sup>, utgörs av sedimentering, vilken sannolikt måste slamsugas 5—10 ggr/år.

#### 4.4 Närmiljön.

Värmeåtervinning med kondensering av rökgaser ger uppenbarligen lägre emission av för miljön skadliga ämnen via skorstenen. Trots detta finns skäl att studera påverkan på närmiljön utgående från det faktum att rökgaserna är kraftigt nedkylda.

Temperaturens (deplacementkraftens) inverkan på kashöjden är liten jämfört med hastighetens (rörelsemängdens), 5—10%, dvs i praktiken försumbar. Detta gäller vid konstant utloppshastighet.

Totalt kan en förbättrad närmiljö förväntas eftersom:

- totala oljeförbrukningen minskas,
- ett väsentligt lägre utsläpp fås av svaveltrioxid, vilken är mer löslig i vatten än svaveldioxid och därför först faller ut,
- stoftemissionen minskar väsentligt, vilket är extra intressant då stoftpartiklar tjänar som kondensationspunkter,

- varma rökgaser "drar åt sig" vatten från omkringliggande luft, vilket sedan kondenserar.

### 5. EKONOMI.

Följande ekonomiska kalkyl baseras på att 1,4 GWh/år, motsvarande 150 m<sup>3</sup> olja, sparas med rökgasvärmexlarna. Inverkan från tidvis förhöjd köldbärartemperatur och förlängd drifttid för värmepumpen är svårkalkylerbar. Dessa effekter får studeras med mätningar.

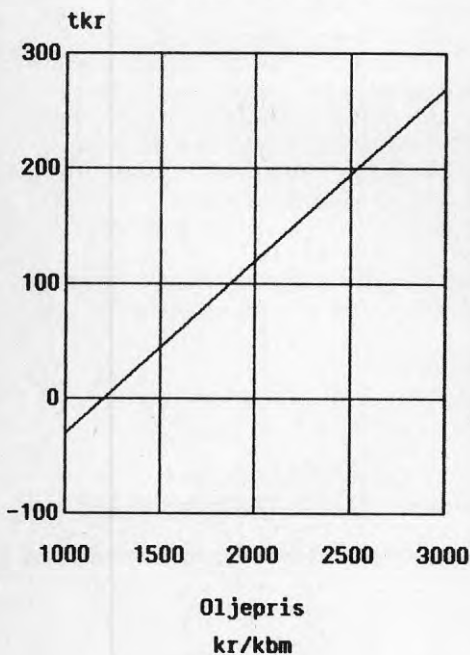
Total investeringskostnad är kalkylerad till 1,8 Mkr. För jämförelse med andra projekt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv görs en realränteberäkning med 6 % ränta. Annuiteten blir då med 20 års kalkylperiod  $a = 0,087$ . Om 1,3 % tillförs för service och underhåll fås  $a = 0,10$ , dvs en årskostnad på 180.000 kronor.

Vinsten från oljebesparingen är naturligtvis direkt beroende av oljepriset. Vid 1.500 kr/m<sup>3</sup> blir årlig energivinst 225.000 kr, vid 2.000 kr/m<sup>3</sup> blir den 300.000 kr och vid 2.500 kr/m<sup>3</sup> 375.000 kr. I figur 5.1 redovisas årligt överskott och i figur 5.2 rak pay off tid, bägge som funktion av oljepriset.

Bedömningen av framtida oljepris blir mycket osäker. Varje beslutsfattare måste själv värdera detta och då väga in de lokala miljövinster.

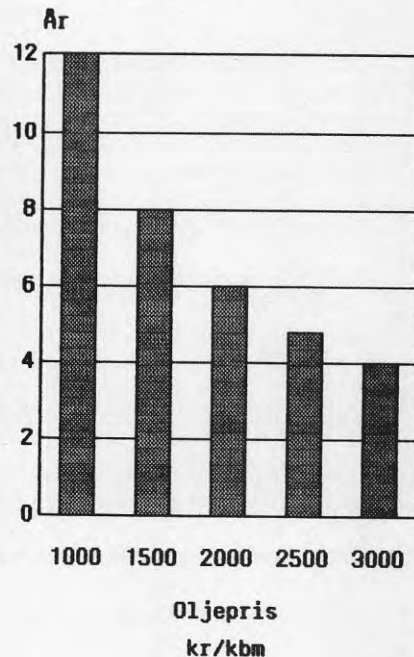
Figur 5.1

Årligt driftöverskott.



Figur 5.2

Rak pay off tid.



## 6. MÄTPROGRAM.

### 6.1 Allmänt.

Utfallet av installationen måste kontrolleras, dvs ett mätprogram med vars hjälp intressanta data insamlas och lagras genomförs. Den slutliga utformningen av mätprogrammet kan fastställas först då installationens exakta utformning är helt klar samt de ekonomiska ramarna är kända. Ansvarig utvärderare måste också självfallet kunna påverka mätprogrammet. Vad nedan skrivs skall därför tolkas som en bas och ett förslag inför fortsättningen.

### 6.2 Värmetekniskt mätprogram.

För den värmetekniska utvärderingen krävs mätning av temperaturer, flöden, drifttider samt eventuellt effekter och lägen. För en del mätstorheter kan en kontinuerlig mätning och lagring motiveras, medan andra måhända endast mäts vid vissa tillfällen. Då en begagnad datorutrustning finns tillgänglig för insamling och lagring kan kontinuerlig mätning ske till reducerad kostnad.

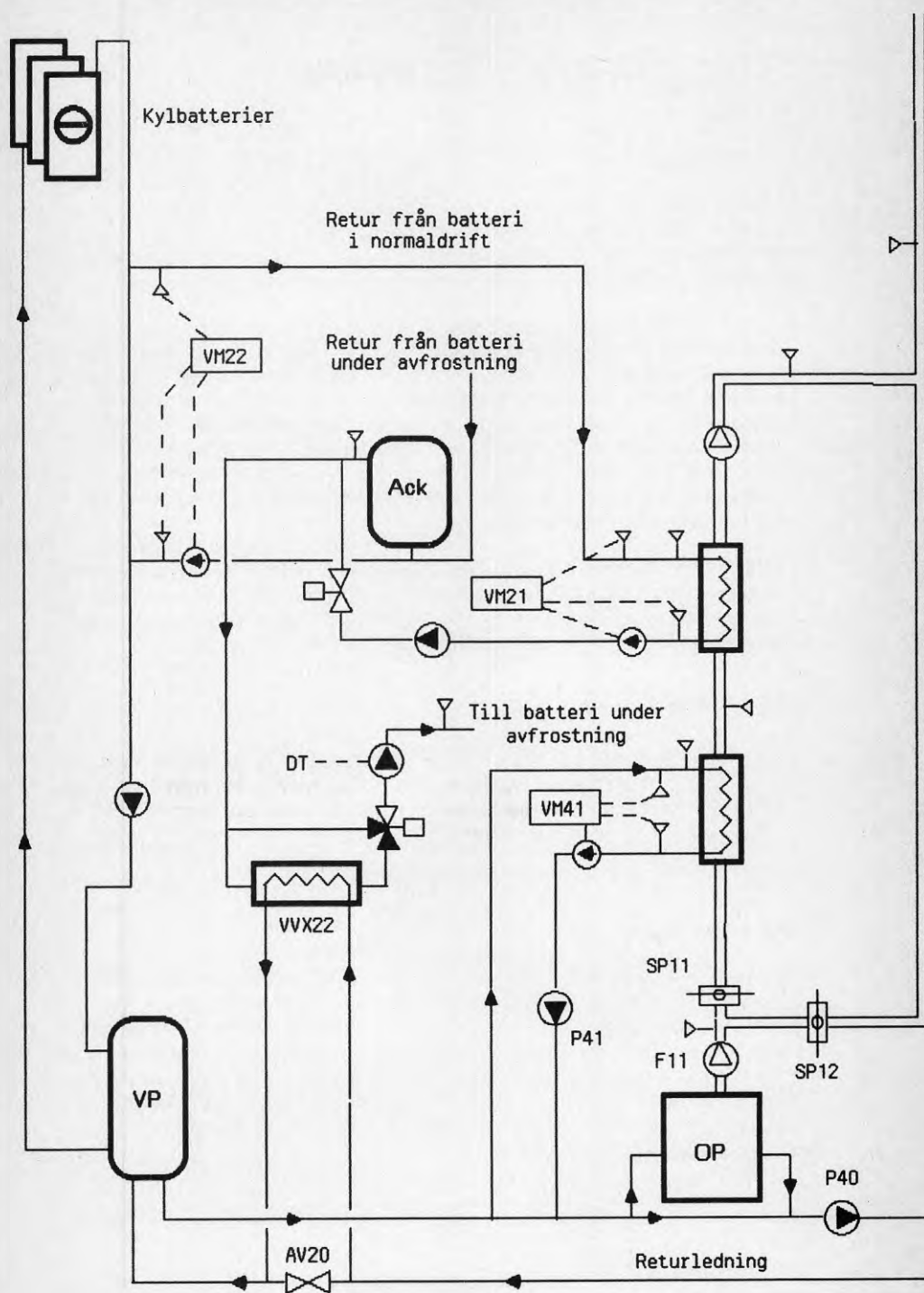
I figur 6.1 har ett antal intressanta mätstorheter markerats i principkopplingsschemat. Det handlar om åtta absoluta temperaturer och tre värmemängder. Dessutom bör drifttiden för pumpen P23 samt något spjäll- eller ventilläge registreras. Eventuellt mäts även från värmekulverten för avfrostning tillfört energi. Härvid kan möjligen befintlig flödesmätare utnyttjas. Fler temperaturer kan tillkomma om man vill överbestämma någon delprocess eller vill studera avfrostningsförloppet mer detaljerat. Temperaturerna föreslås bli mätta med resistansgivare typ Pt-100, vätskeflöden med flödesgivare av induktiv typ. Rökgasflödet genom växlarna kan mätas med t. ex. mätfläns eller pitotrör. Det kan också beräknas med en värmebalans över den första rökgasvärmväxlaren, där värmetransporten sker utan kondensation.

Med föreslaget mätprogram kan en fullständig bild av rökgas kylningens effekt fås. Man kan fastställa ur rökgaserna uttagen värme samt hur denna energi används i systemet.

### 6.3 Miljötekniskt mätprogram.

Installationen av anläggningen för rökgas kondensering skall följas upp med mätningar av föroreningsutsläppen. Rökgas kondenseringen innebär att en del av rökgasernas föroreningsinnehåll överförs till condensatet. Detta kommer att renas i den befintliga bassängen för uppsamling av sotningsvatten. Bassängen skall för detta ändmål delas upp i sektioner och förses med viss maskinell och elektrisk utrustning.

Figur 6.1. Förslag till placering av mätutrustning.



Miljöeffekterna av installationen kan bestämmas med följande provtagningar, mätningar och analyser:

- på condensatet före och efter rening
- på rökgaserna före och efter rening
- på oljan

Om provtagningar och flödesmätningar utförs samtidigt på samtliga punkter skall teoretiskt sett en fullständig materialbalans kunna göras på de analyserade parametrarna. Erfarenheterna från tidigare sådana försök är dock tyvärr nedslående. Trots ambitiöst upplagda program och stora kostnader har differenserna varit mycket stora med avseende på återfunna mängder av såväl stoft, metaller, kväveoxider som svavel.

Vad gäller stoft och stoftbundna föroreningar föreligger de största osäkerheterna vid gasprovtagningarna, vilka av tekniska skäl endast kan ske under relativt korta perioder. Halter av svaveldioxid och nitrosa gaser kan emellertid mätas kontinuerligt med relativt stor säkerhet. Kostnaderna för dessa mätningar blir dock höga om de skall ske under längre tid med samtidig mätning av rökgasflödena.

Provtagning och flödesmätning på condensatet kan dock utföras med stor säkerhet i den planerade anläggningen.

Provtagningar och mätningar utförs förslagsvis under två veckor. Tidpunkterna väljes så att såväl låglast- som höglastperioder undersöks. Dessutom bör varje mätperiod läggas så att den täcks av en och samma oljeleverans för att minimera antalet oljeanalyser.

### **6.3.1 Bränsle.**

Varje leverans av olja bör analyseras på: kol (C), väte (H), svavel (S), järn (Fe), krom (Cr), nickel (Ni), bly (Pb), kadmium (Cd), kvicksilver (Hg), vanadin (V) och zink (Zn).

Bränsleförbrukningen skall mätas och registreras kontinuerligt under mätperioderna, varför en oljeflödesmätare erfordras.

### **6.3.2 Kondensat.**

Provtagningen genomförs dygnsvis. Kondensatvattenflödet mäts kontinuerligt och registreras. Provtagning skall ske med automatiska, flödesstyrda provtagare, dels på obehandlat kondensat, dels på utgående renat kondensat. Antalet dygnsprover blir alltså 2 x 5 st. Dessa analyseras med avseende på: pH, suspenderade ämnen (SA), glödgningsrest, ledningsförmåga, järn (Fe), krom (Cr), nickel (Ni), bly (Pb), kadmium (Cd), kvicksilver (Hg), vanadin (V), zink (Zn), nitrit (NO<sub>2</sub>), nitrat (NO<sub>3</sub>), sulfid (SO<sub>3</sub>) och sulfat (SO<sub>4</sub>).

### ***6.3.4 Rökgaser.***

I rökgaserna kan halterna av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>), kväveoxider (NO<sub>x</sub>), koldioxid (CO<sub>2</sub>) och kolmonoxid (CO) följas i kontinuerligt mätande instrument. Dessa visar halterna i volymsandelar. Eftersom halten av SO<sub>2</sub> är av storleksordningen några hundra ppm måste bestämningarna av rökgasflöden, temperatur och fuktighet göras mycket noggrant. Analyser av NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> och CO bör utföras för att kontrollera förbränningen.

SO<sub>3</sub> mätes med en SO<sub>3</sub>-kollektor, dvs genom kondensering. Av praktiska skäl blir bestämningen intermitterant.

Stoftprovtagning sker genom isokinetisk avsugning av rökgaser genom kvartsfiberfilter. Sond och filter är uppvärmda. Efter filtret kyls gasen och torkas.

För bestämning av metallerna kvicksilver (Hg), bly (Pb), och kadmium (Cd) uttages delgasflöden från stoftprovtagningen. De leds sedan genom tvättflaskor för absorption.

Vid provtagningarna av SO<sub>3</sub>, stoft och metallerna mätes provgasvolymerna med rotameter. Gasprovtagningen utförs samtidigt med kondensatprovtagningen, dvs under två skilda veckor. Provtagningarna med avseende på stoft, SO<sub>3</sub> och metaller utförs en gång/dag under de två veckorna.

### **6.4 Kostnader.**

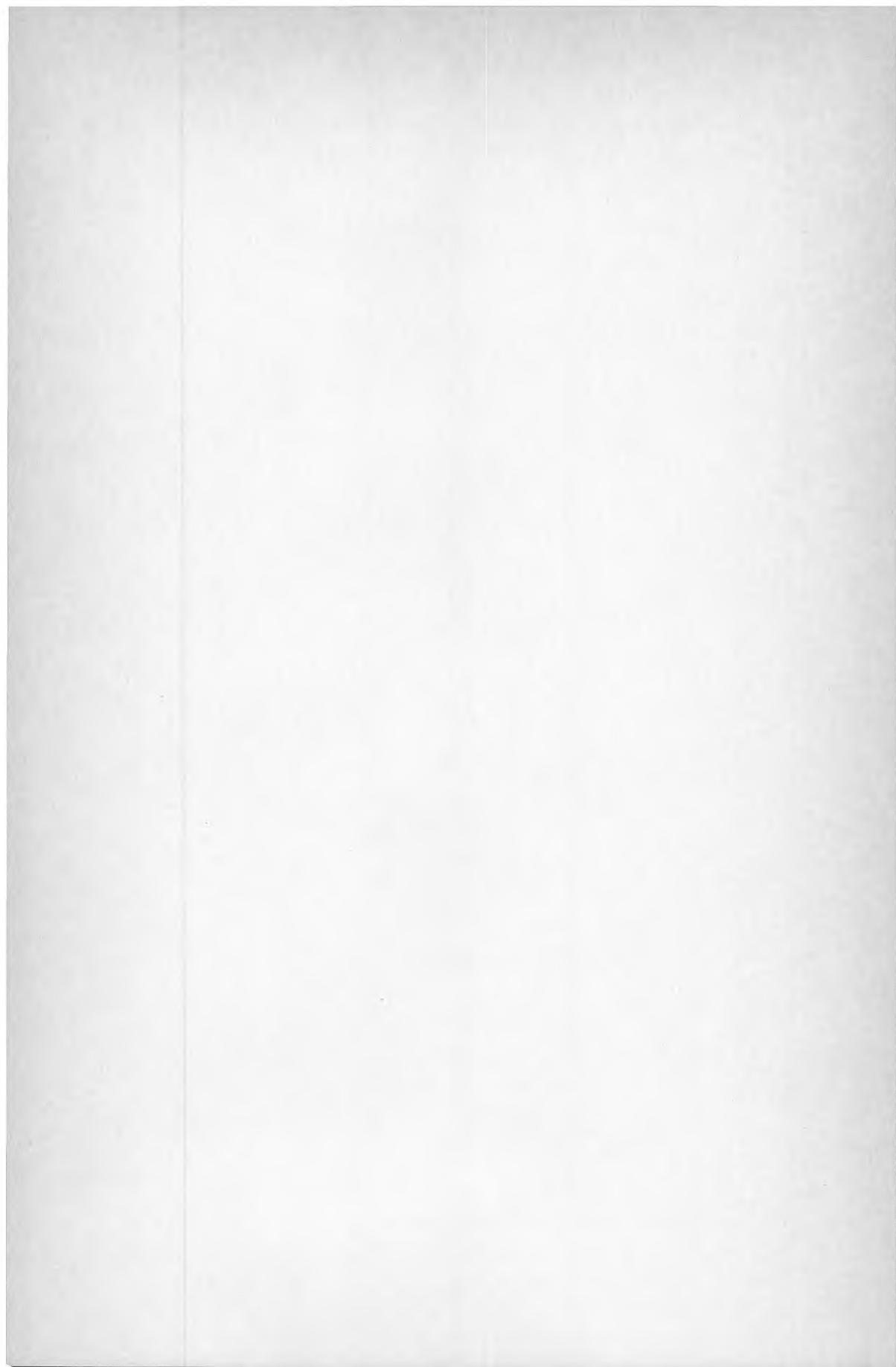
Ett mätprogram enligt ovanstående omfattning bedöms kosta:

- Värme. Installation av angivna mätgivare inklusive inkoppling till befintlig dator, ca 120 tkr.
- Bränsle. Oljeanalyserna har uppgetts kosta ca 2.000:– per analysomgång. Antalet erforderliga analyser beror på oljetankarnas storlek.
- Kondensat. Provtagningar och analyser ca 45.000:–  
Hyra av instrument ca 5.000:–
- Rökgaser. Provtagningar och analyser ca 100.000:–.  
Då ingår samtidig provtagning och mätning före och efter kondenseringen. Kostnaden minskas med ca 30.000:– om provtagningen i stället sker växelvis före och efter kondenseringen. Därvid inför man dock risken för ett större fel vid beräkning av reningseffekterna.  
Ett annat alternativ är att begränsa mätningarna till en vecka, varvid kostnaderna i stort sett halveras.

Totalkostnaden är således ca 270.000:–. Om provtagningarna i rökgaserna begränsas till stoft och metaller kan dock en betydande kostnadsreducering uppnås. Totalkostnaden blir i så fall ca 200.000:–.

Eftersom mätningar av  $SO_2$ ,  $SO_3$  etc i rökgaser är besvärliga och resultaten ofta diskutabla, är det måhända klokt att koncentrera ansträngningarna till bränsle- och kondensat- analyser.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860729-7 från Statens råd för byggnadsforskning till Skandinavisk Termoeekonomi AB, Stockholm.**

**R91: 1989**

**ISBN 91-540-5083-9**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6709091**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna**

**Cirkapris: 33 kr exkl moms**