



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.



## Värmepumpar för flerbostadshus

Förstudie: 750 lägenheter i Minneberg,  
Stockholm

Gunnar Berkowicz, m fl

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	80-1340
Plac	ser

K  
A/B

R81:1980

VÄRMEPUMPAR FÖR FLERBOSTADSHUS

Förstudie: 750 lägenheter i Minneberg, Stockholm

Gunnar Berkowicz  
Henrik Enström  
Lars-Olof Glas  
Ole Lidbjörk

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
790324-6 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Platzer Bygg AB, Sundbyberg.

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

R81:1980

ISBN 91-540-3296-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 054239

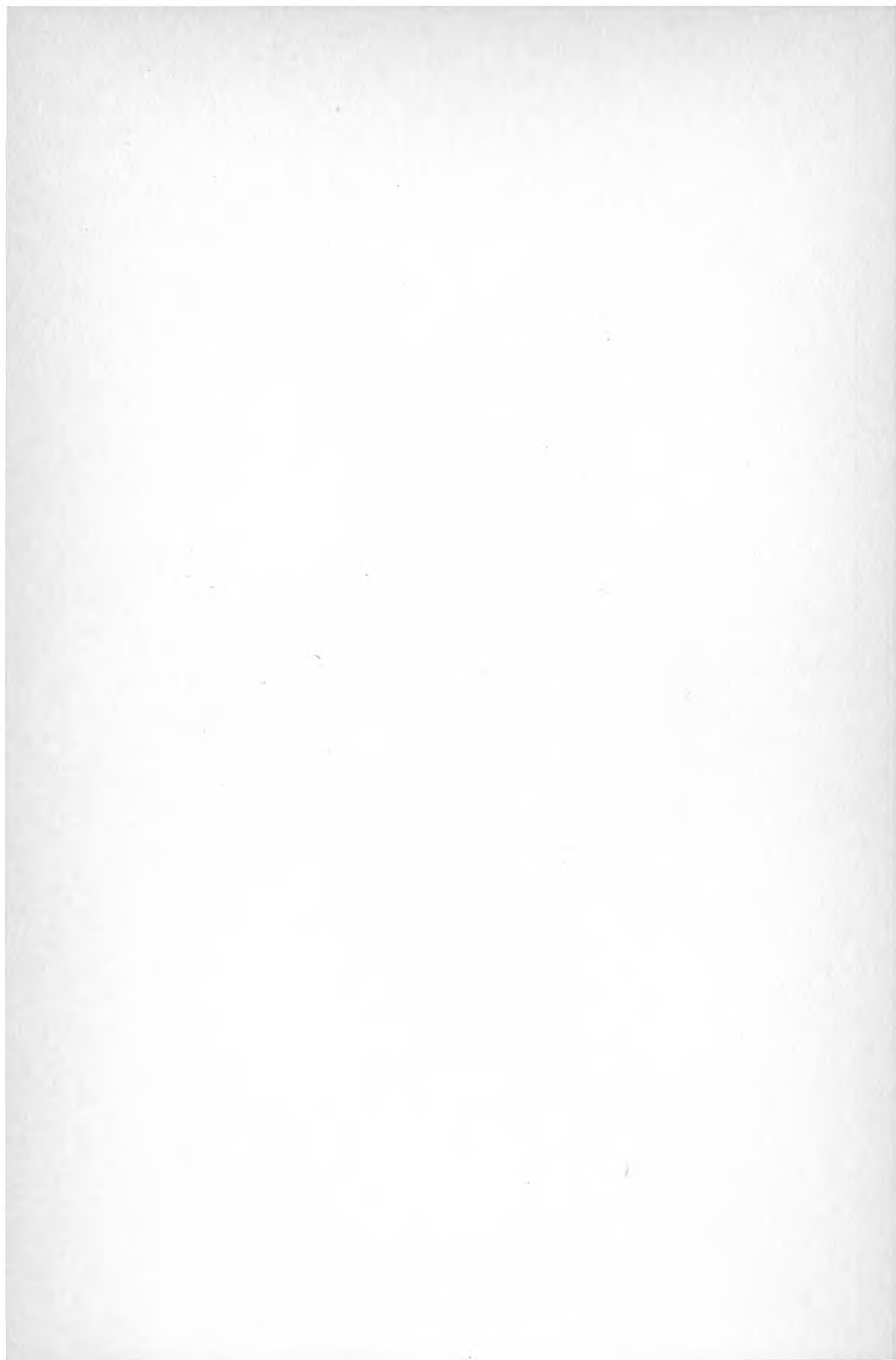
# INNEHÅLL

BETECKNINGAR . . . . .	5
SAMMANFATTNING . . . . .	7
1 INLEDNING . . . . .	13
1.1 Värmepumpens möjligheter som energisparare . . . . .	13
1.2 Minnebergsprojektet . . . . .	14
2 UTFÖRANDE . . . . .	17
2.1 Allmänt . . . . .	17
2.2 Marknadsundersökning . . . . .	17
2.3 Fortsättning . . . . .	19
2.4 Organisation . . . . .	21
3 TEKNIK . . . . .	23
3.1 Allmänt . . . . .	23
3.2 Värmebehov . . . . .	23
3.3 Värmecentralen . . . . .	26
3.4 Möjliga systemkombinationer . . . . .	28
4 EKONOMI . . . . .	39
4.1 Energipriser . . . . .	39
4.2 Anläggningskostnad . . . . .	42
4.3 Finansiering . . . . .	42
4.4 Årskostnadsjämförelse . . . . .	44
4.5 Slutsatser . . . . .	46
5 ÖVRIGA BESLUTSKRITERIER . . . . .	49
5.1 Miljöpåverkan . . . . .	49
5.2 Energitillgång . . . . .	49
5.3 Tillgänglighet . . . . .	49
5.4 Slutsatser . . . . .	50
6 LITTERATUR . . . . .	51



## BETECKNINGAR

Q	Värmeenergi	(J), (kWh)
$\dot{Q}$	Värmeeffekt	(W)
$\phi$	Värmefaktor	
$\eta$	Verkningsgrad	
t	Temperatur	(°C)
T	Temperatur	(K)
DUT	Dimensionerande utomhustemperatur	(°C)
$u_m$	Logaritmisk medeltemperaturdifferens	(°C)
A	Area	(m <sup>2</sup> )
m	Massa	(kg)
$\dot{m}$	Massflöde	(kg/s)
d	Diameter	(m)
w	Hastighet	(m/s)
$c_p$	Värmekapacitet	(J/kg °C)
$\rho$	Densitet	(kg/m <sup>3</sup> )
$\nu$	Kinematisk viskositet	(m <sup>2</sup> /s)
$\lambda$	Värmeledningstal	(W/m °C)
$\alpha$	Värmeövergångstal	(W/m <sup>2</sup> °C)
k	Värmegenomgångstal	(W/m <sup>2</sup> °C)
m	Värmemotstånd	(°C/W)
L	Längd	(m)
i	Entalpi	(kJ/kg)
Re	Reynolds tal	
Pr	Prandtls tal	
Gr	Grashofs tal	





## SAMMANFATTNING

## 1 Inledning

Sveriges oljeimport är f n 35 milj  $m^3$ /år, motsvarande en energimängd om  $\eta \times 350$ . TWh/år vid förbränning med verkningsgraden  $\eta$ . Av oljeimporten åtgår ca 38 % till lokaluppvärmning. Den totala elenergiproduktionen är ca 100 TWh/år, varav vattenkraften svarar för ca 65 %, kärnkraften för 20 % till 25 % samt oljekondens och oljeeldade mottryckskraftverk för 10 % till 15 %.

Alla energislag kan i princip användas för att driva värmepumpar. Den möjliga energibesparingen beror på sättet att framställa energi till värmepumpdriften och de värmealstrare som skall ersättas av värmepumpen. Om man antar att, i framtiden, eldrivna värmepumpar, med en genomsnittlig värmefaktor på 2,7, skulle svara för ca 50 % av lokaluppvärmningsbehovet och 10 % av industrins processenergibehov, skulle en oljebesparing på storleksordningen 10 milj  $m^3$ /år vara möjlig.

Den framtida utvecklingen är svårbedömd med hänsyn till osäkerhet om framtida energipriser, finansieringsproblem och otillräcklig erfarenhet av underhållskostnader. Det är av stor vikt att de kunskapskrävande insatserna för att utveckla värmepumpstekniken i stor skala koncentreras till ett litet antal väl genomarbetade anläggningar.

Minnebergsområdet är ett gammalt industriområde i stadsdelen Traneberg i Stockholm, som f n ägs av HSB Stockholm och Platzer Bygg AB via HB Minnebergsbyggen. Rivning av den befintliga bebyggelsen pågår och stadsplan för bostadsexploatering av området väntas bli antagen av kommunfullmäktige under våren 1980. Planen kommer att innehålla ca 750 lägenheter motsvarande ca 85.000  $m^2$  våningsyta inklusive bostadskomplement såsom barnstugor, butikslokaler etc.

Exploateringsarbetena beräknas starta under första halvåret 1981. Första inflyttning är planerad till årsskiftet 1982/83 och området kommer att vara helt färdigställt under 1984.

Projektet förutsättes finansierat med statliga bostadslån.

Stockholms energiverk har meddelat att det f n p g a geografiska svårigheter och begränsad kapacitet är omöjligt att ange när en eventuell fjärrvärmeanslutning av Minneberg kan realiseras. Detta medför att Minnebergsprojektet är ett unikt tillfälle att i stor skala pröva en värmepumpanläggning för bostadsuppvärmning.

## 2 Utförande

Forskningsprojektet är tänkt att utföras i tre steg:

1. Förstudie
2. Alternativ projektering
3. Byggnad och uppföljning.

Denna slutrapport avser steg 1, förstudien. Förstudien har syftat till att översiktligt klarlägga de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för olika värmepump-utföranden samt ge en bild av såväl den svenska som den internationella leverantörsmarknaden med avseende på anläggningar i större skala.

Litteraturstudier visar att praktiska erfarenheter av förbränningsmotordrivna värmepumpar i Sverige är obefintliga. I Tyskland och Schweiz är sådana anläggningar däremot vanliga bl a beroende på ett annat förhållande mellan el- och oljepriser än i Sverige.

Marknadsundersökning har bedrivits genom korrespondens med och besök hos på området internationellt verksamma företag. Följande fem företag har, med hänsyn till kunnande, erfarenhet och leveranskapacitet, valts ut för fortsatt samarbete:

STAL Refrigeration AB, Norrköping  
Mycom-Termofrost Energiteknik AB, Bromma  
Gebr Sultzer AG, Winterthur  
Brown Boveri Corp, Mannheim  
Linde AG, Köln.

Från företagen har erhållits principförslag till tekniska lösningar samt ungefärliga anläggningspriser.

I fortsättningen (steg 2) kommer detaljerat förfrågningsunderlag för en komplett värmepumpanläggning att utarbetas. Vidare kommer kartläggning av Ulvsundasjöns vatten- och bottensedimenttemperaturer att göras för bedömning av möjligheterna att nyttja sjövärmens som värmekälla. Lokala förutsättningar för värmeupptagning ur grundvatten, mark och berg skall bedömas.

Enligt tidplanen förestår upphandling av anläggningen i oktober 1980. Vid utvärdering av anbuderna kommer den intressantaste anbudsgivaren att presenteras en samarbetsplan för konstruktions- och genomförandeskedena för att säkerställa dels informationsutbytet och dels projektledningens samordnings- och kontrollfunktion.

I samband med upphandlingen skall fastställas ett program för leveransprovning, som alternativt kan utföras hos leverantören eller på byggnadsplatsen. I kontraktet skall ingå ett serviceavtal som garanterar driftsäkerheten och driftsekonomin de fem första åren.

Projektarbetet organiseras så att projektledaren för värmecentralen (Henrik Enström) ingår i en styrgrupp bestående av huvudprojektledaren (Ole Lidbjörk) och sakkunniga (Gunnar Berkowicz, Sven-Allan Eklund,

Lars-Olof Glas och Eric Granryd). Denna grupp kommer att till sig knyta utomstående expertis.

### 3 Teknik

En värmepump utnyttjar värmeenergi från omgivningen och "lyfter" den till en användbar nivå. Anläggningens prestanda förbättras ju mindre temperaturskillnaden är mellan värmekällan (exempelvis uteluft) och det värmemedium (exempelvis varmvatten) som erhålles från anläggningen. Resultatet kommer således att förbättras om ett lågtemperatursystem används för byggnadernas uppvärmning.

Av ekonomiska skäl kan normalt värmepumpen ej dimensioneras för hela årsenergibehovet utan ca 5 % av värmen kommer att produceras i el- eller oljepannor.

P g a anläggningens kapitalkrävande karaktär måste uppvärmningssystemet dimensioneras med stor noggrannhet om det önskade ekonomiska utfallet skall uppnås. Följande siffervärden har varit utgångspunkt för beräkning av erforderligt värmebehov:

o 750 lägenheter med 85.000 m<sup>2</sup> våningsyta

o Tappvarmvattenvärmning 600 kW medeleffekt

o Värmebehov för uteluftventilation och transmissionsvärme:  $70 \cdot (t_L - t_U) = 750$  kW där  $t_L$  = lokaltemperatur och  $t_U$  = utetemperatur.

Härur erhålles värmebehovet till 9,5 GWh/år, varav värmepumpen förutsättes leverera 95 % eller 9,0 GWh/år.

Värmepumpen beräknas uppnå en total årsvärmefaktor på 2,6.

Värmen kommer att produceras i en central anläggning och distribueras till bostadsområdet via ett kulvertnät.

Följande värmekällor berörs i förstudien och kommer att undersökas vidare under steg 2 i projektet: Uteluft, frånluft, avloppsvatten, sjövatten, grundvatten, bottensediment, mark, berg. Uteluften bedöms som mycket intressant från utvecklingssynpunkt för framtida anläggningar. Beträffande sjövattnet tyder mätningen på så låga vintertemperaturer som under + 1°C, vilket ställer stora krav på bl a förångare. Värmeutvinning genom fryssning av sjövatten är teoretiskt tänkbar men kommer att medföra stora tekniska problem då den maximala isproduktionen kan bedömas till ca 250 ton/dygn.

Som drivkälla till värmepumpen diskuteras dels elmotor och dels dieselmotor. Elmotordrivna kompressorer är standard inom kyltekniken medan erfarenheterna av förbränningsmotordrift är begränsade. För dieseldrift kan dels högvarviga motorer, typ lastbilsdieslar och dels mellanvarvsmaskiner bli aktuella. Oavsett vilken

typ som väljs blir underhållskostnaderna betydande jämfört med elmotordrift. Även ljud- och avgasproblemen kan bli svåra att bemästra vid en dieseldriven värmepumpanläggning i Minneberg.

Dieselmotordrivna värmepumpsystem bör utprovas i mindre skala i laboratoriemiljö. En eldriven anläggning i Minneberg har större utsikter att lyckas och därmed kunna driva utvecklingen framåt.

#### 4 Ekonomi

Elpriserna har i Sverige under 70-talet ganska väl följt konsumentprisindexutvecklingen medan oljepriserna under decenniets senare del ökat betydligt snabbare. Den framtida utvecklingen är givetvis svår att förutsäga, men för de ekonomiska kalkylerna har förutsatts att såväl el- som oljepriserna från nuvarande nivå kommer att stiga två procentenheter snabbare än den genomsnittliga kostnadsutvecklingen i samhället.

Anläggningskostnaden för en eldriven värmepumpanläggning för Minneberg, exklusive anordningen för tillsatsvärme har med hjälp av budgetpriser från de kontaktade företagen bedömts till 9 Mkr med en noggrannhet av ± 1 Mkr.

Finansieringsregler för stora värmepumpar finns ej inom det statliga bostadslånesystemet. Diskussioner med bostadsstyrelsen tyder dock på ett mycket positivt intresse från myndigheterna att stödja Minnebergsprojektet.

Kapitalkostnadsberäkningar för anläggningen har gjorts utifrån förutsättningen att ca 70 % av anläggningskostnaden skulle finansieras med statligt bostadslån på vilket räntan inledningsvis är 3,4 %. Avskrivningstiden har satts till 20 år vilket motsvarar den förväntade livslängden.

Såväl underhållskostnaden som energikostnaden för värmepumpanläggningen är, p g a bristande erfarenhetsvärden, svårbedömda. För underhållskostnaden har därför valts ett variationsintervall från 50.000 till 100.000 kronor per år.

Lönsamhetsbilden för värmepumpen kommer att variera avsevärt beroende på vilken den verkliga anläggningskostnaden blir och vilka driftsresultat som kommer att uppnås. Av vitalt intresse för att projektet skall kunna fullföljas med garanti för att de boende i Minneberg ej skall drabbas av högre kostnader än normalt är dock att experimentbyggnadslån beviljas för den del av anläggningen som ej ryms inom det statliga finansieringssystemet.

#### 5 Övriga beslutskriterier

Den lokala miljöpåverkan blir ofördelaktigare för

dieseldrift än för eldrift. Den totala miljöpåverkan sammanhänger med strukturen hos det svenska elproduktionssystemet men f n ger sannolikt eldrift totalt sett en mindre miljöpåverkan än dieseldrift.

En fördel med eldrivna värmepumpar är att de kan försörjas från alla typer av energikällor såsom vattenkraft, kärnkraft och bränsleeldade kraftverk.



## 1 INLEDNING

1.1 Värmepumpens möjligheter som energisparare  
Följande ungefärliga siffror är f n aktuella för Sveriges energiförbrukning:

Oljeimport  $35 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$  motsvarande  $\eta \times 350 \text{ TWh}$  utnyttjad energi vid förbränning med verkningsgraden  $\eta$ .

Elenergiförbrukning 100 TWh/år.

Den importerade oljemängden, som innefattar alla petroleumprodukter, även bensin, används till

ca 25 % för transportfordon  
ca 30 % för industriprocesser  
ca 38 % för lokalvärmning  
ca 7 % för elproduktion.

Elkraftverkens kapacitet är 26.000 MW, varav nu vid största belastning ungefärligt behövs 17.000 MW. Den största belastningen inträffar ej säkert vid den kallaste väderleken utan beror till stor del på industrins elanvändning. Överkapaciteten sjunker givetvis vid kraftverkshaverier och torrår, då vattenkraften minskar. Av elenergiproduktionen svarar vattenkraften för ca 65 %, kärnkraften för 20 till 25 % och oljekundens- och oljeeldade mottryckskraftverk för 10 till 15 %.

Värmepumpens möjligheter som energisparare i Sverige kommer att bero på en mängd faktorer såsom

- tillgängliga energikällor
- fabrikanternas förmåga att producera driftsäkra värmepumpsystem med goda värmefaktorer
- andra energisparåtgärders kostnader och effekter
- finansieringen av värmepumpinstallationen.

Alla energislag kan användas för värmepumpdrift med mer eller mindre kostsamma "omvägar". Eftersom energipriserna f n stiger mycket snabbt och kan förväntas fortsätta att göra detta, se fig 7, kommer högre installationskostnader för en given energibesparing att kunna motiveras. Den verkliga energibesparingen beror dock på sättet att framställa energin till värmepumparna och de värmealstrare värmepumparna skall ersätta. De möjliga fallen blir många. Om man exempelvis antar, att eldrivna värmepumpar efter en viss tid skulle svara för 50 % av lokalvärmningsbehovet och 10 % av industrins processenergibehov med en genomsnittlig värmefaktor på 2,7 skulle detta innebära följande

energibesparing för ett tänkbart fall:

50 % av lokalvärmningen antas vara  
 $0,5 \times 0,4 \times 400 = 80 \text{ TWh/år}$

10 % av industriprocessers energibehov antas vara  
 $0,1 \times 0,3 \times 400 = 12 \text{ TWh/år}$ .

För dessa 92 TWh/år åtgår då såsom elektrisk drivenergi 34 TWh/år. Värmepumparna antas ersätta 20 TWh/år elvärme och 72 TWh/år oljevärme. Vidare antas värmepumparnas merelenergiförbrukning 14 TWh/år komma från kraftverk eldade med inhemska bränslen såsom ved, flis och torv samt den ersatta oljevärmerna vara erhållen från pannor med verkningsgraden 75 %. Det skisserade fallet skulle sålunda innebära ett minskat bränsleimportbehov på  $72/0,75 = 96 \text{ TWh/år}$  olja motsvarande  $9,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  olja. Generella ekvationer för värmepumpens energiförbrukning av energibesparingar för olika energislag kan givetvis uppställas för godtyckliga fall. Det valda exemplet ovan torde dock icke vara orealistisk och det visar att värmepumpen har en stor energisparmöjlighet.

De största svårigheterna för värmepumpens tillämpning ligger sannolikt i finansieringen av de relativt dyrbara anläggningarna, osäkerheter i energipris- och energiförsörjningsutvecklingen samt otillräcklig erfarenhet om goda konstruktioners underhållskostnadsbehov. Fabrikanternas utvecklingsinsatser för erhållande av goda konstruktioner dämpas i sin tur av osäkerheterna i marknadsbedömningen. Det är dock utomordentligt väsentligt, att de kunskapskrävande insatserna ej sprids på många likartade konstruktioner och försöksanläggningar utan i stället koncentreras på ett litet antal väl genomtänkta typer. Otaliga misslyckanden har skett just för att för litet tid ägnats utformning och provning.

## 1.2 Minnebergsprojektet

Minnebergsområdet ligger i stadsdelen Traneberg i Stockholm. Området består huvudsakligen av en låg platå, som skjuter ut som en udde i Ulvsundasjön. Ovanför platån är terrängen starkt kuperad i en NO-sluttning för att sedan relativt plant ansluta till Margretelundsvägen i det gamla Traneberg.

Den nedre platån och sluttningssonen har varit bebyggd sedan 1850-talet, då ett glasbruk anlades. Därefter har området nyttjats för bl a karamellfabrik, gardintillverkning, benmjölsindustri m m. Större tillverkningsindustri upphörde i stort sett under 1960-talet och området har därefter hyst ett antal mindre arbetsplatser av skiftande karaktär.

Området förvärvades av Handelsbolaget Minnebergsbyggen under åren 1964 och 1965. Detta bolag ägs sedan 1975 av HSB Stockholm och Platzer Bygg AB till hälft-



ten vardera. Vid olika tillfällen, med början 1967, har försök gjorts att åstadkomma stadsplanläggning för bostadsexploatering av området. Detta har hittills stupat på bullerstörningar från Bromma-flyget. I början av 1979 uttalade emellertid Stockholms byggnadsnämnd, att man betraktar bullerfrågan som löst och nämnden gav stadsbyggnadskontoret i uppdrag att skyndsamt och i samarbete med byggherren ta fram en stadsplan för Minneberg.

Nu föreliggande planförslag förväntas bli antaget av kommunfullmäktige under våren 1980, vilket i sin tur ger möjligheter att starta exploateringsarbetena under första halvåret 1981. Planförslaget innehåller ca 750 lägenheter med tillhörande bostadskomplement såsom skola, barnstugor, butikslokaler m m. Nyexploateringen är helt koncentrerad till den nedre platån och slutningszonen. Kring en central parkanläggning är bebyggelsen grupperad i hushöjder mellan två och sju våningar med ett exploateringsstal på ca 500 rumsenheter per ha, vilket nära nog är jämförbart med traditionell innerstadsbebyggelse. Det totala yttinnehållet kommer att bli ca 85.000 m<sup>2</sup> våningsyta. Utbyggnadstiden är planerad till ca tre år, vilket innebär att området kommer att vara helt färdigställt 1984. Första inflyttning beräknas kunna ske omkring årsskiftet 1982/83.

I det exploateringsavtal som är under utarbetande och som skall reglera förhållandet mellan byggherren och kommunen förutsättes att bostäderna skall finansieras med statliga bostadslån.

Industriverksstyrelsens värmeplan för Stockholms kommun anger, att Traneberg avses försörjas med fjärrvärme. Utbyggnaden av fjärrvärmenätet för Kungsholmen planeras vara färdig under senare delen av 1980-talet. Emellertid kan Traneberg, p g a begränsad kapacitet och geografiska svårigheter, varken anslutas till Värtaverket, som bl a försörjer Kungsholmen, eller Hässelbyverket, som försörjer vissa av de västra förorterna. Traneberg kan sägas vara en svåråtkomlig ö mellan två fjärrvärmeområden, där tillgängligheten i öster begränsas av vattnet och i väster av vidsträckt villabebyggelse.

I Energiverkets remissvar på stadsbyggnadskontorets programinventering för Minneberg (S:7826) konstateras att det f n är omöjligt att ange när en eventuell fjärrvärmeanslutning av området kan realiseras.

Dessa förhållanden medför, att energifrågorna i Minneberg under överskådlig tid måste lösas internt inom området, men att det valda systemet bör utformas så flexibelt, att en eventuell framtida fjärrvärmeanslutning ej omöjliggörs.

Platzer Bygg AB har under en följd av år varit engagerad i frågor som berört energihushållning, bl a värme-pumpprojekt för enbostads- och flerbostadshus. Häri-

genom finns, såväl inom företaget som hos företaget närstående personer, den tekniska, ekonomiska och administrativa kompetensen samt den erforderliga erfarenheten att genomföra forskningsprojekt avseende alternativa uppvärmningsformer.

Dessa förutsättningar i kombination med Minnebergsprojektets storlek och läge utgör ett unikt tillfälle att i full skala och efter svenska förhållanden genomföra och utvärdera värmepumpen som ett led i lösningen på landets energiförsörjningsproblem.

## 2 UTFÖRANDE

### 2.1 Allmänt

Målsättningen med projektet är att genomföra värmepump-uppvärmning för det planerade bostadsområdet Minneberg.

Arbetsmetodiken i stort är att genomföra projektet i tre steg, nämligen

1. Förstudie
2. Alternativ projektering
3. Byggande och uppföljning.

Denna skrift omfattar rapportering av steg 1, förstudien.

Målsättningen med förstudien har varit att utföra en "feasability study" för alternativa värmepumputföranden med avseende på teknik och ekonomi samt att kartlägga den internationella leverantörsmarknaden med avseende på referensanläggningar samt för detta projekt passande maskinutrustningar och leveransomfattningar.

I förstudien har medverkat:

Gunnar Berkowicz  
Sven Allan Eklund  
Henrik Enström  
Lars-Olof Glas  
Ole Lidbjörk  
Nils Råmbin.

### 2.2 Marknadsundersökning

#### 2.2.1 Litteraturstudier

Som ett led i ovannämnda "feasability study" har en litteraturgenomgång gjorts avseende beskrivningar av internationella större värmepumpanläggningar. Särskilt har beskrivningar av och utredningar om förbränningsmotordrift studerats. Se bifogade litteraturförteckning, kapitel 6.

Litteraturstudierna visar att praktiska erfarenheter av förbränningsmotordrivna värmepumpar i Sverige är obefintliga. I Tyskland och Schweiz finns däremot åtskilliga sådana anläggningar beskrivna. En av anledningarna till detta är att prisförhållandet mellan elektricitet och förbränningsmotorbränslen i dessa länder väsentligt skiljt sig från motsvarande prisförhållande i Sverige.

Förbränningsmotordrivna värmepumpar i Sverige får betydligt sämre ekonomi i jämförelse med eldrivna än vad motsvarande jämförelse visar för Tyskland och Schweiz. Senare i denna rapport redogörs närmare för de tekniska och ekonomiska problemställningarna i samband med de olika systemuppbyggnaderna.

Preliminär kartläggning av vattentemperaturerna i Ulvsundasjön visar att vintertid så låga temperaturer uppstår, att värmeupptagning ur sjövattnet kan medföra betydande tekniska svårigheter. För närvarande undersöks möjligheterna att utnyttja sjöns bottensediment som värmekälla. Även grundvattenförhållandena med avseende på mängd och temperatur kommer att kartläggas. Uteluft som värmekälla synes när detta skrives erbjuda den säkrast framkomliga vägen vad gäller värmeupptagning. Ljudproblematiken kan dock komma att medföra svårigheter och måste därför detaljstuderas.

### 2.2.2 Leverantörskontakter

Marknadsundersökningen har utöver ovannämnda litteraturstudier även bedrivits genom korrespondens med på området internationellt verksamma företag. Tabell 1 visar en förteckning över de företag som tillskrivits dels om sitt intresse att bidra med litteratur över av dessa företag utförda större värmepumpanläggningar, dels om sitt intresse att delta i Minnebergsprojektet med tekniska lösningar och leveranser av anläggningar. Av de 12 företagen svarade 8 positivt, 1 företag avböjde medan 3 inte svarade alls. Av de 8 intresserade företagen gjordes ett urval av 5, vilka med hänsyn till kunnande, erfarenhet och leveranskapacitet bedömdes kunna genomföra ett anläggningsprojekt av denna storlek och komplexitet.

Dessa 5 företag är

1. STAL Refrigeration AB, Norrköping
2. Mycom-Termofrost Energiteknik AB, Bromma
3. Gebr Sulzer AG, Winterthur, Schweiz
4. Brown Boveri Corp, Mannheim, Västtyskland
5. Linde AG, Köln, Västtyskland.

Tabell 1 Förteckning över företag som tillfrågats om sitt intresse av projektet som leverantörer.

Autofrigor AB,	Schweiz
Gebrüder Sulzer AG,	Schweiz
Mycom-Termofrost Energiteknik AB,	Sverige
STAL Refrigeration AB,	Sverige
Bero-Energie GmbH,	Västtyskland
Bitzer GmbH,	Västtyskland
Brown Boveri-York GmbH,	Västtyskland
Kraftanlagen AG,	Västtyskland
Linde AG,	Västtyskland
M.A.N. AG,	Västtyskland
Carrier Corporation,	USA
Westinghouse Electric Corp,	USA.

Företagen har försetts med erforderliga uppgifter om de tekniska, ekonomiska och tidsplanemässiga förutsättningarna för projektet och de besöktes också under hösten 1979 för fördjupade diskussioner. Vid besöken diskuterades också sådana frågor som leveransomfattning, garantifrågor, servicefrågor samt hur samarbetet

under konstruktionsfasen kunde organiseras. Från företagen översändes senare principförslag till tekniska lösningar med ungefärliga anläggningspriser. Dessutom har två företag med speciell anknytning till dieselmotorer besökts. Det är Volvo Flygmotor i Trollhättan som representant för serieproducerade lastbilsdieslar och Burmeister & Wain, vilka marknadsför större mellan- och lågvarvmotorer. Båda företagen har tidigare visat intresse för användandet av dieselmotorer i värme-pumpsammanhang.

Just nu (februari 1980) pågår utarbetandet av ett adekvat förfrågningsunderlag för de vidtalade företagen att lämna anbud på. Förfrågningsunderlagets detaljeringsgrad avses läggas så att företagets möjligheter att föreslå egna tekniska lösningar inte begränsas i alltför hög grad. I förfrågningsunderlaget skall också beskrivas hur samarbetet mellan projektgruppen och det företag vars anbud antas skall bedrivas under konstruktions- och entreprenadfasen.

### 2.3 Fortsättning

De planerade aktiviteterna i steg 2 och 3 framgår av tidplanen, tabell 2.

Som delvis ovan omnämnts pågår för närvarande följande aktiviteter:

1. Noggrann kartläggning av Ulvsundasjöns vattentemperaturer och strömningsförhållande lokalt vid stranden.
2. Kartläggning av de lokala förutsättningarna för värmeupptagning ur sjöbottensediment, grundvatten, mark och berg.
3. Utarbetande av förfrågningsunderlag avseende systemleverans med funktionsgaranti för värmepumpanläggning. Denna funktionsgaranti avses omfatta momentan prestation vid intill systemgränsen fastställda temperatur- och flödesförhållanden, samt inom garantitiden av inom systemgränserna uppkomna orsaker till driftstörningar.

Följande aktiviteter står inför sitt omedelbara påbörjande:

1. Beräknings- och dimensioneringsarbete avseende tekniskt och ekonomiskt optimal utformning av i värmelanläggningen ingående delar såsom kulvertar och övriga rördelar, pumpar, oljeeldningsutrustning, värmeväxlarytor, ljuddämpare, drivmotoreffekter, kompressorstorlekar m m. Utarbetande av kravspecifikationer för förfrågningsunderlaget avseende flöden och temperaturer samt formulering av krav för styr- och reglerfunktioner. Upprättande av

förslag till flödes- och principschemor samt styr- och reglerschemor.

2. Slutgiltigt val av drivningsprincip, el eller diesel samt slutgiltigt val av värmekälla, uteluft eller sjövattnen kombinerat med mark, berg och/eller sediment.

Enligt tidplanen förestår upphandling i oktober 1980. Under anbudens utvärdering kommer den intressantaste anbudsgivaren att presenteras en samarbetsplan för konstruktions- och byggnadstiden dels för att säkerställa erforderligt informationsutbyte, dels för att säkerställa projektledningens samordnings- och kontrollbehov.

Tabell 2 Tidplan

Aktivitet	1980												1981												
	Jan	Febr	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec	Jan	Febr	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec	
Upphandlingsprogram med kravspecifikationer	■																								
Utredning av sjövattnen, sediment, mark och berg	■																								
Anbudsgenombgång, prel kontrakt					■																				
Finansiering, budgetering, kontroll																									
Samordning med övr projekt																									
Färdigprojektering																									
Rapportering																									

Under konstruktionstiden kommer en av projektgruppens viktigaste arbetsuppgifter av teknisk art att omfatta tryckfalls- och värmebalansberäkningar för såväl hela områdets uppvärmningssystem som för av värmepumpleverantören föreslagen utrustning i värmecentralen. Skulle uteluft väljas som värmekälla måste mycket stor vikt läggas vid professionell hantering av förångarfläktarnas ljuddämpning. Detsamma gäller systemstyrningen där prioritering mellan de olika driftsmöjligheterna har avgörande betydelse för uppvärmningsekonomi.

I samband med upphandlingen skall leverantören presenteras ett program för leveransprovning. Denna kan antingen ske hos leverantören där systemets huvuddelar monteras och provkörs varefter demontering och återmontering på slutgiltig plats sker eller också sker slutmontering direkt på slutgiltig plats varefter provprogrammet genomförs. De båda metoderna kan också kombineras så att första aggregatet i en serie lika provas hos leverantören medan hela leveransen slutgiltigt provas på plats. Hur leverans- och funktionsprovning slutgiltigt organiseras beror i hög grad på leverantörens geografiska belägenhet men också på det vid leveranstillfället aktuella tidplaneläget.

I kontraktet med leverantören skall ingå ett serviceavtal som säkerställer driftsäkerheten och driftsökonomi de fem första åren. Service- och underhållsprogram tillsammans med reservdelshållning skall presenteras i anbudet.

#### 2.4 Organisation

Projektarbetet organiseras så att projektledaren för värmecentralen (Henrik Enström) ingår i en arbetande styrgrupp bestående av huvudprojektledaren (Ole Lidbjörk) samt följande sakkunniga (Lars Olof Glas, Eric Granryd, Sven-Allan Eklund och Gunnar Berkowicz). Denna grupp kommer att till sig knyta expertis inom markvärmeområdet, det akustiska området, styr- och reglerområdet etc.

I övrigt anlitas på området välrenommerade konsulter för konstruktions- och beskrivningsarbete. För att byggherrens informationsbehov skall säkerställas rapporterar huvudprojektledaren värmeprojektets läge vid huvudprojektmötena. Om byggherren så önskar sker information med tätare tidsintervall.





## 3           TEKNIK

## 3.1           Allmänt

Den typ av värmeproduktionsanläggning som planeras för Minnebergsområdet, ställer delvis andra krav än t ex en konventionell oljeeldad panncentral. En värmepump utnyttjar värmeenergi från omgivningen och "lyfter" den till en användbar temperaturnivå. Anläggningens prestanda är i hög grad beroende på differensen mellan värmekällans och framledningens temperatur. En hög och jämn omgivningstemperatur är därför önskvärd, liksom en låg framledningstemperatur. Det första önskemålet styrs av de för respektive projekt tillgängliga värmekällorna, det andra kan uppfyllas med en genomtänkt dimensionering av värmedistributionssystemet. Ett speciellt krav för detta projekt är den flexibilitet i värmedistributionssystemet som krävs för en framtida fjärrvärmeanslutning. Bl a därför har vi valt att studera en central värmeanläggning, placerad i en särskild byggnad i anslutning till bostadshusen.

En värmepump medför en hög investeringskostnad som måste betalas av en låg driftkostnad. Därför erfordras en lång fullasttid. På grund av uppvärmningsbehovets varaktighetskurva, fig 1, blir det ofta lönsamt att dimensionera värmepumpen för en lägre energiproduktion än vad som erfordras vid DUT. Som tillsatsenergi används ett värmeproduktionssystem med låg investeringskostnad, t ex el- eller oljepannor. Som huvudalternativ kommer vi att studera ett system med oljepannor som tillsatsvärmekälla. Med beaktande av bl a den låga marginalkostnaden och säkerhetsaspekter verkar det rimligt att dimensionera panncentralen för maximalt uppvärmningsbehov.

Det relativt komplicerade uppvärmningssystem som här studeras ställer stora krav på en välbalanserad dimensionering och en noga genomtänkt reglering. Erfarenheter från idrifttagna anläggningar tyder på att sk systemfel kan försämra driftekonomin betydligt.

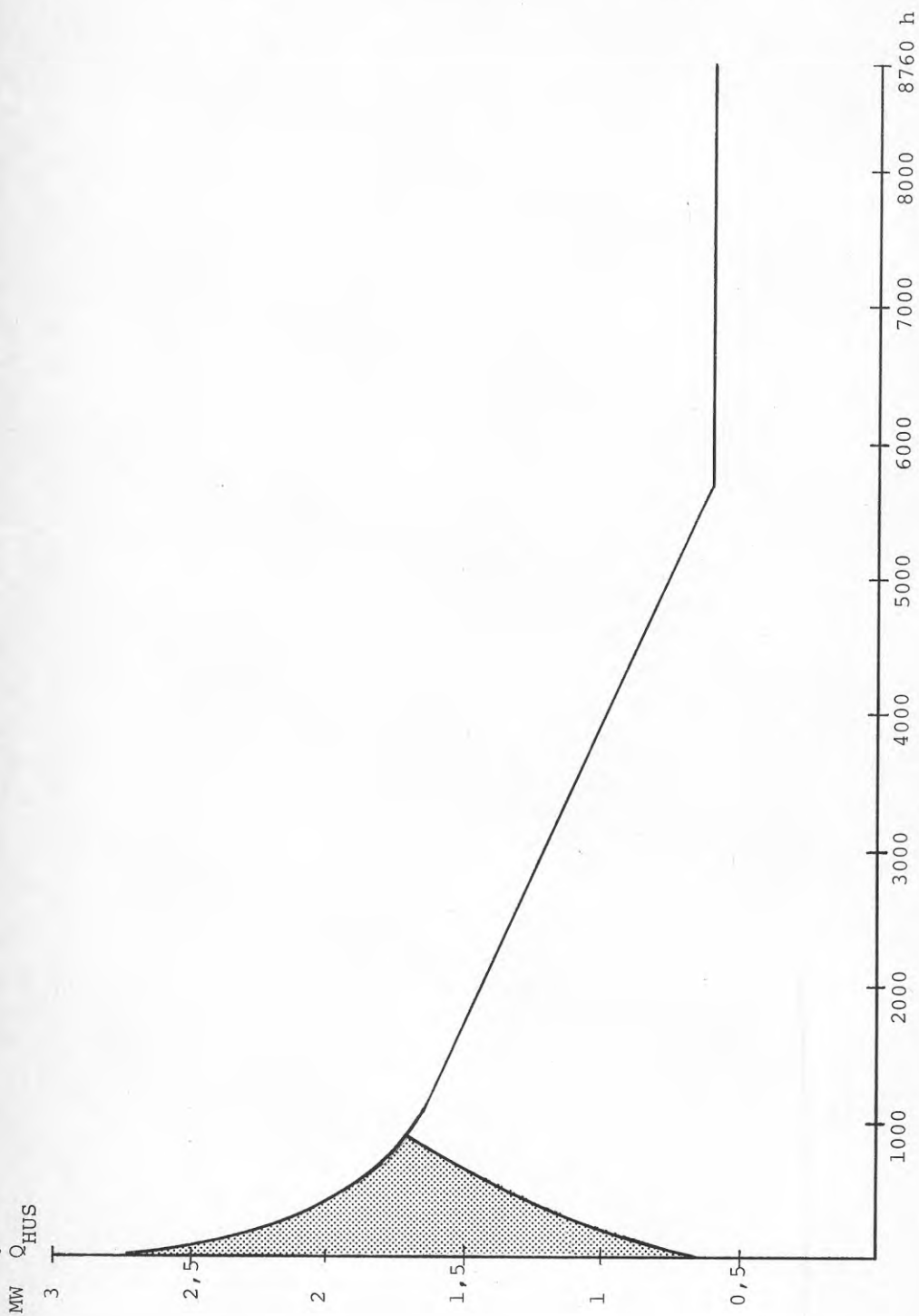
## 3.2           Värmebehov

Dimensioneringsarbetet blir mer kritiskt då man projekterar en värmepump jämfört med konventionella uppvärmningssystem. Man kan inte överslagsmässigt beräkna värmebehovet och sedan lägga till 50 % för säkerhets skull. I stället krävs en noggrann beräkning, där hänsyn tas till inre värmeutveckling och solinstrålning. Systemet måste då vara så konstruerat att denna extra värme tas till vara och ej leder till förhöjd rums- lufttemperatur.

För tillämpningen i fallet Minneberg kan följande siffervärden och variationsintervall för dessa rimligen gälla:

I.   750 lägenheter med 85.000 m<sup>2</sup> våningsyta

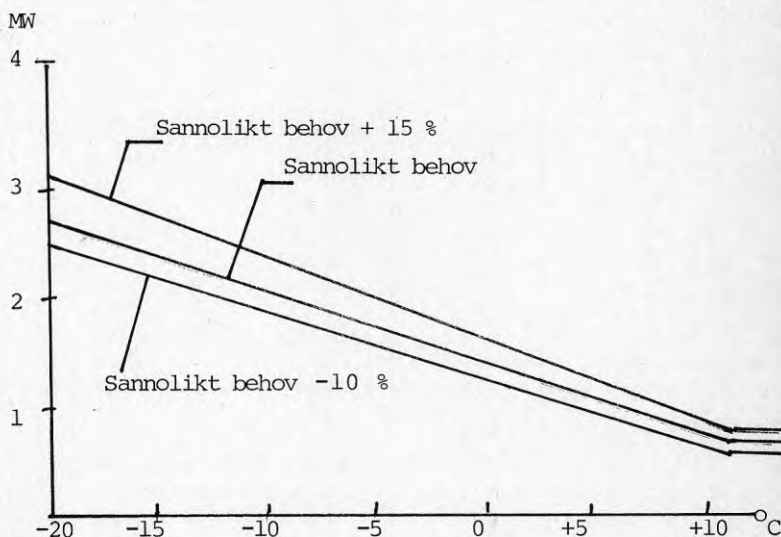
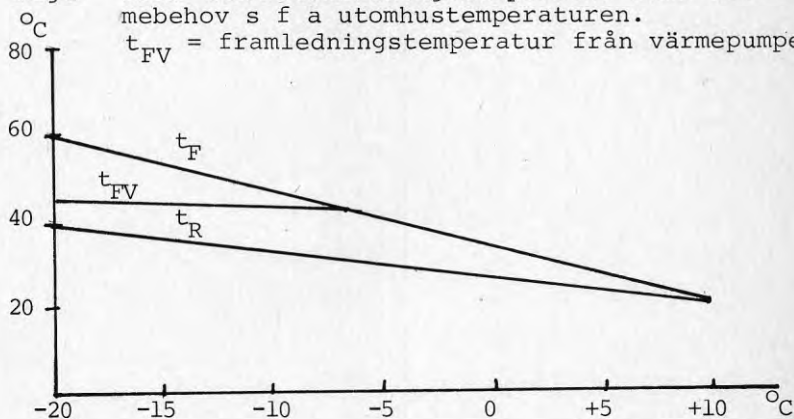
Fig 1 Varaktighetskurva för beräknat värmebehov i Minneberg.



- II. Tappvarmvattenvärmning 600 kW medeleffekt, inklusive kulvertförluster. Som jämförelse kan anges, att villor med samma invånareantal förbrukar omkring 70 % av denna effekt. Variationsintervall  $\pm 15$  %.
- III. Värmebehov för uteluftventilation,  $150 \text{ m}^3/\text{h}$  och lägenhet, och för transmissionsvärme vid utförande enligt nu gällande byggnorm med hänsyn till intern värmeutveckling från hushållsel, människor, sol och förbrukat tappvarmvatten:
- $70 \cdot (t_L - t_U) = 750 \text{ kW}$ , där
- $t_L$  = lokaltemperatur och  $t_U$  = utetemperatur.  
Variationsintervall  $+ 15$  % till  $- 5$  %.

I fig 2 har inritats det totala värmebehovet som funktion av utetemperaturen vid  $t_L = + 20^\circ\text{C}$ .

Fig2 Fram- och returledningstemperatur samt värmebehov s f a utomhustemperaturen.  
 $t_{FV}$  = framledningstemperatur från värmepumpen.



Av det totala värmebehovet svarar värmepumpen enligt fig 1 för 9,0 GWh/år eller 95 %. En ändring av det totala värmebehovet förändrar praktiskt taget ej detta procenttal inom det antagna variationsintervallet + 15 till - 10 %.

En väl konstruerad värmepump med uteluft som värmekälla kan utan användning av underkylarevärme för t ex tilluftsvärmning med indirekt system, uppnå årsvärmefaktorn 2,6. Variationsintervallet antas vara 0 till - 10 % för värmefaktorn.

### 3.3 Värmecentralen

Som ovan nämnts kommer värmen att levereras till Minnebergsområdet från en central anläggning, via ett kulvertnät. Anläggningen består av en värmepump och ett tillsatsvärmeaggregat, troligen en oljepanna, vilket vid behov kommer att vara i drift parallellt med värmepumpen.

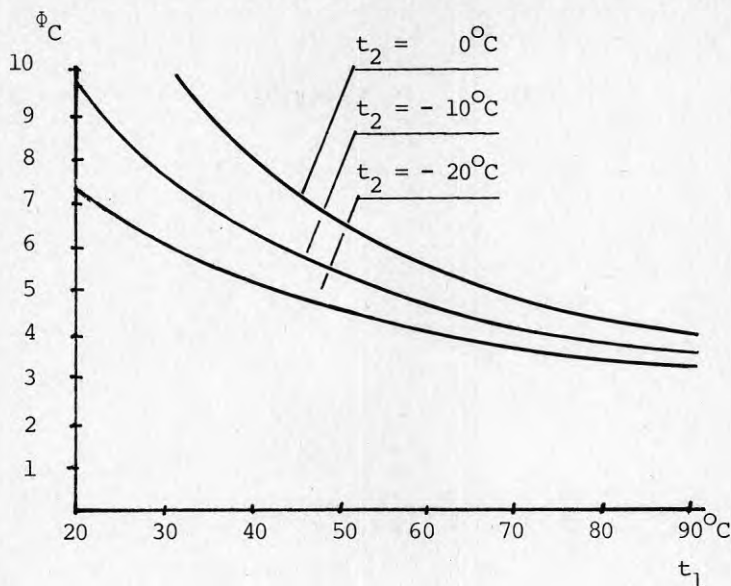
Erfarenheterna från sådana bivalenta system visar, att driftekonomin försämras radikalt om inte anläggningen styrs på ett riktigt sätt. Detta reglertekniska problem är av centralt intresse ur utvecklingssynpunkt. Styrutrustningen skall bl a säkerställa att

- värmepumpen utnyttjas maximalt
- värmepumpen kapacitetsregleras optimalt
- täta start/stopperioder undviks
- kulvertledningarnas och byggnadernas ackumuleringsförmåga utnyttjas, så att inte tillsatsvärmeaggregatet kopplas in i onödan
- framlednings- och tappvarmvattentemperaturerna behövs styrs
- förångarelementen avfrostas med optimala intervaller (då uteluft används som värmekälla)
- anläggningen övervakas kontinuerligt och larm ges vid felfunktioner.

Den moderna mikrodatortekniken bör vara mogen att användas i detta sammanhang.

En värmepumps prestanda begränsas av termodynamikens andra huvudsats, enligt vilken värmefaktorn, kvoten mellan erhållen värmeeffekt och tillförd driveffekt, idealt kan tecknas  $\phi_c = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$ . Som framgår av figur 3, försämras värmefaktorn och därmed driftekonomin kraftigt vid ökande kondenseringstemperatur. Av samma figur framgår också förångningstemperaturens inverkan på värmefaktorn. Framledningstemperaturen kan anses vara ungefär lika stor som kondenseringstemperaturen, medan förångningstemperaturen ligger 5 å 10 °C lägre än värmekällans temperatur.

Fig 3 Carnotska värmefaktorn vid olika förångnings-  
temperaturer s f a kondenseringstemperaturen.



Den ideala värmefaktorn kan inte uppnås i verkliga anläggningar. Inom kyltekniken har man infört en total carnotsk verkningsgrad definierad ur ekvationen  $\epsilon_k = \eta_{ct} \cdot \epsilon_c$ , där  $\epsilon_c$  är den ideala köldfaktorn och  $\epsilon_k$  är köldfaktorn hänförd till kompressorn. Erfarenhetsvärden visar att  $\eta_{ct}$  antar värden mellan 0,4 och 0,6, beroende på bl a anläggningsstorlek, köldmedium, varvtal och grad av underkylning. För en given anläggning är dock  $\eta_{ct}$  praktiskt taget oberoende av omgivningstemperaturen inom normalt arbetsområde.

En motsvarande total verkningsgrad anpassad för en värmepump blir definierad ur ekvationen  $\phi_k = \eta_{ct, \phi} \cdot \phi_c$ . Sambandet mellan denna totala carnotska värmefaktors verkningsgrad och den ovan definierade blir

$$\eta_{ct, \phi} = \frac{\eta_{ct} \cdot (\phi_c - 1) + (1 - b)}{\phi_c} \quad \text{eller}$$

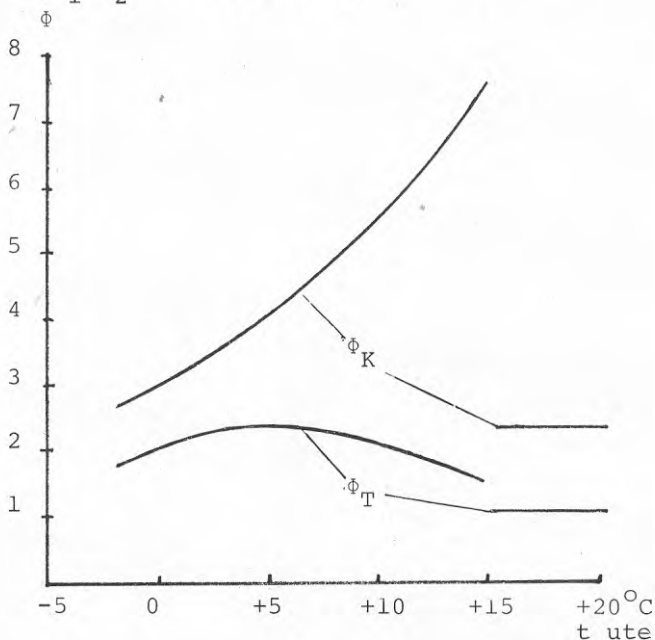
$$\eta_{ct, \phi} = \frac{\eta_{ct} \cdot T_2 + (1 - b) \cdot \Delta T}{T_1}$$

där  $b$  representerar andelen förlustvärme från kompressorerna. För exempelvis  $\eta_{ct} = 0,55$ ,  $T_2 = 263$  K,  $T_1 = 323$  K och  $b = 0,05$  erhålls  $\eta_{ct, \phi} = 0,62$ , vilket ger värmefaktorn  $\phi_k = 3,34$ .

Den totala värmefaktorn  $\phi_T$  blir ännu lägre p g a pump- och fläkteffekter samt tomgångsförluster. Erfarenheterna från större värmepumpar enbart avsedda för upp-

värmning av lokaler och tappvarmvatten i Sverige är få. De anläggningar som finns använder luft som värmekälla och redovisar totala årsvärmefaktorer på ca 2. Tillsatsenergin är då ej inräknad. Inverkan från kringutrustningen ökar vid minskande värmebehov, varför  $\phi_T$ :s variation med utomhustemperaturen dämpas, se fig 4.

Fig 4 Beräknad kompressorvärmefaktor  $\phi_K$ , samt uppmätt total värmefaktor  $\phi_T$  s f a utomhustemperaturen. Värmeeffekt ca 300 kW vid  $t_1/t_2 = +50/-12^\circ\text{C}$ .



En realistisk målsättning för Minnebergsanläggningen är en total årsvärmefaktor exklusive tillsatsenergi på ca 2,5 om uteluft används som värmekälla. Om det visar sig möjligt att utnyttja någon annan värmekälla än luft kan en högre värmefaktor, ca 2,8, påräknas främst p g a lägre hjälpeffekter och högre genomsnittlig förångningstemperatur. Det ovan sagda gäller för elmotordrivna kompressorer. Med förbränningsmotordrivna kompressorer blir de totala värmefaktorerna ungefär hälften d v s ca 1,3 respektive ca 1,6.

### 3.4 Möjliga systemkombinationer

Tabell 3 ger en sammanställning över de systemkombinationer som kan vara möjliga i projektet. Värmecentralen kommer att leverera värmeenergi till ett vattenburet distributionssystem. Huruvida det blir ett två- eller fyrarörsnät avgörs av de fördjupade ekonomiska kalkylerna i steg 2. För värmepumpens prestanda är fyrarörssystemet det bästa, men frågan är komplicerad och beror bl a av vilka framlednings- och tappvarm-

vattentemperaturer som slutgiltigt krävs. Projektgruppen har diskuterat olika typer av värmelager på den varma sidan. Vi anser inte att något särskilt lager av större omfattning utöver kulvertsystemets och byggnadernas tröghet är ekonomiskt och utvecklingsmässigt försvarbart i Minneberg. Övriga systemkomponenter behandlas nedan.

Tabell 3 Möjliga systemkombinationer i Minneberg

VÄRMEKÄLLA	Värmesänka	Kompressor	Drivmotor	Drivenergi	Tillsatsenergi
1. Uteluft	1. Vatten	1. Kolv	1. Elmotor	1. Elenergi	1. Elenergi
2. Frånluft	- två-	2. Skruv	2. Förbrännings-	2. Diesel-	2. Eldnings-
3. Avlopps-	rörs-		nings-	olja	olja
vatten	kulvert		motor		
4. Sjö-	- fyra-				
vatten	rörs-				
5. Grund-	kulvert				
vatten					
6. Botten-					
sediment					
7. Mark					
8. Berg					

### 3 4.1 Drivenergi

En central frågeställning i denna förstudie är:

Med vilket energislag skall värmepumpens kompressorer drivas? Alternativen är elektricitet eller fossila bränslen.

Elmotordrivna kompressorer är standard inom kyltekniken och bör inte bereda några speciella problem. Vid beräkning av den totala värmefaktorn behöver man endast ta hänsyn till förlusterna vid energitransformeringen, elenergi-mekaniskt arbete samt överföringsförluster. Tillsammans resulterar dessa förluster i en verkningsgrad på ca 0,90 - 0,95 för här aktuella effekter.

Användandet av förbränningsmotordrivna värmepumpar är ett område där erfarenheterna är mycket begränsade. I Sverige görs en del försök med små dieselmotorer. Anläggningar med här intressanta effekter finns dock endast utomlands. Tyskland och Schweiz är två länder som ligger långt framme inom området. Huvudsakligen använder man gas som drivmedel men även dieselolja förekommer.

För Minnebergsprojektets del är i nuläget dieselolja aktuellt som bränslealternativ. Man kan i detta sammanhang särskilja två huvudtyper av dieselmotorer.

Dels högvarviga massproducerade upp till ca 200 - 300 kW axeleffekt, typ lastbilsdieslar, dels mellanvarvs-motorer för högre effekter avsedda för t ex fartyg eller stationära anläggningar. Dessa två typer skiljer sig åt på flera punkter. Mellanvarvsmotorerna är t ex avsevärt dyrare i inköp, men är överlägsna ur underhålls- och livslängdssynpunkt, vilket ställer höga krav på utnyttjningstider.

Det som ur teknisk synpunkt främst talar emot användandet av dieselmotorer i projektet är underhålls-, miljö- och säkerhetsskäl.

Oavsett typ av dieselmotor får man räkna med att daglig tillsyn erfordras. Service- och underhållskostnaderna blir dock avsevärt större då serieproducerade lastbilmotorer används. De måste t ex renoveras efter ca 15.000 timmars drift för en kostnad av ca 35 % av nypris. Påfyllning och utbyte av smörjolja är detaljer som måste beaktas, liksom slitage och funktion vid täta starter och varierande belastning.

De miljöaspekter som måste beaktas är främst buller- och avgasproblem. Ljudproblemen blir stora då värme-centralen placeras endast ca 40 m från närmaste bostadshus. Med speciella ljud- och vibrationsdämpande arrangemang kan måhända ljudnivån begränsas till normala värden. Det innebär dock byggnadstekniska förändringar och vissa effektförluster. Hänsyn måste också tas till att bullret från dieselmotorerna adderas till den övriga ljudnivån. Om uteluft används som värmekälla måste stor omsorg ägnas åt bullerdämpning även med elmotordrift. Vid konstanta driftförhållanden anses inte avgaserna från dieselmotorer behöva medföra några problem. Förhållandena är dock annorlunda vid varierande belastningsfall. Misstankar har framförts om t ex förekomsten av cancerogena ämnen i avgaserna från dieselmotordrivna bilar. Den på senare tid ökade användningen av dieselmotordrivna personbilar innebär därför en risk, främst i storstäder, där biltätheten är stor och motorerna sällan går vid konstant optimalt varvtal. Lämpligheten av att införa ett nytt värmeproduktionssystem vars miljöeffekter adderas till en hög bakgrundsnivå kan diskuteras.

Erfarenheterna av dieselmotordrivna större värmepumpar kommer främst från anläggningar med lastbilsdieslar. I Europa finns en handfull anläggningar. Några direkta resultat i form av mätvärden och tillförlitlighetsdata har dock ej publicerats. Svenska utredningar visar på dålig lönsamhet och många tekniska frågetecken. Projektgruppens uppfattning efter litteraturstudier och kontakter med tänkbara leverantörer är att sådana anläggningar ännu befinner sig på lab- och prototypstadiet.

Idén bakom användandet av dieselmotorer i värmepump-anläggningar är, att man genom värmeväxling från avgaser och kylvatten effektivt kan utnyttja dieseloljans bränslevärde. Ett exempel på energifördel-



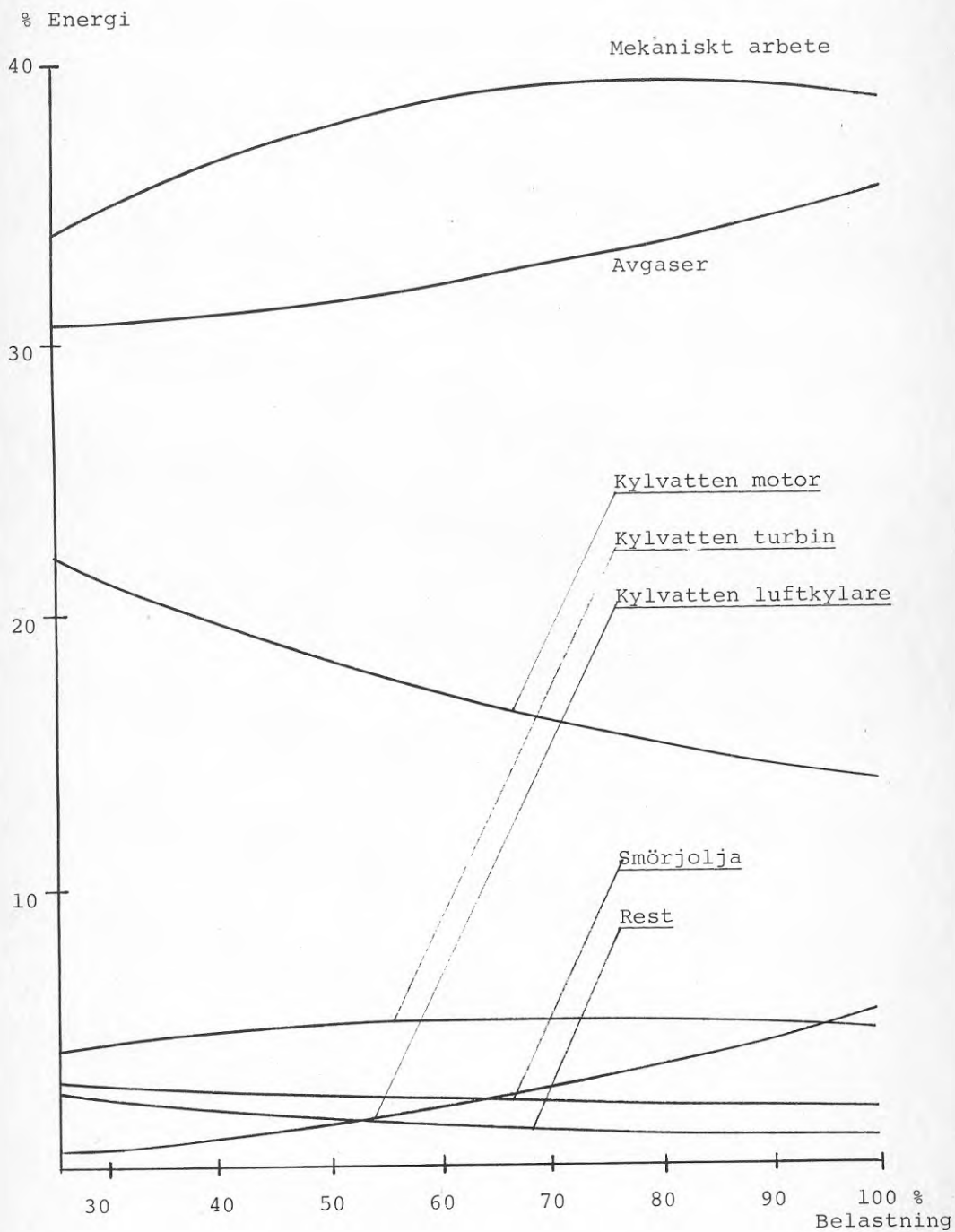
ningen från en mellanvarvsdieselmotor visas i fig 5. Genom användandet av avgas- och kylvattenvärme minskar behovet av värme upptaget i värmepumpens förångare. Belastningen på värmekällan minskar därmed liksom den kyltekniska utrustningens dimensioner. I stället tillkommer givetvis de värmeväxlare som krävs för att tillvarata den producerade "spillvärmem".

Jämförelsen med elmotordrift blir beroende av hur elektriciteten anses producerad, vilket är en energipolitisk fråga. Värmetekniskt motsvaras dieselalternativet närmast av el framställd i mottrycks kraftverk. Skillnaden i använd oljekvalitet är dock betydande.

En mycket intressant värmepumpanläggning där en stor dieselmotor i mellanvarvsregistret används är under uppförande i Fredrikshavn, Danmark. Som värmekälla används där renat avloppsvatten med lägsta temperaturen 8°C. Värmen levereras till fjärrvärmenätet. Värmepumpen går som grundlastaggregat vilket innebär hög drifttid, ca 6.000 fullasttimmar per år. En motsvarande anläggning i Minneberg skulle få enbart hälften, ca 3.000 fullasttimmar per år. Detta tillsammans med det i sammanhanget låga effektbehovet har inneburit att Burmeister & Wain, som står bakom Fredrikshavnprojektet, har avrått denna konstruktion för Minneberg.

För att uppnå tillräcklig drifttid kan man studera möjligheterna att producera el med en mellanvarvs-motor. Det är då möjligt att sälja överskottskraft till elnätet. Värmepumpens kompressorer drivs då lämpligen med elmotorer, varigenom kopplingen dieselmotor - värmepump minskar. En nackdel med systemet är att anläggningen huvudsakligen kommer att kunna sälja el vid fel tillfällen, d v s när behovet av elektrisk effekt är låg.

Fig 5 Energibalans för en mellanvarvsdiesel.



### 3.4.2 Värmeällor

Ett centralt problem vid projektering av värmepumpar är valet av lämplig värmekälla. De alternativ som finns tillgängliga i Minneberg är

- uteluft
- frånluft
- orenat avloppsvatten
- sjövattnet
- grundvattnet
- sjöbottensediment
- mark
- berg.

Uteluft är ett mycket intressant alternativ ur utvecklingssynpunkt. Den är ju tillgänglig överallt, varför ett väl fungerande system har en stor marknadspotential. Vissa erfarenheter finns från stora värmepumpar med luft som värmekälla. De visar att flera frågor ännu ej är tillfredsställande lösta. Ljudproblemet är kanske den svåraste frågan vid användandet av uteluft som värmekälla i Minneberg. Ett speciellt problem är den påfrostning som inträffar vid lufttemperaturer under ca + 5°C. Dessutom försämras ju värmepumpens prestanda vid låga lufttemperaturer, i praktiken dock ej så drastiskt som teoretiska beräkningar antyder, se fig 4. Vidare är enligt varaktighetskurvan för Stockholm, fig 1, den årliga tid som utomhustemperaturen understiger t ex - 10°C liten. Den höga isoleringsstatus som nyproducerade bostäder måste ha i Sverige, innebär att energiproduktionen under sommarhalvåret får en ökad relativ betydelse.

Frånluft är en bra värmekälla vars utnyttjningsbara energiinnehåll ofta överensstämmer med tappvarmvattenbehovet. Den förutsätter dock troligen ett decentraliserat värmepumpsystem, vilket ej är i linje med projektets intentioner. För att kunna utnyttjas centralt måste värmen från frånluften växlas till en brinekrets som transporterar värmen till värmepumpens förångare.

Det avloppsvatten som kan tänkas användas i Minneberg är orenat. Erfarenheterna av värmeväxling från orenat avloppsvatten är så gott som obefintliga. Prov försiggår dock med olika värmeväxlare. Projektgruppen anser ej att tekniken är så utvecklad att den bör tillämpas i projekt av denna storleksordning. Dessutom kan värmen från avloppsvattnet endast räcka till produktion av knappt hälften av tappvarmvattenbehovet. Under ca halva året använder man då hellre sjövattnet.

Minnebergsområdet ligger alldeles vid Ulvsundasjön. Möjligheten att utnyttja sjövattnet därifrån är därför lockande. Ulvsundasjöns yta är ca 130 hektar och dess maximala djup ca 16 m. Om sjövattnets temperatur anses vara + 3°C kan följande överslagsberäkningar göras.

a) Tubpanneförångare köldmedium - sjövattnen

$$\dot{Q}_2 = kA v_m$$

$$\text{Antag } k = 400 \text{ W/m}^2\text{C} \quad t_{\text{VIN}} = + 3^\circ\text{C} \quad t_{\text{VUT}} = + 1^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 0^\circ\text{C} + v_m = 1,8^\circ\text{C} \rightarrow A \approx 0,0015 \cdot \dot{Q}_2$$

$$\dot{Q}_2 = 1 \text{ MW} \rightarrow A = 1.500 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{m} c_p \Delta t \rightarrow \dot{m} = 120 \text{ kg/s.}$$

För att transportera erforderligt vattenflöde krävs ett rör med diametern 0,4 m om hastigheten är 1 m/s.

P g a försmutsning måste förångaren överdimensioneras. Problemen med smutsbeläggning kan dock bestämmas.

b) Tubpanneförångare köldmedium - brine

Genom att använda en brinekrets mellan sjövattnen och förångare kan risken för isbildning i förångaren elimineras. En större temperaturdifferens kan då användas. Termodynamiskt försämras dock processen p g a den extra värmeväxling som krävs. Energiupptagningen ifrån sjövattnet kan ske t ex via en plattvärmväxlare eller genom att lägga ner plaströr direkt i sjön. I det senare fallet fås:

$$\text{Antag } d_y/d_i = 38/32 \text{ mm} \quad w = 0,5 \text{ m/s} \quad t_v = + 3^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{BIN}} = - 3^\circ\text{C} \quad t_{\text{BUT}} = - 1^\circ\text{C}$$

Som brine kan t ex en vattenblandning med 25 vikts % etylenglykol användas. Då fås  $Pr = 40$ ,  $v = 5,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\lambda = 0,496 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ,  $c_p = 3.800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 1.040 \text{ kg/m}^3$ .

$$Re = \frac{0,5 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{5,3 \cdot 10^{-6}} \approx 3.000.$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \approx 61 \rightarrow \alpha_i = 945 \text{ W/m}^2\text{C}.$$

Filmtemperaturen antas vara  $t_f = 2,5^\circ\text{C}$ ;  $Pr = 12,5$ ,  $v = 1,66 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\lambda = 0,56 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ .

Medelväggttemperaturen antas vara  $+ 2^\circ\text{C}$ .

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 1 \cdot (38 \cdot 10^{-3})^3}{275,5 (1,66 \cdot 10^{-6})^2} = 7,09 \cdot 10^5.$$

$$Gr Pr = 8,86 \cdot 10^6.$$

$$Nu = 0,50 (Gr Pr)^{1/4} = 27,3 \rightarrow \alpha_y = 402 \text{ W/m}^2\text{C}.$$

Rörväggens värmeledningstal sätts till  $\lambda_r = 0,2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ .

De olika värmemotstånden blir då

$$m_i = 0,011^{\circ}\text{C/W} \quad m_r = 0,137^{\circ}\text{C} \quad m_y = 0,021^{\circ}\text{C/W}.$$

$$m_{\text{tot}} = 0,169^{\circ}\text{C/W} \rightarrow k a = 5,92 \text{ W/m}^2\text{C per m rör}.$$

Rörytteryttans temperatur vid in- respektive utlopp blir

$$t_{y\text{in}} = 2,25^{\circ}\text{C} \quad t_{y\text{ut}} = 2,50^{\circ}\text{C} \rightarrow t_f = 2,4^{\circ}\text{C}.$$

$$v_m = 4,93^{\circ}\text{C} \quad k = 49,6 \text{ W/m}^2\text{C, hänfört till rörytteryttan}.$$

Kyleffekten per rörslinga är  $\dot{Q}_s = (\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t)_B = k a L_s v_m$ , där  $L_s$  är rörslingans längd.  $P$

$$\dot{Q}_s = 1.590 \text{ W} \quad L_s = 54,4 \text{ m}.$$

$$\dot{Q}_2 = 1 \text{ MW} \rightarrow L_{\text{TOT}} = 34.250 \text{ m}.$$

630 st rörslingor á 54,4 m erfordras för kyleffekten 1 MW vid vattentemperaturen  $+ 3^{\circ}\text{C}$ . Totalt brineflöde blir  $0,253 \text{ m}^3/\text{s}$ , vilket vid flödes hastigheten 1 m/s kräver en rörledning med diametern 0,57 m.

Förångaren kan göras billigare då kraven på korrosionsbeständighet och rensbarhet är lägre än i fallet a ovan. Temperaturdifferenserna kan väljas friare då frysrisk elimineras. Vid förångningstemperaturen  $t_{22} = - 6^{\circ}\text{C}$  blir  $v_m = 3,9^{\circ}\text{C}$ , vilket med  $k = 400 \text{ W/m}^2\text{C}$  ger värmeöverföringsytan  $A = 640 \text{ m}^2$ .

En vidare analys måste, förutom en optimering av temperaturerna, ta hänsyn till uppnåbara sjövattemperaturer, beläggningar på plaströren och de praktiska förläggningsproblemen. Risken för skador på plaströren ifrån ankare, fiskedrag o dyl måste beaktas. Vidare måste botten- och strömningsförhållandena studeras, så att borttransporten av avkyllt vatten säkerställs.

En centraliserad värmeupptagning via en rensbar plattvärmväxlare representerar en mer konventionell teknik. Dock måste frysrisk, korrosionsproblem, tryckfallsökning och försämring av värmeöverföringsförmåga p g a beläggningar, noga beaktas. Med k-värdet  $2.000 \text{ W/m}^2\text{C}$  och  $v_m = 3^{\circ}\text{C}$  krävs för effekten 1 MW en värmeöverföringsyta på ca  $170 \text{ m}^2$ .

VA-verket i Stockholm har under många år mätt vattentemperaturen mitt i Ulvsundasjön. Dessa mätningar visar att skiktningen vintertid är så gott som obefintlig. Temperaturen är då också mycket låg, ofta under  $1^{\circ}\text{C}$ . Utvidgade mätningar pågår i projektets

regi. Temperaturer och strömningsförhållanden skall bestämmas i området närmast värmecentralens tänkta placering.

Även om dessa prov bekräftar att vattentemperaturen understiger  $3^{\circ}\text{C}$  under flera månader, kan det vara tekniskt möjligt att utnyttja sjövattnet. En leverantör säger sig t ex kunna garantera funktionen ned till inloppstemperaturen  $1^{\circ}\text{C}$  genom användande av vertikala tubpanneförångare.

Ett annat sätt att utta värme ur vatten med låg temperatur är att producera is. En lämpligt dimensionerad tubpanneförångare skulle kunna användas både som ismaskin och som konventionell förångare vid högre vattentemperaturer. Problemet här gäller främst borttransporten av producerad is. Vid kyleffekten  $\dot{Q}_2 = 1 \text{ MW}$  produceras ca 250 ton is/dygn, vilket skall fördelas jämnt i Ulvsundasjön. Ett energiuttag på 5 GWh innebär att 50.000 ton is återförs till sjön. Systemet utprovas nog lämpligen vid en norrlandsälv, där borttransporten är ordnad och där konkurrensförhållandet gentemot uteluft är bättre.

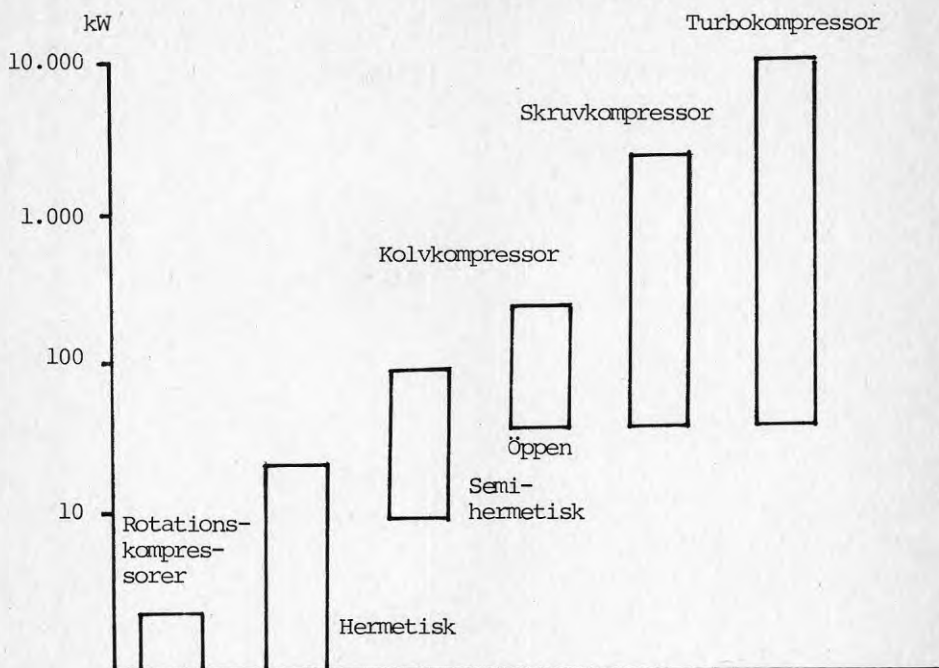
Flera idrifttagna anläggningar använder grundvatten som värmekälla. Markförhållandena och den höga exploateringsgraden i Minneberg gör dock att grundvatten ej kan ge något nämnvärt bidrag där.

Värme kan också upptas ur fasta material såsom sjöbottensediment (stort vatteninnehåll), mark och berg. Dessa möjligheter utreds för närvarande inom projektet. Preliminära resultat tyder på att man via vertikala borrhål i berg skulle kunna försörja området vintertid. Under sommaren regenereras sedan bergets temperatur med värme från sjövattnet.

### 3.4.3 Kompressortyper

Av fig 6 framgår vilka kompressortyper som används inom kyltekniken liksom deras effektområden. Som framgår är det endast displacementsmaskinerna kolv-, skruv- respektive turbokompressorer som kan komma ifråga här.

Fig 6 Kompressortyper



Turbokompressorn är mindre lämplig i de flesta värmepumpsammanhang då den är mycket känslig för variationer i driftförhållandena. I vissa fall, t ex användning av spillvärme för produktion av fjärrvärme kan turbokompressorn vara konkurrenskraftig, men i detta fall då både förångnings- och kondenseringstemperaturer kommer att variera försämras kapaciteten betydligt.

Därmed återstår skruvkompressorn och kolvkompressorn i öppet utförande. Valet mellan dessa behöver ej göras nu, utan blir en diskussionsfråga mellan projektgrupp och leverantör. Skruvkompressorn verkar dock vara den som ger den bästa kombinationen av bl a livslängd, underhåll, verkningsgrad och pris. Det slutgiltiga valet beror i hög grad på systemuppbyggnaden. T.ex ger många enheter lägre effekt per aggregat, vilket gynnar kolvkompressorn.

#### 3.4.4 Slutsatser

Det finns idag inte något utprovat värmepumpsystem med dieselmotorer, passande för ett projekt av Minnebergs typ. De problem som kommer att uppstå vid sammankopplingen av dieselmotor och kompressor löses bäst med en mindre anläggning i laboratoriemiljö. Om Sverige skall hålla sig framme på området bör därför en prototyp med en dieselmotor kopplad till en kompressor utvecklas och provas. I en testrigg kan då anläggningens

dynamik vid ändrade belastningsfall studeras. Först sedan detta är gjort och miljöaspekterna noggrannt utretts kan systemet provas "på fältet".

En anläggning med elmotordriven värmepump i Minneberg har större möjligheter att driva utvecklingen framåt. De svåra problemen med reglering, systemuppbyggnad och sammankopplingen med ett verkligt uppvärmningsbehov, kan studeras renodlat.

De alternativa värmekällor som återstår, är uteluft respektive sjövattnen, eventuellt kombinerat med mark-, berg- eller sjöbottensediment. Utredningar som syftar till att ta fram erforderligt beslutsunderlag pågår i projektets regi.



## 4.1 Energipriser

Sverige liksom övriga i-länder är uppbyggt med hjälp av en riklig tillgång på billig energi. Energiprisutvecklingen var mycket odramatisk från 2:a världskriget fram till den s k oljekrisen 1973. Det är därför naturligt att vår industri, våra bostäder och vår livsstil är inrättad efter de betingelser som gällde under 50- och 60-talen. Att förändra vårt samhälle efter nutidens förhållanden är en lång och svår men nödvändig process.

Energiprisernas utveckling i Sverige under 70-talet visas i fig 7, där också konsumentprisindex finns inlagt som jämförelse. Priset på elektricitet är beräknat för en konsument av Minnebergsområdets storlek, då elmotordrivna värmepumpar används. Skatt och effektavgift är inräknad. Elpriset följer rätt väl den allmänna prisutvecklingen, och reagerar inte så kraftigt på de dramatiska svängningarna som oljepriset uppvisar. Detta beror på att oljeprodukterna enbart svarar för ca 10 - 15 % av vår elkraftproduktion. Då huvuddelen, 65 å 70 %, av Sveriges elkraft kommer från den mycket billiga vattenkraften, kan vi hålla ett relativt övriga Europa, Norge undantaget, lågt elpris. Man kan mycket grovt säga att elpriserna i Tyskland, Schweiz och jämförbara länder är dubbelt så höga som i Sverige, medan oljepriserna är likvärdiga.

De s k oljekriserna 1973 och 1979 återspeglas tydligt i fig 7. Under övriga år har prisökningen varit måttlig, varför kurvan får ett trappstegsliknande förlopp. Detta gör det mycket svårt att kalkylera för framtiden. Oljekriserna på 70-talet har varit konstlade, d v s de har inte berott på någon verklig brist på olja. De flesta bedömare är ense om att balanspunkten mellan tillgång och efterfrågan kommer att nås under 80-talet. Exakt när beror på hur man bedömer t ex konjunkturläget, i-ländernas besparingsförmåga, u-ländernas energibehov, övergångstakten till andra energislag och möjligheterna till ökad oljeproduktion. När jämvikt uppnås kan man räkna med en jämnare men fortsatt kraftig prisökning. I de fortsatta beräkningarna har vi antagit att el- och oljepriserna i framtiden kommer att stiga 2 procentenheter snabbare än den övriga kostnadsutvecklingen i samhället. Detta får anses vara ett konservativt antagande, som mot bakgrund av ovanstående missgynnar elenergin vid en jämförande kalkyl.

Fig 8 visar energipriset i öre/kWh producerad värmeenergi för ett tänkt Minneberg under 70-talet. Kurvorna baseras på data från fig 7 varför kapital- och underhållskostnader ej ingår. Värmeenergin tänks producerad med en elmotordriven värmepump med totala värmefaktorn 2,5, en dieselmotordriven värmepump med totala värmefaktorn 1,3 respektive en konventionell oljepanna med totala pannverkningsgraden 0,75. Man ser

Fig 7 Svenska Energipriser under 1970-talet

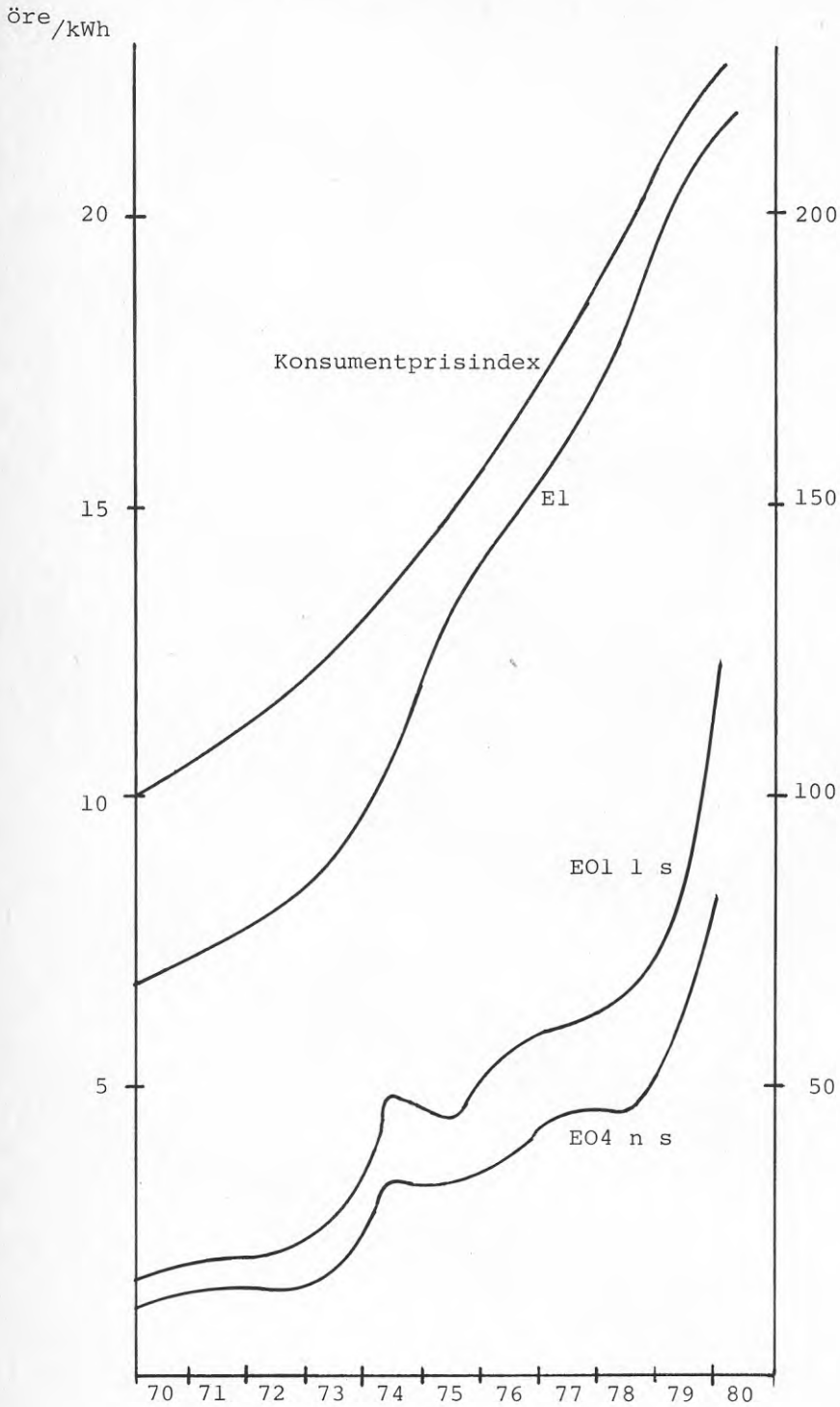
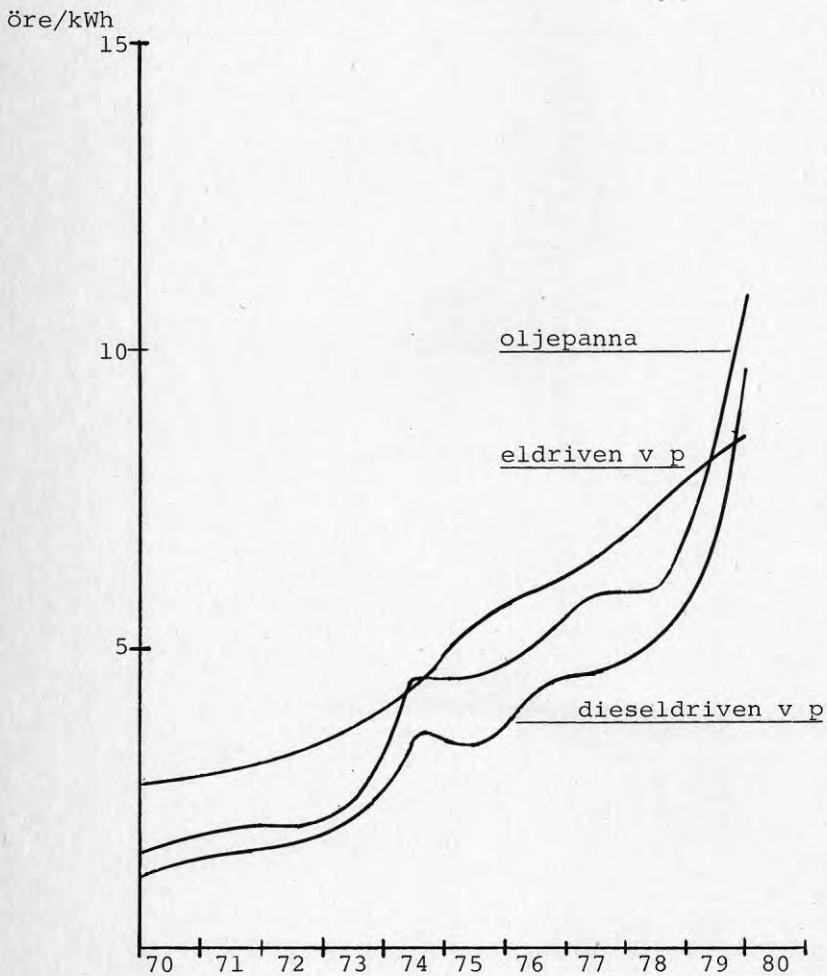


Fig 8 Priser för värmeenergi producerad med eldriven ( $\phi_{T1} = 2,5$ ), dieseldriven ( $\phi_{T1} = 1,3$ ) värmepump samt konventionell oljepanna ( $\eta_p = 0,75$ ).



att det är först under 1979 som den elmotordrivna värmepumpen kan börja konkurrera med en oljepanna. Dessutom är idag den rörliga energikostnaden för en dieselmotor driven värmepump högre än för den elmotor drivna. Kostnaderna i fig 8 är för den dieselmotor drivna värmepumpen baserade på priset på eldningsolja 1 lågsavlig. Dieselolja är idag 2 - 3 % dyrare. Vidare är priset på värmeenergin från oljepanna beräknat med data gällande för eldningsolja 4 normalsavlig. För Minnebergs del blir EO 3 eller EO 4 lågsavlig aktuell. De kostar idag ca 10 - 15 % mer. Trenden blir dock densamma p g a att oljepriset i Sverige är direkt beroende av världsmarknadspriset, medan det är möjligt att dämpa elprisets ökningstakt, främst p g a vattenkraftens stora andel.

#### 4.2 Anläggningskostnad

Värmepumpanläggningar av den storleksordning som är aktuell för Minneberg har inte byggts tidigare i Sverige. För att preliminärt bedöma anläggningskostnaderna har därför budgetpriser begärts från de i avsnitt 2.2 angivna företagen. Gemensamma förutsättningar för dessa budgetpriser har varit dels elmotor- och dels förbränningsmotor drivna värmepumpar i kombination med dels luft och dels sjövattnen som värmekälla.

Dessa budgetpriser, samt de följdinvesteringar som betingas av värmepumpanläggningen såsom större byggnadsvolym för värmecentralen, erforderliga ljuddämpningsåtgärder m m och tillkommande extraordinära projektlednings- och samordningsinsatser, har givit en total anläggningskostnad på ca 9.000.000 kronor för eldriven värmepump. Slutligt val av värmekälla, dimensioneringsdata för anläggningen, ev värmelagringsanordningar, omfattning av garanti- och serviceåtaganden etc, kommer dock att avsevärt kunna påverka slutkostnaden. I årskostnadsjämförelsen har därför två alternativ, dels 8.000.000 kronor och dels 10.000.000 kronor studerats. Dessa har av arbetsgruppen mot bakgrund av de tillfrågade företagens uppgifter och övriga erfarenheter, bedömts som rimliga ytterlighetsvärden.

I anläggningskostnaden ingår ej kostnaden för oljepannor och därtill hörande byggnad, skorsten m m, dvs den konventionella panncentralen eftersom denna är densamma i de alternativ som studeras i årskostnadsjämförelsen.

#### 4.3 Finansiering

En väsentlig del av förstudien har syftat till att klarlägga finansieringsförutsättningarna för en större värmepumpanläggning för ett statligt belånat bostadsområde. F n råder viss oklarhet beträffande belåning av sådana anläggningar, medan enskilda värmepumpanläggningar för småhus sedan länge haft relativt entydiga regler. Inom bostadsstyrelsen är man medveten om denna skillnad i behandlingen av stora och små

värmepumpanläggningar som delvis motiveras av bristande underlag för bedömning av kostnadsbilden för stora anläggningar. Vid kontakter med representanter för styrelsens värderingsbyrå har kunnat konstateras ett mycket positivt intresse att medverka i ett projekt av denna storleksordning. Under våren 1980 kommer en översyn att ske av reglerna för belåning av anordningar som begränsar energiförbrukningen för uppvärmning och varmvattenproduktion i våra bostäder. Underhandsbesked från bostadsstyrelsen tyder på att finansiering av större delen av en värmepumpanläggning i Minneberg med största sannolikhet kan påräknas inom det statliga finansieringssystemet.

Under skede II i projektet kommer fördjupade kontakter att tas med bostadsstyrelsen för att dels lösa finansieringsfrågan för Minnebergsanläggningen och dels bidra med underlag för utformning av låneregler för framtida anläggningar.

Det statliga bostadslånesystemet innebär, något förenklat, att man har att räkna med en ränta på 3,4 % (år 1) inom 99 % av det sk pantvärdet om lånesökanden, som i fallet Minneberg, är en bostadsrättsförening. Denna "garanterade" räntesats skall efter år 1 höjas med 0,25 procentenheter per år.

Pantvärdet är ett schabloniserat värde, som fastställs av bostadsstyrelsen för en mängd olika delar som ingår i ett bostadsprojekt och skall i princip svara mot de faktiska kostnaderna. En uppträder dock normalt en viss "överkostnad" dvs produktionskostnaden överstiger pantvärdet. Denna överkostnad finansieras på marknadsmässiga villkor. För kalkylexemplet nedan har räntesatsen valts till 12 % och amorteringstiden 20 år. Vidare har förutsatts att ca 70 % av anläggningens produktionskostnad kan komma att utgöra pantvärde, och att den garanterade räntan alltså skall gälla för 70 % av anläggningens kostnad enligt 4.2.

Beträffande amorteringen av det statliga bostadslånet fungerar systemet i princip så att denna ej påbörjas förrän den garanterade räntan, genom ovan angivna årliga höjningar, kommer att överstiga de faktiska (marknadsmässiga) räntekostnaderna. Med dagens räntenivåer innebär detta, att någon amortering på den statliga lånedelen knappast kommer att ske inom överskådlig tid. Amortering av bottenlånet sker på normalt sätt. Genom den långa löptiden, vanligen 40 - 60 år, och annuitetsprincipen, blir denna amortering dock mycket blygsam under inledningsskedet. För en så tekniskt komplicerad, och i jämförelse med bostadsområdet i övrigt, snabbt försliten anläggning som den här aktuella värmecentralen, kan dessa amorteringsförutsättningar knappast läggas till grund för jämförelse av totalkostnaderna för framtida energiförsörjningsalternativ. En riktigare princip synes vara att nyttja exempelvis de avskrivningsregler som skattemyndigheterna tillämpar för panncentraler o dyl, nämligen 5 % per år.

Om totala anläggningskostnaden för värmepumpanläggningen sätts till A kronor erhålles, med dessa förutsättningar, kapitalkostnaden  $K_n$  år n ur följande formel:

$$\begin{aligned} K_n &= \frac{3,4 + n \cdot 0,25}{100} \cdot 0,7 \cdot A (1 - n \cdot 0,05) + \\ &+ \frac{12}{100} \cdot 0,3 \cdot A (1 - n \cdot 0,05) + 0,05 A = \\ &= A \{(1 - n \cdot 0,05) \cdot \frac{5,98 + n \cdot 0,175}{100} + 0,05\}. \end{aligned}$$

För de i avsnitt 4.2 angivna anläggningskostnaderna 8 Mkr respektive 10 Mkr erhålles första året ( $n = 0$ ) kapitalkostnaderna 878.000 kronor respektive 1.098.000 kronor.

De framtida kapitalkostnaderna finns illustrerade i fig 9.

#### 4.4 Årskostnadsjämförelse

En värmepumpinstallation för bostadsuppvärmning innehåller utöver anläggningskostnaden följande osäkra faktorer i kalkylen för totalekonomin jämfört med de konventionella systemen

- A. Underhållskostnaden. Större anläggningar för flerfamiljshus är mycket sällsynta och underlaget för bedömning av servicebehovet mycket osäkert. För brukaren kan dock denna osäkerhet elimineras efter offertens erhållande, om anbudsgivaren kan förmås att lämna anbud också för komplett underhåll.
- B. Energikostnaden. Bortsett från energiprisutvecklingen och det verkliga värmebehovet, som till sina huvuddelar ej beror på valt värmesystem, blir värmepumpens värmefaktor starkt beroende på värmeavgivningstemperaturen, funktionen hos stryporganen, eventuella köldmedieläckage och vid uteluft som värmekälla också avfrostningsfunktionerna. Dessa faktorer har i de fåtaliga utförda anläggningarna åstadkommit stora variationer hos värmefaktorn vid sidan av värmekällans temperatur.

Den årliga driftskostnaden för värmepumpanläggningen  $D_n$  anges av följande formel

$$D_n = U \cdot K_U + E \cdot K_E, \text{ där}$$

$U$  = årlig service- och underhållskostnad på prisnivån vid idrifttagningen.

$K_U$  = "inflationsfaktor" för  $U$ .

$E$  = årsenergikostnad för idrifttagningsår =

$$E_T \cdot Q_T + E_V \cdot Q_V / \emptyset, \text{ där}$$

$E_T$  = energikostnad i kr/kWh för tillsatsvärmemängden  $Q_T$  kWh/år.  $Q_T$  är den del av det totala värmebehovet värmepumpen ej levererar.

$E_V$  = energikostnad i kr/kWh för drivenergi till värmepumpen som avger värmemängden  $Q_V$  med värmefaktorn  $\emptyset$ .

$K_E$  = "inflationsfaktor" för  $E$ .

För årskostnadsjämförelsen gäller följande siffervärden och variationsintervall för dessa enligt 3.2.

Årsvärmefaktorn 2,6 med variationsintervall 0 till - 10 %.

Underhållskostnaden för värmepumpen kan bedömas till 50.000 kr/år med variationsintervallet 0 till + 100 % vid eldriven värmepump.

Av det totala värmebehovet på 9,5 GWh svarar värmepumpen för 9,0 GWh/år. Variationsintervall + 15 till - 10 %.

Övriga förutsättningar för årskostnadsjämförelsen

o Energipriset 1980-01-01:

El 20 öre/kWh inklusive effekttavgift för 10 kv högspänningsabonnemang.

Olja 1.000 kronor/m<sup>3</sup> för lågsavvlig eldningsolja 3.

o Pannverkningsgrad 75 % vilket ger oljepriset 13 öre/kWh.

o Prisstegringstakt 12 % per år för energi  
10 % per år för övrigt.

Den årliga driftskostnadsbesparingen  $S_n$  för värmepumpanläggningen jämfört med driftskostnaden för motsvarande energimängd från en oljeeldad panncentral  $P_n$  blir

$$S_n = P_n - D_n.$$

Med de för värmepumpen mest gynnsamma värdena inom ovan angivna variationsintervall erhålles:

$$\begin{aligned} S_{1n} &= 10,35 \cdot 10^6 \cdot 0,13 \cdot 1,12^n - (50.000 \cdot 1,1^n + \\ &\quad + 10,35 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,20}{2,6} \cdot 1,12^n) = \\ &= 550.000 \cdot 1,12^n - 50.000 \cdot 1,1^n. \end{aligned}$$

På motsvarande sätt erhålles med de mest ogynnsamma värdena:

$$\begin{aligned} S_{2n} &= 8,10 \cdot 10^6 \cdot 0,13 \cdot 1,12^n - (100.000 \cdot 1,1^n + \\ &\quad + 8,10 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,20}{2,3} \cdot 1,12^n) = \\ &= 350.000 \cdot 1,12^n - 100.000 \cdot 1,1^n. \end{aligned}$$

#### 4.5 Slutsatser

I fig 9 finns de olika sambanden som visar värmepump-anläggningens framtida ekonomi illustrerade grafiskt.

"Osäkerhetsområdet"  $0_1$  anger att med de förutsättningar beträffande finansiering som anges under 4.3, kommer driftkostnadsbesparingen att överstiga kapitalkostnaderna för anläggningen i bästa fall efter år 4 och i sämsta fall efter år 10. Om hänsyn även tas till ackumulerade förluster under de första åren fås en pay-off-tid på i bästa fall ca 8 år och i sämsta fall ca 16 år. Om verkliga bostadslånevillkor tillämpas blir lönsamheten klart bättre.

Lönsamhetskriterierna kan bedömas olika beroende på vilket perspektiv som anlägges. Ur nationalekonomisk synvinkel, där vårt nuvarande oljeberoende är det stora problemet, är värmepumpanläggningen, med ovan angivna förutsättningar, utan tvekan lönsam även om driftsresultaten skulle komma att ligga i den sämre delen av det redovisade osäkerhetsområdet.

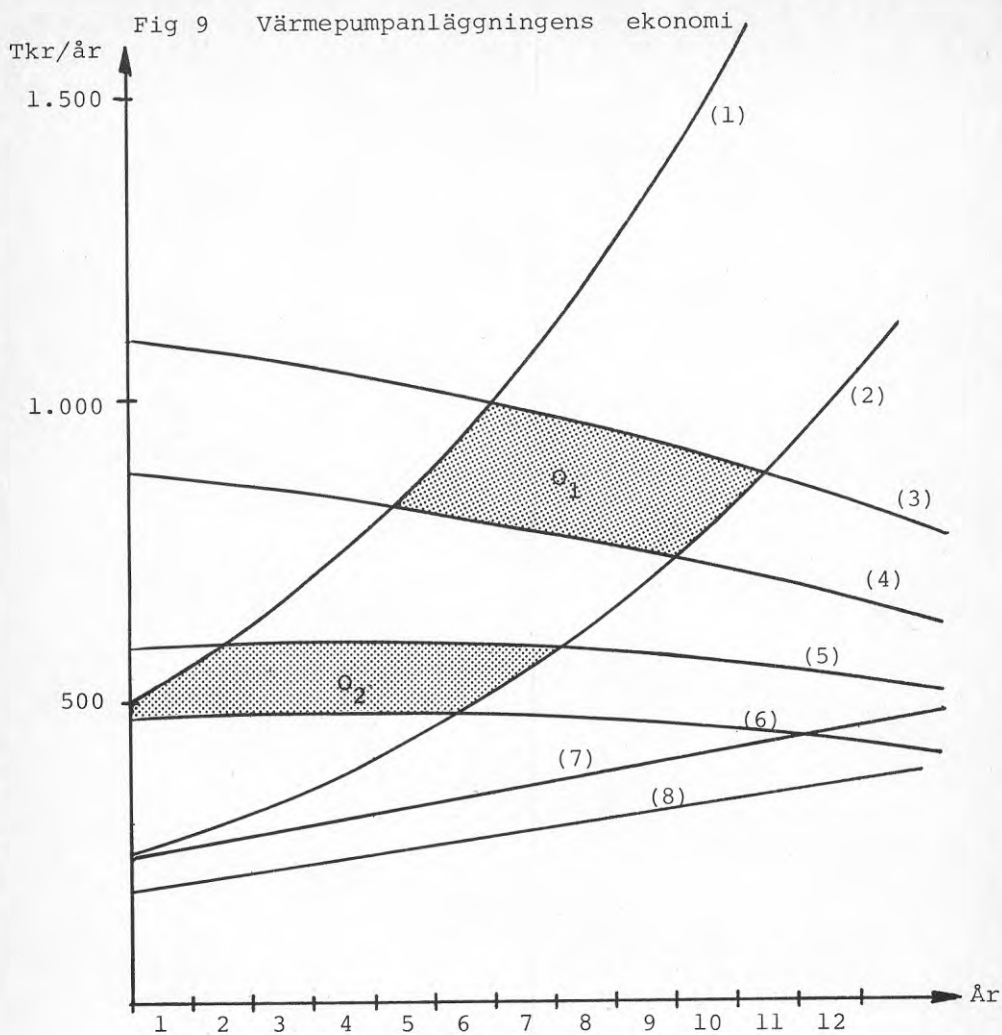
För den enskilda bostadskonsumenten kan värmepumpanläggningen innebära något högre boendekostnader under de första åren än vad som skulle blivit fallet med ett konventionellt uppvärmningssystem. Dessa kostnader kommer dock att tjänas in under senare år. För byggherren/bostadsföretaget kan den ekonomiska bilden tecknas på ungefär motsvarande sätt. Härtill kommer också tveksamhet inför de skötsel- och underhållsåtaganden som anläggningen innebär. Kostnaden för dessa beror i hög grad på de garanti- och serviceavtal som kan erhållas från värmepumpleverantören. I detta sammanhang torde dock anläggningens storlek vara en klar fördel och tillåta relativt omfattande insatser av kvalificerad personal.



Det kan knappast vara rimligt att byggherren och/eller bostadskonsumenter i Minneberg skall svara för de kostnader som kan uppstå i samband med en försöksanläggning av här aktuellt slag. En förutsättning för projektets fullföljande torde därför vara att experimentbyggnadslån beviljas för att täcka "glappet" mellan bostadslånets övre gräns och den faktiska anläggningskostnaden. Under sådana omständigheter förändras bilden radikalt (kurva 5 och 6 i fig 9) och lönsamhet uppnås redan första året vid gynnsamma driftsförhållanden. Osäkerhetsområdet  $O_2$  anger att lönsamhet i sämsta fall inträffar efter 7 år med pay-off-tid ca 12 år. Detta gäller fortfarande med 20 års rak amortering av 70 % av anläggningskostnaden.

De verkliga kapitalkostnader som byggherren drabbas av, under förutsättning att experimentbyggnadslån beviljas, är i princip lika med den garanterade räntan på 70 % av anläggningskostnaden, vilken redovisas av kurvorna 7 och 8 i fig 9. Av dessa kurvor framgår att det sannolikt aldrig uppkommer några merkostnader p g a värmepumpanläggningen. I detta fall bör dock observeras att anläggningen inte med säkerhet kommer att vara avskriven inom den beräknade livslängden 20 år.

Kostnadsresonemanget har hela tiden förts utifrån en eldriven värmepumpanläggning. Erfarenheter från bl a Tyskland och Schweiz, där såväl diesel- som eldrivna värmepumpar förekommer, visar att det ekonomiska utfallet är i stort sett likvärdigt för el och diesel. I dessa länder är emellertid elpriset ca två gånger högre än i Sverige medan oljepriset är ungefär detsamma. Med de väsentligt högre anläggningskostnader och betydligt osäkrare underhållskostnader som gäller för dieseldrivna värmepumpanläggningar ger dessa erfarenheter att en dieseldriven värmepump, efter svenska förhållanden, skulle visa avsevärt sämre totalekonomi än vad som illustrerats i årskostnadsjämförelsen ovan.



- Kurva 1: Årlig driftskostnadsbesparing enl 4.4 med mest gynnsamma driftresultat.  
 2: Årlig driftskostnadsbesparing enl 4.4 med mest ogynnsamma driftresultat.  
 3: Årlig kapitalkostnad enl 4.3 för anläggningskostnad 10 Mkr.  
 4: Årlig kapitalkostnad enl 4.3 för anläggningskostnad 8 Mkr .  
 5: Årlig kapitalkostnad under förutsättning att experimentbyggnadslån beviljas. Anläggningskostnad 10 Mkr.  
 6: Årlig kapitalkostnad under förutsättning att experimentbyggnadslån beviljas. Anläggningskostnad 8 Mkr.  
 7: "Garanterad ränta" på 70 % av anläggningskostnad 10 Mkr.  
 8:        "-        "-        "-        8 Mkr.

## 5 ÖVRIGA BESLUTKRITERIER

### 5.1 Miljöpåverkan

Den lokala miljöpåverkan blir ofördelaktigare för dieseldrift. Avgaser och buller från drivmotorerna kan komma att kräva kostsamma åtgärder. Dock borde vid tillsatsvärme från oljepanna samma skorsten kunna utnyttjas för dieselmotorns avgaser.

Den totala miljöpåverkan beror på hur elförsörjningen till den elmotordrivna värmepumpen fördelar sig på olika källor. Inga elkraftverkstyper är dock fria från negativa effekter på miljön. Värderingen av dessa effekter varierar utomordentligt starkt mellan olika grupper av individer. Klart är dock att den relativa kostnaden för att bemästra skadeverkningar från en kraftkälla minskar med dess storlek. Därför behöver ett bränsleeldat kondenskraftverk för elleverans till en eldriven värmepump med totalverkningsgraden 2,6 · 0,35 = 0,91 för använt bränsle ej ge högre kostnad för rökgasreningen till en given mängd skadliga utsläpp än en dieseldriven värmepump med värmefaktorn eller totalverkningsgraden 1,5. För den eldrivna värmepumpen elenergi från ett mottryckskraftverk med verkningsgraden 0,75 blir såväl bränsleförbrukningen som rökgasvolymen mindre än vid dieseldrift.

Tas hänsyn till sammansättningen hos den svenska elproduktionen kommer sannolikt den eldrivna värmepumpen att ge mindre negativ miljöpåverkan än den dieseldrivna.

### 5.2 Energitillgång

Dieseldriften kommer att ge en fördel jämfört med eldriften endast om den senare till minst ca 50 % får sin energileverans från ett kondenskraftverk eldat med lättolja. Fördelen för den eldrivna värmepumpen är, att den kan försörjas från alla typer av energikällor såsom vattenkraft, kärnkraft och bränsleeldade kraftverk av mottrycks- eller kondensstyp. De senare kan även använda inhemska bränslen, t ex torv och ved. Ej heller i detta fall är det troligt att den dieseldrivna värmepumpen ger fördelar, då den är knuten till en bränsletyp. Den olja som används i bränsleeldade kraftverk är också i huvudsak tjockolja, som har ett väsentligt lägre importpris än lättolja.

### 5.3 Tillgänglighet

En eldriven värmepump utgör en betydligt mera komplicerad anläggning än en konventionell oljevärmeanläggning, i all synnerhet om oljevärme används som tillsatsvärme. Ännu mera komplicerad anläggning fås med dieseldrift. Service- och underhållsbehovet för att säkerställa drift- och god verkningsgrad hos dieselmotorn kan bli omfattande. Acceptabel värmefaktor vid dieseldrift förutsätter också rengöringsbara avgas-

värmväxlare samt styrsystem för utnyttjning av kylvatten- och avgasvärme. Detta styrsystem måste ha hög grad av tillförlitlighet för undvikande av motorhavarien på grund av otillräcklig kylning eller igensättning av avgasvärmväxlare på grund av för låg avgastemperatur. Tillgängligheten hos dieselmotorvärmepumpen kommer därför att bli mindre.

#### 5.4 Slutsatser

Anknytande till avsnitt 4.5 och punkterna 5.1 till 5.3 ovan synes en dieselmotorinstallation mindre attraktiv än elmotor drift för värmepumpen. Sammanfattningsvis är skälen de följande:

- A. Med nuvarande prisrelation mellan dieselbränsle och el blir energikostnaderna för el- och dieseldrift praktiskt taget desamma. Med dieselmotorutrustningens högre anskaffnings- och underhållskostnad kommer totalkostnaden då att bli högre för dieselmotorn.
- B. Antalet driftstörningar kommer att bli fler för den mer komplicerade dieseldriften. Det är tveksamt om en tillräckligt utvecklad och driftsäker dieselmotoranläggning kan levereras till aktuell tidpunkt.
- C. Antalet möjliga energikällor för dieseldriften är färre än för eldrift.

## LITTERATUR

Abrahamsson, T, 1979, Solfångar- och värmepumpanläggning med grundvatten som värmeackumulatör, BFR-rapport R 80

Andersson, B, Backman, A, Wahlberg, H, 1979, Värmeåtervinning ur avloppsvatten, Rapport till BFR, sept

Blomquist, O, Små dieselmotordrivna värmepumpar - ett sätt att spara olja

Blomquist, O, Avgasemissioner från dieselmotordrivna värmepumpar

Brötje, 1978, Dieselmotorgetriebene Wärmepumpe für kleine Leistungen

Bäckström, B, Westberg, U, 1978, Spillvärmeprojekt Perstorp, BFR-rapport R 81

Bäckström, B, 1979, Värmepumpanläggning med insjö som värmekälla, BFR-rapport R29.

Bäckström, M, Kylteknikern, 3:e upplagan

Carlsson, B, Stymme, H, Wettermark, G, 1978, Lagring av värme, BFR-rapport R 70

Darvin, B, Nordling, I, Sandart, K, 1979, Sjöar och hav som värmekälla för en värmepumpanläggning, förstudie

Faarbaek, I, Fredrikshavn diesel heat pump, technical and economic project description

Fernbäck, G, Reglersystem för dieselmotordrivna värmepumpar

Handrock, W, 1978, Anwendung der Gaswärmepumpentechnik, Oel + Gasfeuerung 6

Handrock, W, Hohmann, H, 1978, Gaswärmepumpanlage, Stadtwerke Paderborn GmbH, Sportzentrum Paderborn

Hedlund, A, Lizberg, L, 1979, Värmeåtervinning ur avloppsvatten, BFR-rapport R95

Hultmark, G, 1979, Sunclayprojektet, Rapport till BFR i mars

Jelbring, H, Energiproduktion för lokalvärme medelst en dieselmotordriven värmepump och vatten som energikälla

Knutsen, W, 1977, Selvforsynende Dieselmotordrevet Värmepumpeanlag, Scandinavian Refrigeration 3

Nelving, H-G, Gummesson, S, Utveckling av totalsystem med Stirlingmotor som drivkälla - installation i vaktbyggnad

"Nowacki, J-E", 1978, Systemstudie med zeolittork/värmelager, projektförslag

Ohlsson, U, 1977, Dieselmotordriven värmepump för gruppbebyggelse och större fastigheter, Rapport till BFR i sept

Ohlsson, U, 1979, Studie av dieselmotorvärmepump för gruppbebyggelse och större fastigheter, Rapport till BFR i sept

Pierre, B, 1976, Mekanisk Värmeteori f k

Pierre, B, 1979, Kylteknik a k

Sacker, Nichalls, 1977, Gas fired heat pumps: An emerging technology, Ashrae Journal March

Scharf, F, 1978, Zentrale Wärmepumpeneinheiten, Probleme der Wärmeleistungsreglung, Robert Rosch GmbH

Trenkowitz, G, Energieeinsparung durch Wärmepumpen, KI 4/74

Wermelinger, B, 1978, Wärmepumpen mit Diesel- oder Gasmotor-Antrieb, Die Kälte und Klimatechnik 3

Cube, Ingenieurunion GmbH, 1978, Messen der Betriebsdaten der Wärmepumpenheizung des Rathauses von Ahlen/Westfalen, Worms

Cube, Ingenieurunion GmbH, 1978, Messen der Betriebsdaten der Wärmepumpen und Wärmerückgewinnungsanlagen des Hallenbades der Gemeinde Leingarten bei Heilbronn, Worms

Entwicklungsgesellschaft Wulfen, 1978, Primärenergiesparande Energieversorgung der Wohnsiedlung Neue Stadt Wulfen

Ingenieurbüro Meissner-Ebert-Bub, 1978, Gasversorgtes Alternativheizsystem Gaswärmepumpe/Gaskessel-Flusswassernutzung

Institut für Reibungstechnik und Maschineningenieurwesen Technische Universität Clausthal, 1978, Forschungsvorhaben zur Entwicklung von Wärmepumpen mit Verbrennungsmotoren

Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AB, 1978, Wirtschaftliche Gebäudeheizung mittels Wärmepumpe und Diesel-Gasmotor

Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG, 1978, Wärmerückgewinnung aus Abwässern durch energieeinsparende Wärmepumpensysteme gekoppelt mit Abwässersanierungsanlagen

SEP München, 1978, Entwicklung und Erprobung einer dieselmotorgetriebenen Kompressions-Wärmepumpe für Hausheizungen

Heatpump technology, 79-03-20, Symposium i Stockholm

IKZ 11/1977, Erste Gaswärmepumpe Europas

Sanitär- und Heizungstechnik 6/1978, Erste Messergebnisse von einem Mehrfamilienhaus mit Abwasser-Wärmerückgewinnung

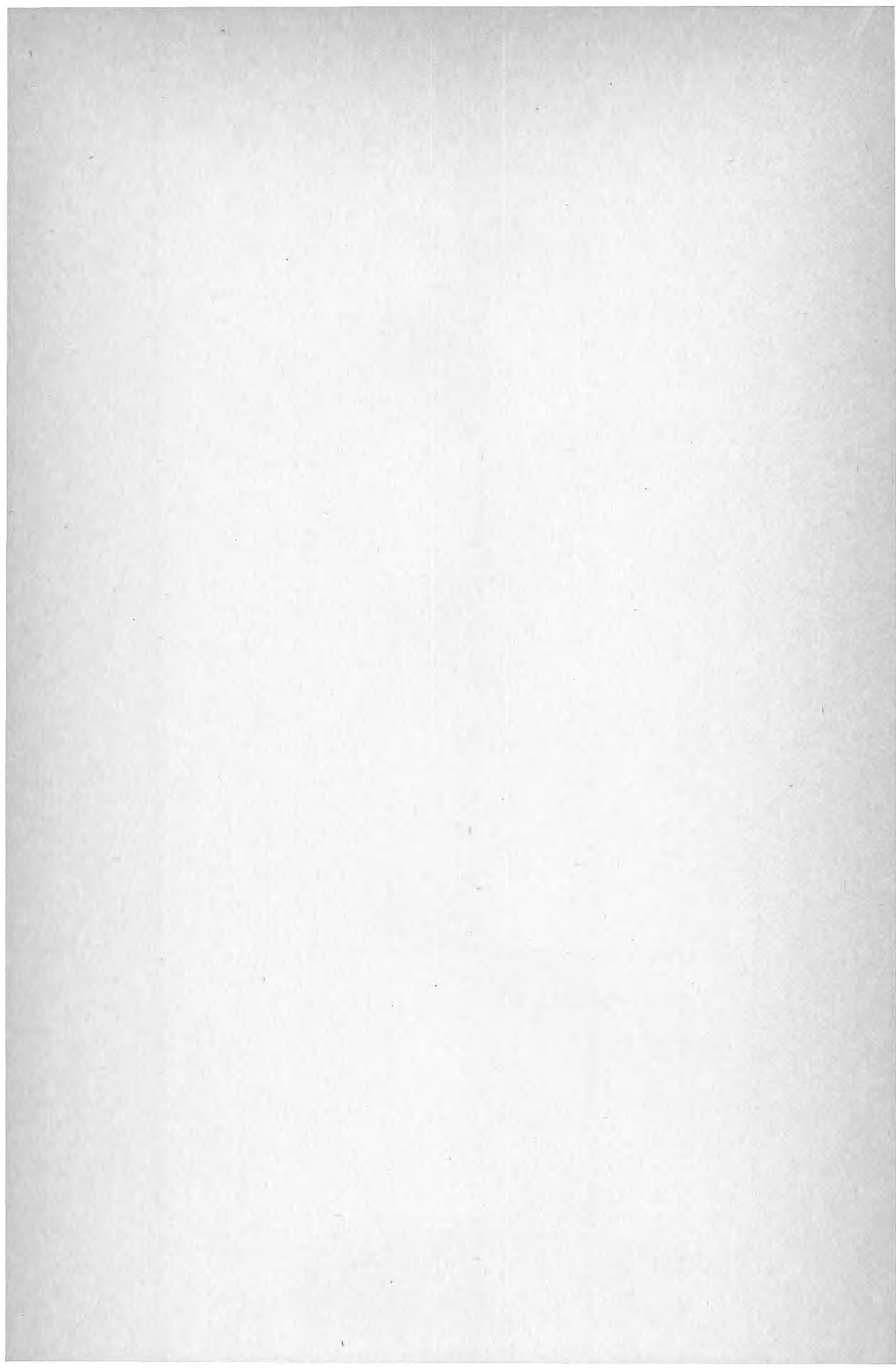
Sanitär- und Heizungstechnik 1/1978, Blockheiz - Kraftwerke für dicht beditte Gebiete

Verkstadstidningen nov/79, Mot rök och sot från diesel

Enström, H, 1979, Värmepumpar för befintligt bostadsbestånd, Driftstudier, Delrapport BFR-anslag 780 491-3









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
790324-6 från Statens råd för bygnadsforskning  
till Platzer Bygg AB, Sundbyberg.**

**R81: 1980**

**ISBN 91-540-3296-2**

**Statens råd för bygnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700181**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 20 kr exkl moms**