



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.



Luft- och markvärme till central värmepumpanläggning

Förstudie: kv. Bobinen i Malmö

Lennart Wetterstad

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr 80-2134

Plac *ser*

✓
AW

R133:1980

LUFT- OCH MARKVÄRME TILL CENTRAL
VÄRMEPUMPANLÄGGNING

Förstudie: kv. Bobinen i Malmö

Lennart Wetterstad

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
781340-2 från Statens råd för byggnadsforskning
till Minergi AB, Malmö.

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

R133:1980

ISBN 91-540-3360-8
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 057117

INNEHÅLL

FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	7
1. INLEDNING	9
2. TEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	11
2.1 Allmänt	11
2.2 Effektbehov	12
2.3 Energiförbrukning	12
2.4 Målsättning	13
2.5 Radiatorvärme, alternativt golvvärme	13
2.6 Tappvarmvatten	14
2.7 Kulvert	14
3. VÄRMEUPPTAGARE	15
3.1 Ytjordvärme	15
3.1.1 Allmänt	15
3.1.2 Geoteknisk undersökning	15
3.1.3 Effektdimensionering	17
3.1.4 Rörläggning	17
3.1.5 Markkollektorns yta	18
3.1.6 Energiuttag	19
3.2 Luftvärme	20
3.3 Övrigt. (Förstorad markkollektor)	21
4. VÄRMEPUMP	23
4.1 Funktion	23
4.2 Temperaturnivåer	23
4.3 Verkningsgrad	23
4.4 Värmepumptyp	23
4.5 Systembeskrivning	25
4.6 Energivinst genom utnyttjande av ytjord- och luftvärme	25
4.7 Energivinst genom utnyttjande av golvvärme	26
4.8 Övrigt. (Upptining av markkollektor)	27
5. KOSTNADER	29
5.1 Jämförelse mellan mark/luft- och marksystem	29
5.2 Jämförelse mellan värmepump- och oljepann-central	29
6. MÄTNINGAR	31
7. SLUTORD	33
LITTERATURFÖRTECKNING	35
BILAGOR	37

FÖRORD

Malmö Fastighetskontor arrangerade 1978 en tävling om energisnåla radhus för Kv. Valdemarsro. Avsikten var att få projekterat c:a 25 radhus med en årlig energiförbrukning av högst 60 kWh/m², avseende köpt energi och boendeyta. Som resultat av ett samarbete mellan Sjärnån Bygg AB, Malmö, Karl Koistinen Arkitektkontor AB, Lund och Minergi AB, Malmö, inlämnades ett förslag där radhusen försågs med en gemensam värmepumpanläggning. Detta gav en högsta energiförbrukning av 32 kWh/m².

Vinnande förslaget utnyttjade fjärrvärme samt smala och välisolerade radhus och avsevärd hänsyn togs till själva huspriset. Värmepumpförslaget (28 hus) fick gott omnämnande av Fastighetsnämnden. Det beslutades att annan mark för detta projekt skulle anordnas. Marktillgången i Malmö är liten och en stor del av byggelsen reserveras för fjärrvärme. Bland ett antal förslag bedömdes kv. Bobinen vara ett möjligt område. Området består av två kvarter, kv. Bobinen och kv. Sträckbommen men betecknas i fortsättningen enbart med "Bobinen". Gällande stadsplan tillåter friliggande hus. Grannarna gick emot en dispens för byggande av ett större antal radhus, varefter sammanjämkningar utmynnande i föreliggande förslag, som gäller 13 hus, varav 10 parhus och 3 fristående hus.

Intresset för en centralanläggning för kombinerad luft- och ytjordvärme är stort. Inverkan på kostnader och driftförhållanden, när markkollektorytan görs mindre än ordinärt måste demonstreras.

Vinsten av en matchning mellan luft- och jordvärme för att nå en optimal värmefaktor är likaledes av intresse. Resultatet bör kunna studeras även med den mindre värmepumpstorlek som 13 hus medför. Med dagens apparatutbud kan en husgrupp om 30-40 hus förmodas vara ekonomiskt lämplig.

Erfarenheter av service- och investeringskostnader kan extrapoleras till en större värmepump och det större antal hus där fulllönsamhet i projektet erhålles.

I arbetet har från kommunens sida deltagit bl.a. fastighetsdirektör Göte Gustavsson, Gustav Ekvall och Sven-Erik Portell. I arbetsgruppen har ingått Rolf Hörnell, Sjärnån Bygg AB, Karl Koistinen, arkitekt, Lund, Rolf Sandell, Minergi AB jämte projektledaren Lennart Wetterstad, Minergi AB.

I referensgruppen har deltagit professor Bo Adamsson, LTH, professor Lars Jensen, LTH, l. ingenjör Uno Odenmar och ingenjör Olle Sund, Fastighetskontoret samt ingenjör Christer Böös, Energiverket, Malmö.

SAMMANFATTNING

Malmö kommun har upplåtit mark för en byggnation av 13 villor med hyresrätt. Angränsande parkmark har man tänkt använda för nedläggning av ytjordvärmslingor och uppställning av en luftvärmekollektor. Den senare hämtar värme ur luften under vår, sommar och höst medan marken får vara värmekälla under vintern. På detta sätt nedbringas storleken på markkollektorn till c:a en fjärdedel och den jämförbara kostnaden till hälften. Vidare höjs värmepumpens verkningsgrad genom att högre förångningstemperatur kan hållas sommartid. Avfrostningsproblem som ofta förekommer vid renodlade luftvärmepumpar kan även undvikas. Husen, som skall byggas för lågenergi, utförs med lågkapacitiv golvvärme vilket sänker värmepumpens kondenseringstemperatur och därmed höjer verkningsgraden.

Denna förstudie avser en preliminär bedömning av effektbehov, energiförbrukning, principer och temperaturnivåer för en värmepumpcentral samt bedömning av erforderlig storlek på luftvärme- resp. markvärmekollektorn. Kostnadsanalyser har även utförts.

Värmepumpen inryms i en central för att servicekostnaden skall kunna hållas nere och driftsäkerheten ökas. Värmepumpen skall leverera 70 kW och 200 MWh/år d.v.s. hela årsbehovet.

Knappt hälften av hela gratisenergin tas ur jorden och detta beräknas ske från början av december till slutet av mars. Under övergångsperioderna kommer värme att tas ur både mark och luft. Vid +5° beräknas värmeväxlaren i luften vara fullt utnyttjad.

Värmepumpen väljes för att ge 43° utgående värmevattentemperatur vid dimensionerade utetemperaturer -14°C. Tappvarmvattentemperaturen väljes till 50°. Detta kräver hetgasvärmeväxlare i värmepumpen och R 22 som köldmedium. I mark- och luftkollektorn användes samma brine, d.v.s. vatten med 39% glykolinblandning. Detta motsvarar frystemperaturen -22°.

En geoteknisk undersökning har gjorts och den visar att marken är lämplig för förläggning av ytjordvärmslangor av typ PEL 40 x 3,7 mm. En maximal yteffekt av 27W/m väljes istället för 6 W/m som vore det normala om hela värmebehovet skulle tas ur jorden. Den behövliga markytan blir här 3.200 m². I det andra fallet skulle inte ytan i parken räcka till.

Kostnaderna påverkas av projektets forskningskaraktär samt oprövade system. Kostnaderna har jämförts med en oljepanncentral som bör vara billigaste alternativet i dagens läge. En sådan får emellertid inte användas i Malmö längre. Värmepumpalternativet ger 587.000:-- kronor högre investeringskostnad. Härav utgör projekteringskostnadsdelen 275.000:-- kronor. Årliga energibesparingen blir över 100 MWh.

1 INLEDNING

Föreliggande rapport redovisar en förstudie till ett projekt som har diskuterats fram mellan representanter för Malmö kommun d.v.s. Fastighets-, Stadsplane- och Gatukontoren och nämnda konsulter under åren 1978 - 80.

Kvarteret Bobinen består av ett långsmalt område mellan en anslutningsramp till en motorväg, Malmö - Trelleborg, och en gata som på motsatta sidan är bebyggd med villor, bil. 1.

I söder gränsar området till en högt belägen gata varför en successiv uppfyllnad där måste ske. En skyddsvall kommer att anläggas mellan motorväg och park. De byggnader som nu finns på området kommer att rivas.

Området delas på längden i kvartersmark, 5.564,7 m², och park c:a 10.000 m². En bebyggelse av 13 villor, 1 1/2 plans lågenergihus, planeras. Husen är placerade med fasaderna mot väster och öster vilket i stort sett gör dem mindre lämpliga för passivt solutnyttjande. Husen har emellertid konstruerats med isoleringsstandard som är högre än vad SBN 75 kräver. FTX-ventilation, golvvärme och lågtemperatursystem för distribution av värme och varmvatten kommer även att användas.

Bobinen är ett kvarter som Malmö Energiverk har av sagt sig för fjärrvärme. Grannfastigheterna är elvärmda. Direktverkande elvärme har dock på senare tid blivit tveksamt på grund av den låsning mot alternativ som elvärme medför. Vattenburen elvärme med elpanna i varje villa är ett möjligt alternativ men man frångår då principen med att använda en gemensam central.

Husen skall upplåtas med hyresrätt. Ackumulerad elvärme för nattström med tank i varje villa eller i en central är inte lönsamt idag med de eltaxor som förekommer i Malmö. En oljepanncentral är troligen det billigaste alternativet men sådana tillåts inte längre i Malmö av miljöskäl. Kvar står då en värmepumpcentral som varande ett intressant alternativ.

Ett flertal tidigare utredningar avseende värmekällor och värmepumpanläggningar, se litteraturförteckning (1, 2, 3, 4, 7, 8), ligger till grund. Ytterst få värmepumpanläggningar utnyttjar luft- och jordvärme eller sol- och jordvärme etc., troligen beroende på att investerings- och servicekostnaderna väntas bli stora vid sådana kombinerade (dubbla) system. Detta har nog sin riktighet vad det gäller villavärmepumpar men inte större värmepumpar.

Inga studier eller demonstrationsanläggningar har oss veterligt utförts, där en värmepumpcentral för ett större antal hus utnyttjar luftvärme under vår, sommar och höst och jordvärme under den kallare perioden, detta för att högsta möjliga värmefaktor och minsta möjliga servicekostnad skall uppnås. Investeringskostnaden för en luftvärmekollektor blir dessutom lägre än för en ytjordvärmekollektor med motsvarande kapacitet, se pkt 5.1.

2 TEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

2.1 Allmänt

Byggnaderna består av fyra typer, d.v.s. parhus, i stort sett spegelvända (Typ 1 och 1 S) jämte fristående hus, också spegelvända (Typ 2 och 2 S).

Energi- och effektbehovet för värme, tappvarmvatten och ventilation jämte hushållsel har beräknats med metoder enl. Källblad, Adamsson (6). Tillskott från sol- och personvärme har inte medtagits.

För varje hus kräver varmvatten 5.000 kWh/år och hushållsel 3.650 kWh/år. Av detta beräknas 20% resp. 80% komma huset tillgodo som värme, d.v.s. tillskott 3.900 kWh/år.

Värmeväxling mellan till- och frånluften användes. Önskad luftvärmeväxling har valts till 0,5 omsättn/h och korsströmsvärmeväxlarens entalpiverkningsgrad uppskattas till 0,65 vid effektberäkningen och 0,3 vid energiberäkningen. Den ofrivilliga ventilationen antages vara 0,3 omsättn./h inklusive flödesskillnaden mellan F- och T-fläkten i aggregatet. Antalet gradtimmar för orten har satts till 100.000 grdh/år.

Byggnad	Vån. area m ²	Volym m ³	Transm. area m ²	Fönster- area m ²	Transm.W/°C,m ²	
					Bobinen	SBN
Typ 1 o 1S	163	476	329	23	0,29	0,41
" 2 o 2S	168	486	389 resp. 393	23	0,28	0,38

Effektbehovet för varmvatten beräknas vara 1 kW/hus eftersom sammanlagring sker och ackumuleringstankar finns i värmecentralen.

Värmeförlusterna i kulverten som till stor del ligger under husen antages vara 3% i medeltal under året.

Centralbyggnaden med våningsarea 36 m² försänkes delvis under marknivå (1 m). Detta ger enklare anslutning av kulvert och markslingor och eliminerar buller från maskiner. Centralbyggnaden har ingen särskild uppvärmning.

2.2 Effektbehov

Följande effektbehov vid den dimensionerade utetemperaturen -14° har beräknats. Innetemperaturen antages vara 20° .

Byggnad	Transmission kW	Ventilation kW	Varmvatten kW	Summa kW
Typ 1 o 1S	3,3	0,7	1	4,1
" 2 o 2S	4,5	0,7	1	6,2
Totalt 13 hus	46,5	9,1	13	68,6

Inklusive förluster blir effektbehovet från värmepumpen 70 kW.

2.3 Energiförbrukning

Följande energiförbrukning per år beräknas

Byggnad	Transmission kWh/år	Ventilation kWh/år	Varmvatten kWh/år	Summa kWh
Typ 1 o 1S	9.700	3.600	5.000	18.300
" 2 o 2S	12.300	3.600	5.000	20.900
Totalt 13 hus	133.900	46.800	65.000	245.700
Tillgodo 13 hus, från vv och hushållsel.				51.000

Nettobehovet av värme från värmepumpen när även förluster inräknats, är 200 MWh/år

2.4 Målsättning

Vid utformningen av detta värmepumpsystem har följande synpunkter varit vägledande:

1. Samhällets produktionsapparat för elgenerering bör ej belastas genom tillfälliga inkopplingar av direktelvärmesystem vid låga utetemperaturer.
2. För att ge värmepumpen (VP) bästa möjliga värmefaktor och samtidigt begränsa förlusterna bör värme och varmvatten distribueras i ett utpräglat lågtemperatursystem.
3. Med hänsyn till de kraftigt stigande arbetskostnaderna måste underhålls- och tillsynsfrågorna lösas på ett rationellt sätt.

Punkt 3 uppfylles bäst med en gemensam energicentral där skötsel och reparationer kan fortgå utan att störa de boende. Samtidigt har sådana förebyggande åtgärder vidtagits att hela områdets energiförsörjning tryggas (el) vid ett haveri. Vidare finns möjlighet att använda andra alternativa energikällor såsom värmepanna för gas- eller fasta bränslen, solkollektorer, eller då tekniken mognat, dieseldriven värmepump.

2.5 Radiatorvärmesystem, alternativt golvvärme

Radiatorer:

Om radiatorkretsen dimensioneras för en högsta vattentemperatur av $+45^{\circ}$ vid LUT -14° visar i vårt fall en utredning, att radiatorytan måste förstöras 2,8 ggr. jämfört med ett 80/60-system om samtidigt flödet ökas 1,5 ggr. Temperaturfallet i dimensioneringspunkten blir något mer än 13° . Tack vare husens låga energibehov kommer emellertid radiatorerna inte att bli så mycket större än i hus byggda enligt SBN 67. Radiatordimensionerna kan mycket väl anpassas till rådande fönsterdimensioner.

Golvvärme:

Golvvärmesystem har visat sig vara ekonomiskt konkurrenskraftigt när man beaktar att högsta vattentemperaturen kan hållas vid 40° vilket är fördelaktigt för VP:s värmefaktor. Man får dessutom ett behagligt rumsklimat. Treglasfönster gör att kallras inte blir märkbart trots avsaknad av värmekällor under fönstren. Golven konstrueras även för minsta möjliga värmetröghet. Golvvärmelementen som har underliggande isolering täcks med endast spånskiva och golvbeläggning. Denna typ av golvvärme har använts bl.a. i Brämhultsprojektet, Borås (7) med gott resultat. Utgående temperaturen har där varit $40-42^{\circ}$ vid -20° ute.

Vi avser att använda 43° som högsta utgående temperatur vid värmecentralen vilket bör motsvara 42° ing. golvvärmetemperatur.

2.6 Tappvarmvatten

Eftersom en VP med hetgasvärmväxlare väljes kan denna användas för att ge tappvarmvattnet en sluttemperatur på c:a 50° . Varmvattnet förvärms i kondensorvärmväxlaren. 50° är en tillräckligt hög temperaturnivå för de boende.

2.7 Kulvert

Värmecentralen placeras så nära mitten av husraden som stadsplanen tillåter, bil. 1, för att ge kulverten minsta möjliga rördimensioner. Kulverten är av konventionell kassettyp, välisolerad och lättåtkomlig vid anslutningarna. Kulvertlängden är 190 m, varav 2/3 under husen. Förlusternas storlek är svårbedömda. Kulverttillverkare har inga uppgifter och de värden som uppges i tillgänglig litteratur varierar mellan 4 och 30 W/m beroende på rördiameter, temperatur och isoleringsgrad. Med hänsyn till att det här gäller ett utpräglat lågtemperatursystem och att kulverten bara till en mindre del befinner sig i jorden utanför husen, antas månadsförlusterna vara 3% av värme- och 5% av varmvattenförbrukningen.

3. VÄRMEUPPTAGARE

3.1 Ytjordvärme

3.1.1 Allmänt

Ytjordvärmesystemet dimensioneras i enlighet med principer i litteraturen och rekommendationer av Palne Mogensen, AGA-Thermia (10) (11) (12) och Rolf Wikstén, STF, Helsingfors (13). En del andra experter som framträdde vid Nordic Symposium, CTH, 1979 (9) har också rådfrågats.

Den dimensionerade effekt som kan tas ur jorden utan att växtligheten påverkas negativt anges olika av olika källor. Den beror av markens fuktighet, geografiska belägenhet m.m. Polyeten (PEL)-slangar med diameter 40/35 eller 40/32 har av erfarenhet visat sig vara lämpliga. Med hänsyn till förekomst av flinta i marken kommer slang 40/32 som har tjockare rörvägg att användas i detta projekt.

Von Cube i Heidelberg (9, Supplement, pp 41, 56, 69) (19) har utnyttjat max 25 W/m^2 under en lång tid i ett stort antal anläggningar.

Mark Forsmand, Danmark (20) uppger att $29-35 \text{ W/m}^2$ kan tas ut utan att förångningstemperaturen understiger -5°C . Detta gäller om slangarna är placerade på $1,5 - 2 \text{ m}$ djup och på $1,5 - 2 \text{ m}$ avstånd. Detta motsvarar c:a 18 W/m^2 . Forsmand har lång erfarenhet av danska anläggningar.

Wikstén, Helsingfors, rekommenderar värdet 10 W/m^2 i medeltal för finska anläggningar och Mogensen, AGA Thermia, (11) har beräknat och mätt brinetemperaturen i långtidscykler vid ett effektuttag av $6,1 \text{ W/m}^2$ på $0,95 \text{ m}$ djup vid 2 m avstånd mellan slingorna. Detta motsvarar c:a 3 W/m^2 i medeleffektuttag. $8 - 20 \text{ W/m}^2$ rekommenderas vanligtvis för dimensioneringen enligt AGA Thermia som är Sveriges största leverantör av ytjordvärmeanläggningar.

3.1.2 Geoteknisk undersökning

En jordartklassificering jämte vattenhaltsbestämning har utförts inom parkmarken på kv. Bobinen, under vecka 35, 1979. Resultatet framgår av tabell nedan och bil. 3. 10 hål upptogs med skruvborr. Marken där ytjordvärmen skall användas består av moränlera eller lerig morän. Fukthalten var ganska låg. Flint- och kalkbitar förekommer i riklig omfattning men stora flintstenar har inte kunnat observeras. Marken befanns därför vara lämplig för ytjordvärme.

HÅL	DJUP	JORDART	VATTENHALT %	ANM
1	0,45-1,5	lerig moig morän	11,8	} kalk och flint- bitar
	1,5 -1,85	moränlera	12,3	
	1,85-2,0	lerig morän	11,9	
2	0,6 -1,5	finmo	9,3	
	1,5 -2,0	moränlera	12,7	
3	0,5- 1,2	lerig morän	8,5	
4	0,65-1,4	något lerig mo	11,2	
	1,4 -1,85	moränlera	10,9	
	1,85-2,25	morän	7,6	
5	0,4 -1,4	något lerig moig morän	9,5	
	1,4 -1,8	moränlera	10,6	
6	0,55-1,3	moränlera	16,1	
	1,3 -2,0	moränlera	13,1	
7	0,45-1,4	moränlera	11,6	
	1,4 -2,0	moränlera	12,8	
8	0,7 -1,3	moränlera	10,4	
	1,3 -2,0	moränlera	11,2	
9	0,5 -1,4	moränlera	10,1	
	1,4 -2,0	moränlera	16,4	
10	0,8 -1,0	mo	10,4	
	1,0 -1,65	moränlera	13,3	
	1,65-1,7	mo	9,3	
	1,7 -2,1	moränlera	11,8	

3.1.3 Effektdimensionering

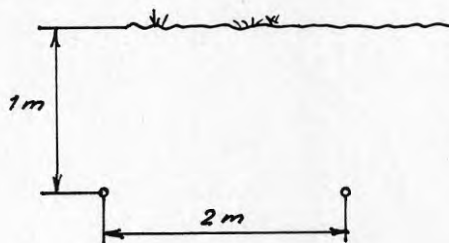
Markvärmekollektorn utföres i fyra parallellkopplade och avstängningsbara sektioner för att pumpeffekten skall bli låg och större driftsäkerhet vid en eventuell läcka i slangarna erhållas. Värmebärande medium är en 39%-ig glykolvattenblandning, brine.

Markkolektorns högsta effektbelastning är vald till $13,5 \text{ W/m}^2$ d.v.s. 27 W/m . Detta värde godtas med hänsyn till att värme endast tas ut ur jorden under vintermånaderna, en tredjedel av året. Slangarna läggs på stort avstånd (2 m) från varandra och studier av frostillväxt och upptining kring slangarna enligt ref. (11) visar att effektuttaget kan klaras. Reserv i form av värme från luftvärmekollektorn finns dessutom att tillgå ehuru med något lägre verkningsgrad och då med visst krav på avfrostning av värmeväxlaren.

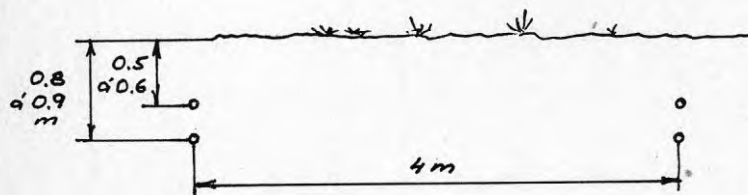
3.1.4 Rörläggning

Befintliga telekablar begränsar friheten vid läggningen av rörslingorna i kv. Bobinen, se bil. 1 och 2. Sektionerna, 4 st, har i möjligaste mån samma rörlängd och antal krökar etc., för att flödet skall bli lika och därmed likformig markvärmebelastning skall erhållas.

Rören läggs på 1 m djup med delningsavstånd 2 m. Enl. ett annat men ännu inte prövat förslag kan två rör läggas i en grundare rörgrav, se figur.



A1.1
Vald förläggning



A1.2

Horisontella avståndet mellan rören måste då väljas dubbelt så stort. Ev. farhågor för att dagmaskar etc. blir inestängda mellan två tjälfronter skulle därmed undvikas. Lantbruksuniversitetet vid Ultuna (17) har forskning pågående beträffande inverkan på växter och djur.

3.1.5 Markkolektorns yta:

Ytan dimensioneras enl. följande. \dot{Q}_1 är värmeeffekten och \dot{Q}_2 är kyleffekten. N är tillförd¹effekt till VP:s kompressor. ϕ är värmefaktorn.

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + N; \quad \phi = \frac{Q_1}{N}$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_1 \times \frac{\phi - 1}{\phi}$$

där $\phi = 2,6$ vid max. effekt

$$\dot{Q}_2 = 70 \times \frac{2,6 - 1}{2,6} = 43 \text{ kW}$$

Med markkolektorns effektbelastning vald till max. 13,5 W/m² eller 27 W/m slang, erhålles ytan Y och slanglängden L:

$$Y = \frac{\dot{Q}_2}{13,5} = \frac{43.000}{13,5} = 3.200 \text{ m}^2$$

$$L = 1.600 \text{ m}$$

d.v.s. 400 m per sektion.

3.1.6 Energiuttag

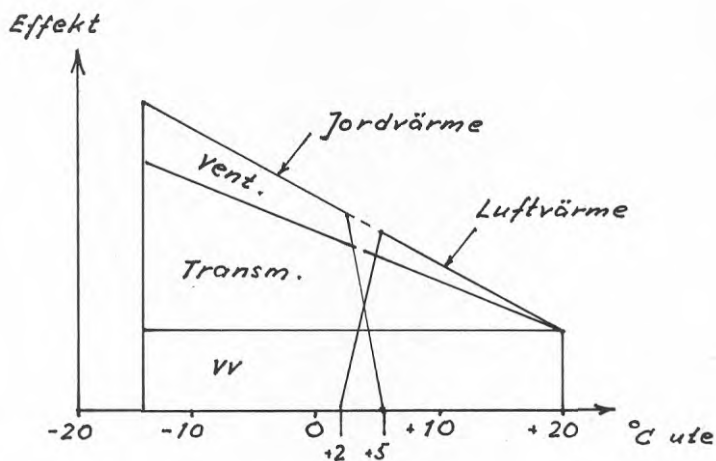
När brinen passerar det nedgrävda slangsystemet kyls marken till tjältemperatur samtidigt som brinen värms. Då brinen uppvärmd återkommer till VP kyls den ner i förångaren och pumpas därefter ut för förnyad uppvärmning. Övergång till markenergi beräknas ske omkring 1 dec. och återgång till luftenergi i slutet av mars. Värmebehovet för villorna, december - mars är c:a 100.000 kWh, bil. 4. Ur marken kommer att utvinnas c:a 50.000 kWh, d.v.s. knappt hälften av de 110.000 kWh som är den totala utnyttjade "gratisenergin". Den gjorda uppdelningen på mark resp. luft är osäker för mars och november - december.

3.2 Luftvärme

Från slutet av mars och till 1 december sker värmeupptagningen från uteluften. Under resterande del av året från marken. I båda fallen pumpas samma brine ut från VP.

Blandningen passerar i luftvärmefallet en luftvärmekollektor där genomströmmande luft kyls och följaktligen brinen värms. Denna värmväxlare är av samma typ som användes vid kylmaskiners luftkylda kondensorer.

Vid utelufttemperaturen $+5^{\circ}$ är luftvärmekollektorn fullt utnyttjad och ytterligare energibehov kompenseras genom uttag ur markslingorna. För att undvika nedisning av luftkylaren kopplas denna successivt ur vid lägre utetemperatur mellan $+5^{\circ}$ och $+2^{\circ}$. Pumparna för luft- resp. markvärme har on-off-reglering och styrs av termostater.



Luftvärmekollektorn har två inbyggda fläktar och är anpassad för glykolvattendrift. Följande tekniska data gäller för en luftvärmekollektor av märket Asarum KDVA-7:

Ingående köldbärartemp.	-10°C
Effekt vid $t_{\text{luft}}=10^{\circ}$	61,5 kW
Fläkteffekt	2 x 0,73 kW
Dimension L x B x H	2060 x 1200 x 1300 mm

Den skall uppställas nära motorvägen på exempelvis betongplatta. Infällning i bullervallen eller ett staket och buskar som bullerdämpning kan vara lämpligt trots att ljudproblemen inte är stora. Ljudtrycknivån omedelbart intill aggregatet är 67 dB(A) och det står på c:a 50 m avstånd från husen. Ledningarna till och från luftvärme-kollektorn kan läggas på 0,5 m djup, ev. oisolerade. Dimensionerande ingående köldbärartemperatur är -10° . Under driftmånaderna antages att märkeffekten utnyttjas helt, d.v.s. $2 \times 0,73$ kW. Detta är en förlust som inte kommer husens uppvärmning tillgodo, eftersom apparaten står utomhus och har fläktarna placerade nedströms batteriet.

3.3 Övrigt. Förstorad markkolektor

Med hänsyn till projektets forskningskaraktär ansökes ev. hos BFR om anslag för att kunna göra markkolektorn dubbelt så stor. Den blir då 6.400 m^2 och uppdelas i 8 sektioner varvid större eller mindre ytor kan utnyttjas. Om samma växter planteras i parken kan eventuell inverkan på växtligheten studeras. Driftresultaten kommer efter några år att visa lämpligt utnyttjande av kollektoryta, effektuttag per meter slang, etc.

4. VÄRMEPUMP

4.1 Funktion

Projektet innebär att all energi för uppvärmning, ventilation och varmvattenberedning avges från ett enda system - värmepumpen. Tillsatsvärme för "spetsning" förekommer inte. VP:s avgivna energi är summan av den i förångaren upptagna energin och den elenergi som tillförs kompressorn.

4.2 Temperaturnivåer

VP arbetar med R 22 som köldmedium. VP höjer den upptagna energins temperatur till en för uppvärmning användbar nivå. Energin avges vid flera nivåer. Huvuddelen lämnas i kondensörvärmväxlaren vid en kondenseringstemperatur av c:a 45°. 15-17% av värmen kan tas ut vid en temperatur mellan 120° och 50° i en hetgasvärmväxlare. All tillsatsvärme för husens transmission och ventilation erhålles från kondensörvärmväxlaren som också förvärmer tappvarmvattnet. Hetgasvux används för att ge tappvarmvattnet dess sluttemperatur c:a 50°C.

4.3 Verkningsgrad

I och med att vattentemperaturerna valts så låga som 42° (golvvärme) och 50° (vv) minskas VP:s pumphöjd vilket förbättrar värmefaktorn. Värmepumpens årsmedelvärmefaktor blir $\phi_{\text{brutto}} = 3,0$. När samtliga energiförbrukande apparater i värmecentralen inkluderas och de förluster från VP, tankar och vattenspumpar medräknas som inte kan nyttiggöras i form av uppvärmt vatten och uppvärmning av centralbyggnaden blir $\phi_{\text{netto}} = 2,2$. Alla pumpeffekter anses till 80% komma det cirkulerande vattnet och därmed husen till del.

4.4 Värmepumptyp

Värmepumpen är av semihermetisk typ med kapacitetsreglering mellan 25 och 100%. Den har elektronisk reglercentral. Beroende av vilket värmepumpfabrikat som väljes har VP en eller två enstegs kolvkompressorer. STAL levererar en passande storlek VMV6. Denna har endast en kompressor och haveriberedskapen blir därmed mindre. Beredskapen kan ordnas på annat sätt, t.ex. med elpanna i centralen eller braskaminer i husen. En annan leverantör som rådfrågats för denna VP-storlek är IVAB, Tranås.

Följande tekniska data gäller för VMV6:

Utgående brinetemperatur	-10°C
Viktsprocent etylenglykol	39%
Kyleffekt Q_2	57,3 kW
Temperatursänkning i köldbärare	5,7°C
Köldbärrarflöde	10 m ³ /h
Tryckfall i förångare	15 kPa
Försmutsningsmotstånd	0,00005 m ² k/W
Tillförd effekt E	30,9 kW
Värmeeffekt Q_1	88,1 kW
Köldmedium	R 22
Kondenseringstemperatur	45°C
Dimension L x B x H	2295 x 850 x 1395
Ljuddata fritt fält avstånd 1 m	79 dB(A)

VP:s genomsnittliga kapacitetsfaktor visas i bil. 4.

Under sommarens lågbelastning går VP intermittent.

4.5 Systembeskrivning

Systemet visas i principschema, bil. 5. Två varmvattenberedare på vardera 1,5 m³ är anslutna med vardera sin cirkulationskrets till VP:s kondensator (krets 1) resp. hetgas - vv (krets 2). VVB visas i figuren dubbelmantlade med värmeöverföring i princip medelst egenkonvektion. Om fabrikat CTC väljes kommer tankarna troligen att levereras med var sin SKR-vvx och cirk. pump (system D) vilket är fördelaktigare prismässigt.

Pumpar saknas i husen. De nödvändiga sex cirkulationspumparna är placerade i värmecentralen och betecknas P1-P6. Pumparna P1 (värme) och P2 (vv) är i kontinuerlig drift medan P3 och P4 samkörs med VP och går således intermitterent. P5 (mark) styres dels av utetemperaturer dels av VP. Vid utetemperatur -4^o samkörs den helt med VP. Den är således ur drift under april - december. P5 kan lämpligen ha en 2-hastighetsmotor. P6 samkörs helt med VP. Vid VP-haveri måste P3 vara i drift.

RV1 är en shuntventil för styrning av värme till husen, bil. 5. RV2 är en reglerventil för konstanthållning av tappvarmvattnets temperatur. RV3 är en trevägsventil för styrning av brinetemperatur. SV1, SV2, SV3, är strypventiler för inställning av passande flöden.

Vid ett ev. VP-haveri avstängs tappvarmvattnet och vattenflödet omkopplas så att hela systemet kan tillgodogöra sig tillskottsvärme. Med AV1 öppnas ledningar mellan krets 1 och 2. Tankarnas ackumulerade värme utnyttjas och ledig effekt som bestäms av säkringarna för värmecentralen (100A) inkopplas till elpatroner i krets 2. Denna strömstyrka motsvarar 66 kW och motsvarar nästan högsta effektbehovet 70 kW. Med förnuftig planerad reservdelshållning beräknas stilleståndstiden till högst 24 timmar.

4.6 Energivinst genom utnyttjande av ytjord- och luftvärme

Bernt Bäckström visar i (18) en årlig energiminnsning av 33% och en effektminskning av 40% för en ytjordvärmepump (1 MW) jämfört med en luftvärmepump. Även kostnadsreduktionen visas. Jämförelsen utfaller emellertid inte till ytjordvärmepumpens fördel i hela driftområdet.

Hur stor blir energivinsten om man som i vårt fall kombinerar anläggningarna? Ett diagram enligt Bäckström kan användas, bil. 6 och kurva A och B betraktas. COP är värmepumpens värmefaktor d.v.s. ϕ .

Skärningspunkten där luftvärme (kurva A) ger högre COP än ytjordvärme (kurva B) inträffar vid 5760 h och motsvaras av utetemperaturer +9^o. I det streckade området höjs alltså COP med hjälp av luftvärmen.

Området mellan 8760 h, hela året, och 5760 h, d.v.s. 3000 h uppdelas i 4 smalare staplar. ϕ_A och ϕ_B uppmättes därefter för varje stapel och det streckade området kan på så sätt integreras.

Minskningen av tillförd energi till värmepumpens kompressor,

$$\Delta N = Q_1 \left(\frac{1}{\phi_B} - \frac{1}{\phi_A} \right), \text{ kan sedan beräknas. Härvid måste}$$

den procentuella effektbelastningen (heat load) i det streckade området beaktas. Den stämmer inte med vårt fall. I vårt fall är energin för vv-uppvärmning en avsevärt större del av totalt levererad värme på grund av att husen är byggda för lågenergi. Värmepumpens kapacitetsutnyttjande visas i bil. 4. Under sommarmånaderna juni-september, då det streckade området i diagrammet infaller, är kapacitetsfaktorn 28% för en VMV6 värmepump.

Totala energibehovet för Bobinen är enl. tidigare 200 MWh/år.

Energivinsten blir då

$$200.000 \times 0,28 \left(\frac{740}{3.000} \times 0,0096 + \frac{1.000}{3.000} \times 0,0248 + \frac{1.000}{3.000} \times 0,0457 + \frac{260}{3.000} \times 0,105 \right) = 1.958 \text{ kWh/år}$$

Denna energibesparing motsvarar 293 kr/år med priset 0,2 kr/kWh, och nuvärdet av besparingen blir vid 10% ränta och 15 år c:a 2.200 kr.

Vid luftvärmefallet blir pumpeffekten för brinen mindre än i ytjordvärmefallet. Vidare har Malmö ett mildt klimat och vi räknar enl. tidigare med att växlingspunkten kommer att ligga vid +5° istället för vid +9° som i diagrammet. Vi räknar också med att både ytjord- och luftvärmekollektorerna skall utnyttjas i temperaturområdet +5° till +20°, se fig., avsnitt 3.2. Värmepumpen har god reglerbarhet och man kan räkna med att avfrostningsenergi undviks. Därför kan förväntas att besparingen blir avsevärt större.

4.7 Energivinst genom utnyttjande av golvvärme

Skillnaden i värmepumpens värmefaktor ϕ mellan radiatorer och golvvärme beräknas överslagsvis. Förstorade (lågtemperatur-) radiatorer används vid jämförelsen. Golvvärmesystemet dimensioneras för 42/35°, d.v.s. för 3° lägre framledningstemperatur än vid radiatorerna. Det förutsättes att VP:s hetgasvärmväxlare och ackumuleringsstankar klarar högsta temperaturen 50° på tappvarmvattnet trots den lägre kondenseringstemperaturen.

Skillnaden 3° i framledningstemperatur ger med beräknade värmefaktorer

$$E = Q_1 \left(\frac{1}{3,0} - \frac{1}{3,1} \right) = 135.000 (0,33 - 0,323) = 1.350 \text{ kWh/år}$$

Denna energibesparing motsvarar c:a 270 kr/år med priset 0,2 kr/kWh. Nuvärdet av besparingen blir vid 10% ränta och 15 års livslängd, c:a 2.000 kr.

Den energivinst som tillkommer av att golvvärme ger ett bättre inomhusklimat ger sannolikt ett större bidrag till energibesparingen.

4.8 Övrigt. Upptining av markkollector

Om så önskas av forskningsskäl kan en koppling utföras som sommartid leder brine ner i markslingorna efter att brinen har hämtat värme i luftvärmekollektorn. Marktemperaturen skulle då snabbt återställas och en viss ackumulering av värme kunna ske. Mindre markareal för jordslingor skulle då ev. behövas. Anslag kommer ev att sökas hos BFR för en sådan undersökning.

5. KOSTNADER5.1 Jämförelse mellan mark/luft- och marksystem

Om luftvärme inte skulle användas under en stor del av året måste markslingornas längd utökas för att minska rörens yteffekt. En maximal yteffekt av 27 W/m valdes på grund av kombinationen mark/luft. Vid enbart markanvändning kommer högst 6 W/m (11) att godtas. Den högre yteffekten motsvarar 3.200 m² mark resp. 1.600 m rörslingor, fall A, jämfört med 14.500 m² resp. 7.250 m för fall B. Park inkl. vägbank vid Bobinen skulle inte räcka till. Ytan är 8.900 m² mellan telekablarna.

Bortsett från detta bör kostnaderna jämföras.

A. Mark- och luftvärmesystem

Jordvärmekollektor 1.600 m à 20:--	32.000
Luftvärme"-	18.000
ledningar och pump	2.000
fundament	3.000
extra reglersystem	<u>5.000</u>
	60.000 kr

B. Markvärmesystem

Jordvärmekollektor 7.250 m à 18:--	130.000 kr
------------------------------------	------------

Ev. extra servicekostnad för fall A kompenseras av energivinsten enl. pkt 4.6. Energi till fläktar i fall A uppväges mer än väl av mindre pumparbete i jordslingorna. Jfrt med B:s motsvarar A:s kostnader 14% dvs 130-60/432+(130-60) se bil 7, mindre total kostnad när projekteringen borträknats.

5.2 Jämförelse mellan värmepump- och oljepanncentral

Som jämförelse har kostnaderna som påverkas i de två alternativen jämförts.

Oljepriset 1.300 kr/m³ och årsmedelverkningsgraden på pannan 80% har använts.

Elkostnaderna för värmepump, 86 A, och pumpar etc., 10 A, har beräknats med gällande taxor från Malmö energiverk.

Abonnemangsavgift 100 A	3.800 kr/år
Energiavgift, Tariff ES 40	16 + 4 öre/kWh

Kostnaderna jämte använda avskrivningstider visas i följande tabeller, bil. 7. Annuiteten har beräknats med kalkylränta 10%.

Som framgår av tabellerna ger värmepumpalternativet 587.000 kr högre investeringskostnad än konventionell oljeeldningscentral. Härav utgör projekteringsdelen 275.000 kr. Energibesparingen tack vare värmepumpen blir 109.000 kWh. Kostnaderna kan förefalla höga men påverkas av projektets forskningskaraktär samt oprövade system och konstruktioner. Kostnaderna skulle dessutom slås ut på ett större antal hus än 13. Uppskattningsvis blir lönsamheten god vid 30-40 hus.

6. MÄTNINGAR

För utvärdering av anläggningen är vissa mätningar nödvändiga. Följande parametrar är intressanta:

- Utetemp. och % RF samt marktemperatur på några punkter. Frostning av vvx observeras.
- Temp.differens och flöde i alla kretsarna d.v.s. mark- och luftbrine, värme, vv. Utvärdering av värmefaktor.
- Kondenserings- och förångningstemperatur.
- El till värmepump och kringutrustning.
- Drifttider. Styrning av mark- och luftkrets.
- Markobservationer.
- Drift- och serviceförhållanden.

En referensgrupp med representanter från Malmö kommun och LTH har bildats för uppföljning av projektering och utvärdering. LTH kommer att ansöka om BFR-anslag för ett mät- och utvärderingsprogram. I detta kommer förutom ovanstående mätuppgifter att ingå utvärdering och mätning av golvvärmen jämte energiåtgången i varje hus.

Förstudien visar att med stöd av BFR proj. är ek. och tekniskt möjligt. Det bör genomföras och utvärderas eftersom ett liknande system ännu inte provats. Storskalig ytjordvärme är intressant av många anledningar. Hittills har Sverige tyvärr inte satsat på så många sådana projekt. Det som visas i denna förstudie är, att en värmväxlare inkl. kringutrustning blir billigare än en motsvarande förstoring av ytjordvärmeanläggningen, och detta är likaledes av stort intresse att konstatera i praktiken.

Skåne är ett lämpligt distrikt för utprovning och användning av värmepumpar. Luft- och marktemperaturerna är högre än i övriga Sverige och grundvattentillgång och jordarter är passande. Den årsmedelvärmefaktor (netto) som beräknats i denna förstudie, ϕ 2.2, är försiktigt räknad. Värmefaktorn förväntas bli högre då det gäller större värmepumpar.

Om elenergin med sitt höga energivärde skall användas på bästa sätt, vilket blir nödvändigt i framtiden med stigande energipriser, bör detta inte ske genom direktomvandling av el till värme utan via en värmepump.

Om varje hus byggdes med egen ytjordvärmepump skulle parkmarken inte räcka till. Befintliga telekablar skulle då också vara ett stort problem. Nu väljes en central och därmed blir jordvärmeutnyttjande möjligt. En central ger dessutom lägre service- och underhållskostnader vilket är mer markant när komplex teknik användes.

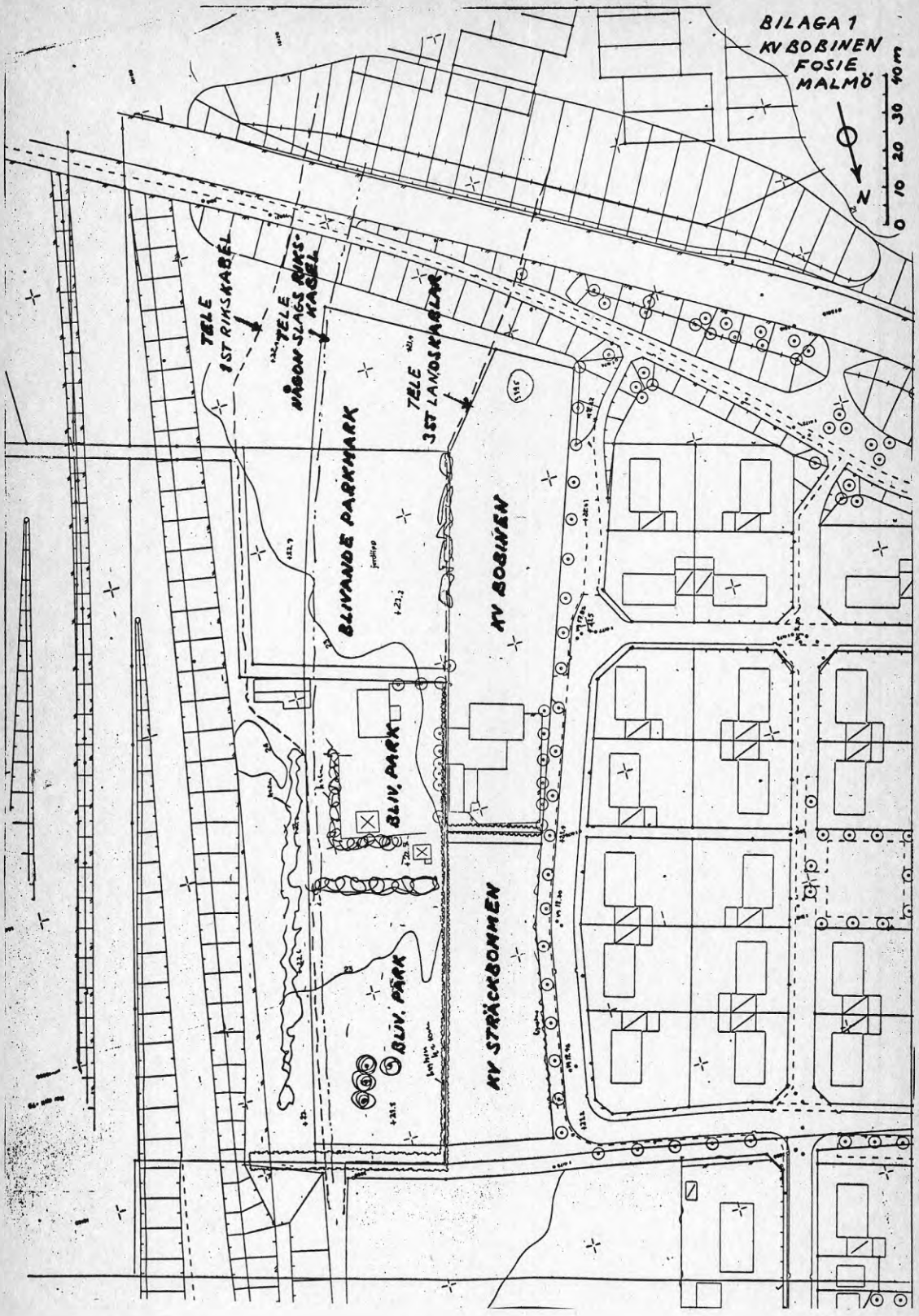
Malmö kommun godkänner inga oljeeldade panncentraler av miljöskäl. Det finns i Sverige också en nationell målsättning att minska oljeberoendet och därför är ett sådant alternativ inte aktuellt. Malmö Fastighetskontor jämte andra har därför stora förväntningar på ett projekt av Bobinens karaktär.

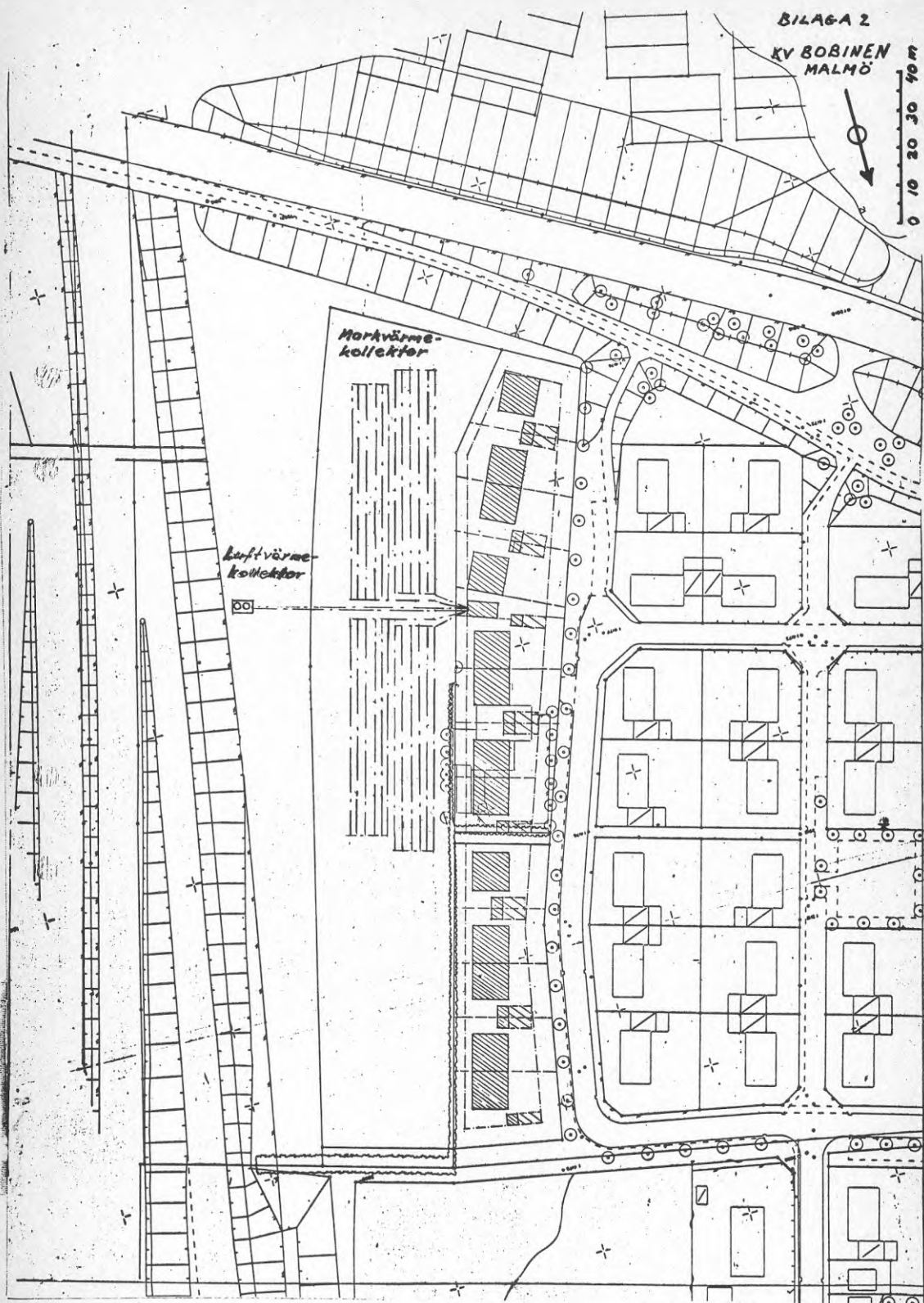
LITTERATUR

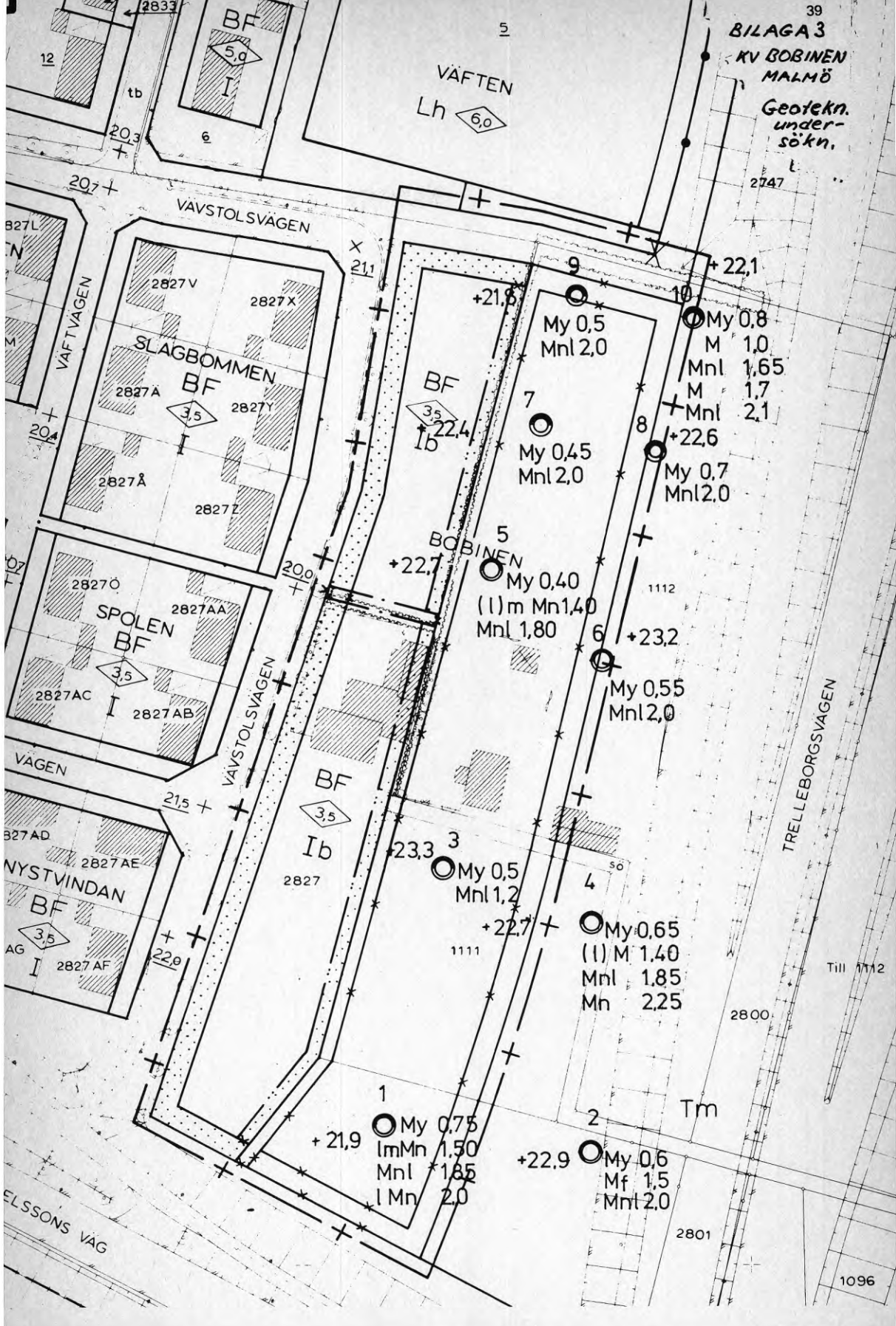
1. Ankargren, S, Norin F, Strååt, H. Ytjordvärme-
pump för Håstens fritidsområde i Varberg. BFR
R20:1979.
2. Kraft, H, Fehrm, M, Hill, A. Värmepumpar för
bostadsuppvärmning. Komponent- och systemstudier.
BFR R14:1979.
3. Abrahamsson, T, Norin, F, Strååt, H. Värmepump-
ning från sjö för värmeförsörjning av kontorshus.
Förstudie, BFR R129:1979.
4. Modin, Björn. Förstudier av byggnadsuppvärmning
med jordvärmepump. Geologiska faktorer. BFR
R55:1979.
5. Andersson, F, Länsberg, M. Fjärås centrum.
Projektering av solvärmesystem med värmepump.
BFR R8:1980.
6. Källblad, K, Adamsson, Bo. Byggnadens energi-
balans - en handräkningsmetod, 1978-03-03
(prel.).
7. Brämhultsprojektet, Tidskriften VVS, Nr. 5 1978
Nr. 12 1979.
8. Sollerön - Solens Ö, 1979. Stiftelsen Hyresbo-
städer, Mora kommun, broschyr.
9. Nordic Symposium on Earth Heat Pump Systems,
CTH, Earth Heat Pump Group, Göteborg, 15-16 Oct.
1979.
10. Mogensen, H P. Experiences from Earth Heat Pumps
in Sweden, ref. (9).
11. Mogensen, H P. The Ground as a Heat Source for
Heat Pumps - Performance and Reactions, XV
International Congress of Refrigeration, Venice
23-29 Sept. 1979.
12. Granryd, E G. Ground Source Heat Pump System in
a Northern Climate, XV International Congress
of Refrigeration, Venice 23-29 Sept. 1979.
13. Wikstén, R. Experiences from Earth Heat Pump
Systems in Finland. Symp. ref. 9.
14. Andersson, B, Backman, A, Wahlberg, H.
Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Förproj. i
Falun. BFR R24:1980.

16. Nilsson, A. Ytjordvärmepump för skola och sport-hall i Mjölby. BFR R42:1980.
17. Halldin, S, Jansson, P-E, Lundqvist, H. Ecological Effects of Longterm Soil Heat Pump Use. Symp. Supplement ref. 9.
18. Bäckström, B. General Principles for Earth Heat Pumps. Symp. and Supplement ref. 9.
19. von Cube, H L. Die Projektierung von erdverlegten Rohrslangen für Heizwärmepumpen (Erdreich-Wärmequelle), Ki Klima + Kälte-Ingenieur 6/1977.
20. Forsmand, M. An overview of the various possibilities of heat extraction and heat delivery for a water/water heat pump and an evaluation of their technical and economical merits. Symposium ref. 9.

BILAGA 1
KV BOBINEN
FOSIE
MALMÖ



BILAGA 2
KV BOBINEN
MALMÖ



VÄFTEN
 Lh 6,0

VÄVSTOLSVÄGEN

2827V 2827X
 SLAGBOMMEN
 BF
 2827A 2827Y
 2827Å 2827Z
 3,5

2827Ö 2827AA
 SPOLEN
 BF
 2827AC 2827AB
 3,5

2827AD 2827AE
 NYSTVINDAN
 BF
 2827AF
 3,5

BOBINEN
 5
 My 0,40
 (l) m Mn 1,40
 Mnl 1,80

BF
 Ib
 2827
 3,5

3
 My 0,5
 Mnl 1,2

4
 My 0,65
 (l) M 1,40
 Mnl 1,85
 Mn 2,25

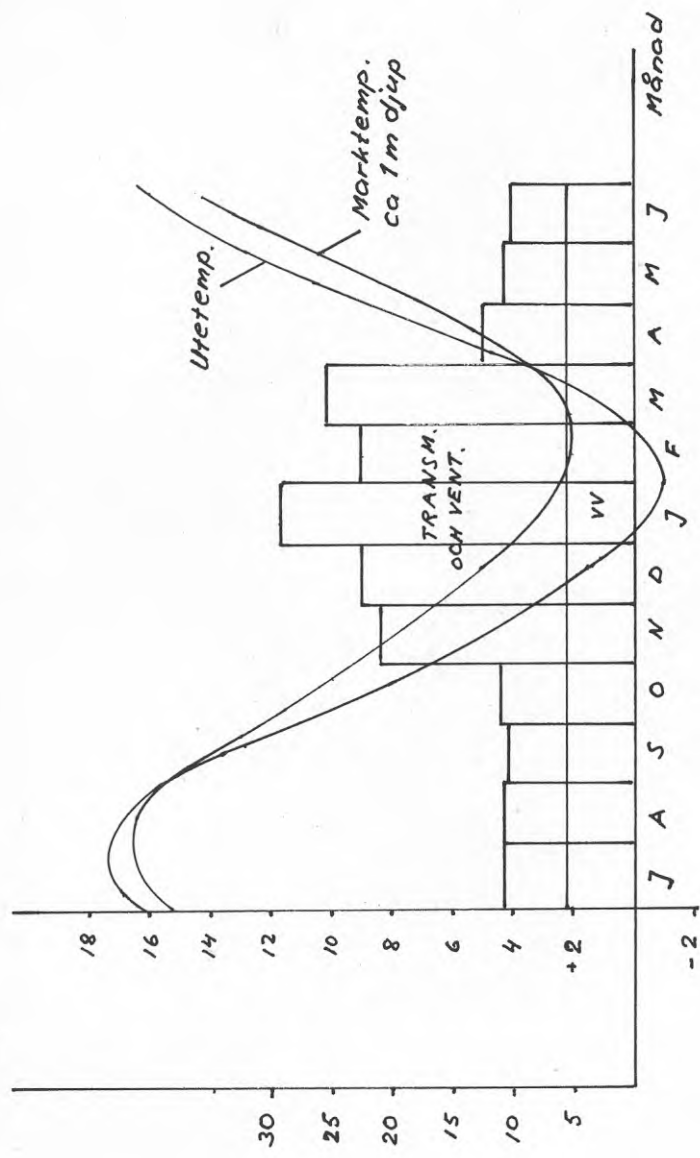
1
 My 0,75
 lmMn 1,50
 Mnl 1,85
 l Mn 2,0

2
 My 0,6
 Mf 1,5
 Mnl 2,0

TRELLEBORGSVÄGEN

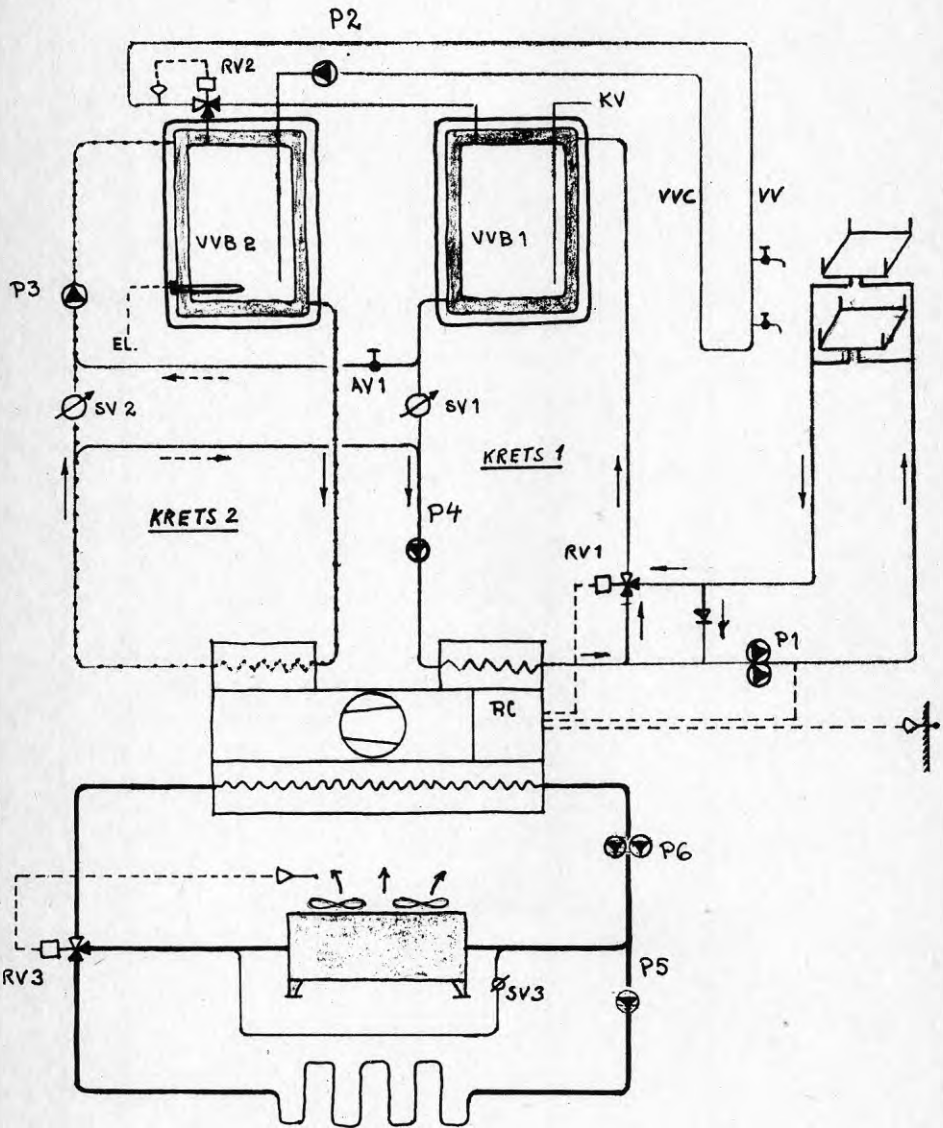
ELSSONS VÄG

Värme-
behov MWh
"Robinen"
Malmö



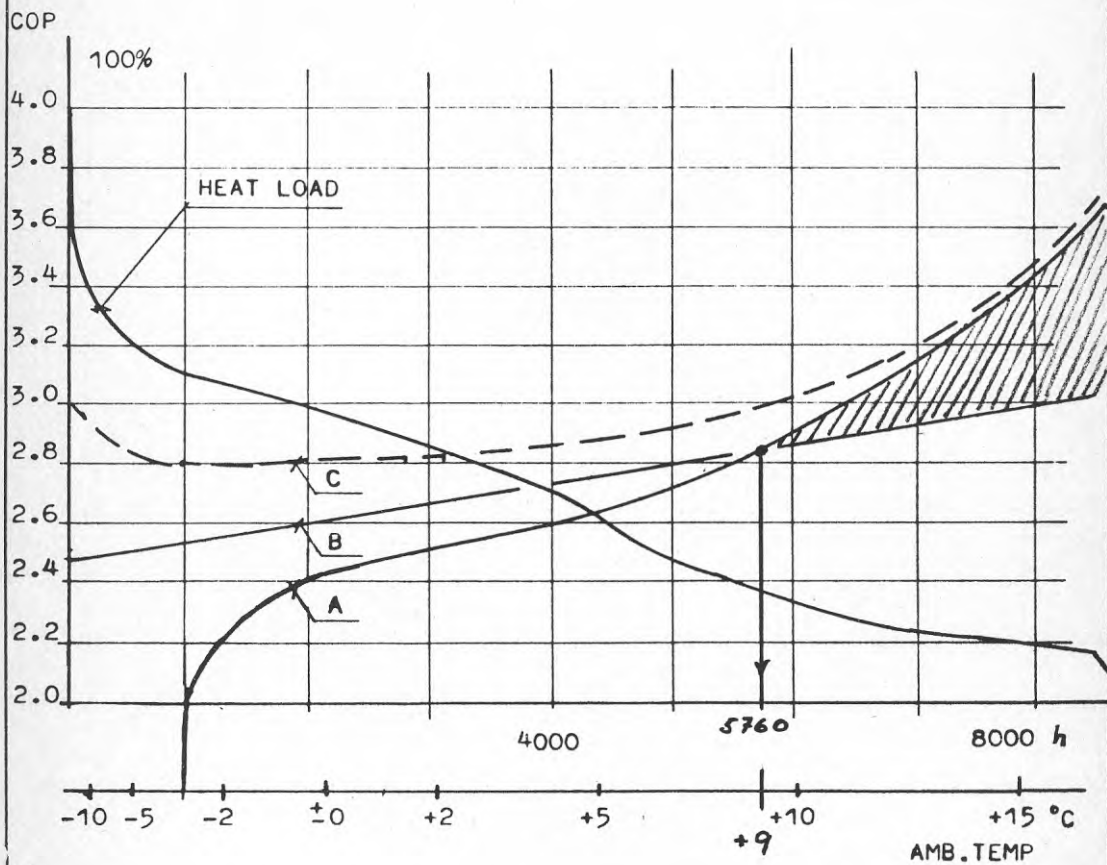
28 28 28 34 62 74 90 70 85 38 30 28 28 % VP:s kop. faktor

BILAGA 5
KV BOBINEN
MALMÖ
KOPPLINGS SCHEMA



BILAGA 6

Diagram enl.
BÄCKSTRÖM B. (18)



- A - COP HEAT SOURCE AMB. AIR
- B - COP EARTH HP HORIZONTAL SYSTEM
- C - COP EARTH HP VERTICAL SYSTEM

TABELL 1. OLJEELDNINGSCENTRAL

	Avskrivn. tid år	Initial kostn. kkr	Årskostnader kkr/år		
			Kapital	Drift	Summa
Panna, brännare, oljeförråd					
Skorsten, utrustning, arb.	15	160	21		
Fundament och plåtskjul	20	40	5		
Projektering	20	75	9		35
Energikostnader, 25 m ³ olja				33	
Skötsel, sotning, etc.				10	43
SUMMA	-	275	35	43	78

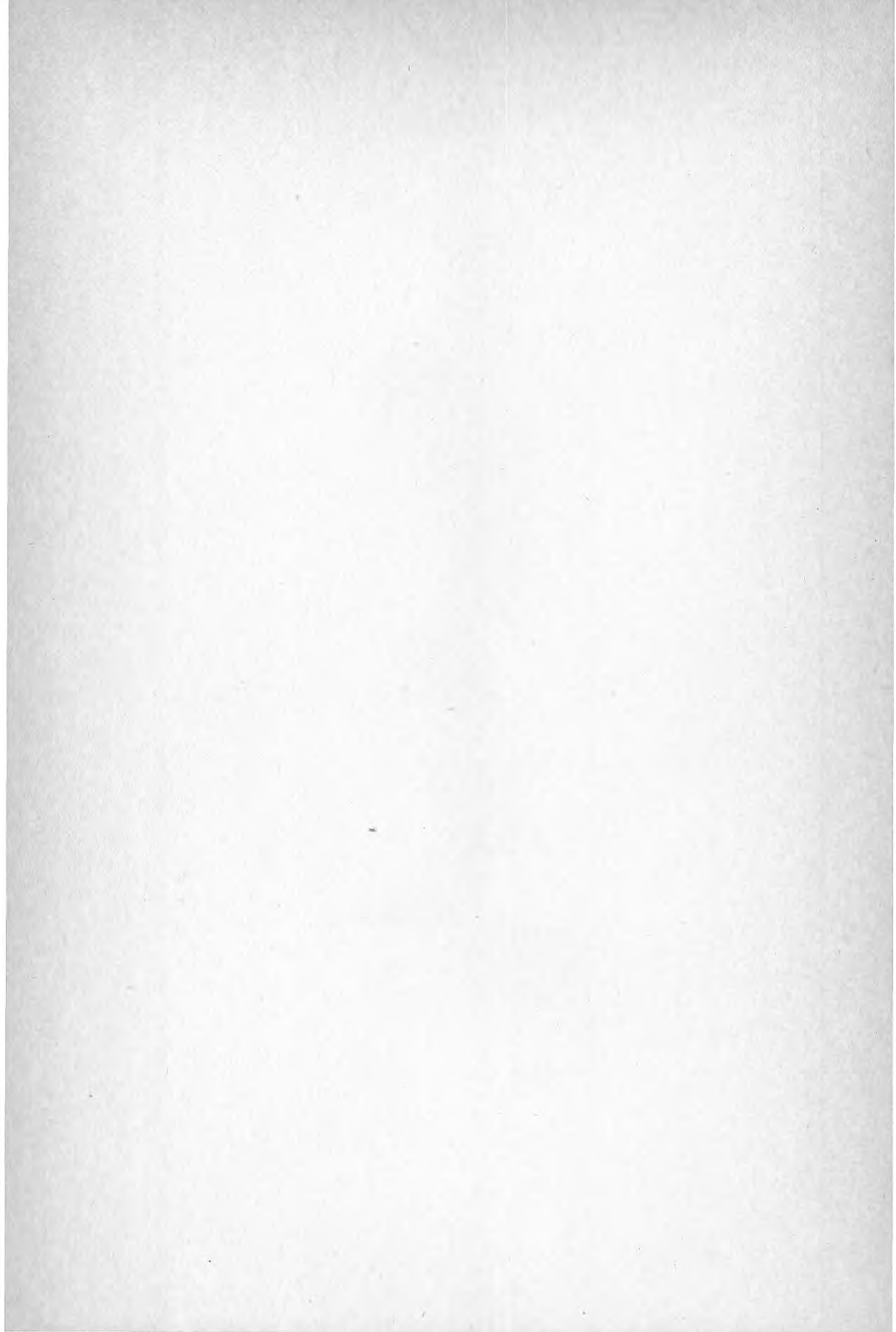
Om årskostnaderna fördelas på 200 mWh erhålles en kostnad av 39 öre/kWh, varav kapitaldelen är 70 öre/kWh och driftdelen 22 öre/kWh.

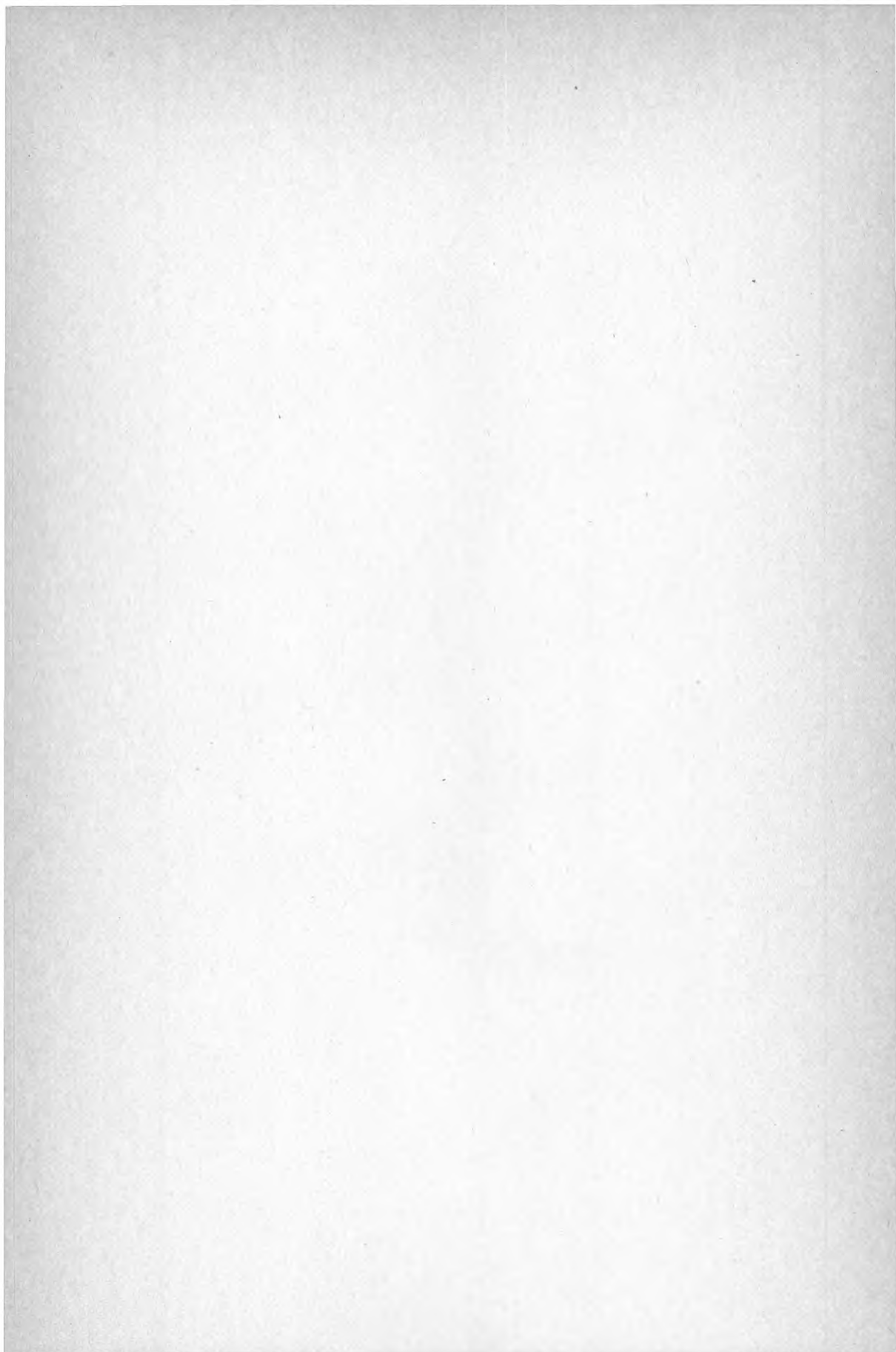
TABELL 2. VÄRMEPUMPCENTRAL, MARK/LUFT

	Avskrivn. tid år	Initial kostn. kkr	Årskostnader kkr/år		
			Kapital	Drift	Summa
Värme pump, 88 kW inkl. automatik	15	140			
Jordvärmekollektor 3.200 m ²	15	32			
Luftvärmekollektor 62 kW, etc.	15	22			
Elpatroner (reserv), el mtrl, el serv.	15	29			
VVB 2 st, exp.kärl 4 st, saml. lådor	15	59			
Armaturer, rör, automatik övr.	15	41			
Pumpar, medier	15	23			
Arbetskostnader	15	86	432	57	
Byggnad	40	80		8	
Projektering	20	350		41	106
Effektkostnad (100 A)					4
Energikostnad 91 mWh					18
Skötsel, experimentstadiet					15 37
SUMMA	-	826	106	37	143

Om årskostnaderna fördelas på 200 mWh erhålles en kostnad av 71 öre/kWh, varav kapitaldelen är 53 öre/kWh och driftdelen 18 öre/kWh.

Kostnaderna är inkl. moms och beräknade per 1980.04.01.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
781340-2 från Statens råd för byggnadsforskning
till Minergi AB, Malmö.**

R133: 1980

ISBN 91-540-3360-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700233

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 20 kr exkl moms