



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.



Grundvattenvärme till 212 äldre centraluppvärmda villor

Förstudie och förprojektering i Bjärred

Olof Andersson
Allan Malm

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac Ser

K
AM

R20:1983

GRUNDVATTENVÄRME TILL 212 ÄLDRE
CENTRALUPPVÄRMDA VILLOR

Förstudie och förprojektering i Bjärred

Olof Andersson
Allan Malm

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
800977-2 från Statens råd för byggnadsforskning
till Flädie Värmecentral AB,

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

R20:1983

ISBN 91-540-3888-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

FÖRORD.....	1
-------------	---

FÖRSTUDIEN

1	SAMMANFATTNING.....	2
2	PROJEKTBAKGRUND.....	5
2.1	Allmänt.....	5
2.2	Beslutssituation och frågeställningar.....	5
3	NUVARANDE VÄRMESYSTEM.....	8
3.1	Värmeproduktion.....	8
3.2	Distributionssystem.....	8
3.3	Undercentraler i hus.....	9
3.4	Beräkningar av årlig energiförbrukning och dimensionerande effektbehov.....	9
3.5	Mätning av värme- och varmvatten- effektbehov i hus.....	10
4	PLANERAT SYSTEM MED VÄRMEPUMP.....	13
4.1	Dimensionering av värmepump.....	13
4.2	Principiell systemlösning.....	15
5	GRUNDVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA TILL VÄRMEPUMPEN.....	16
5.1	Undersökningsborrningen. Geologin.....	16
5.2	Provpumpning och hydraulisk analys.....	18
5.3	Vattenbeskaffenhet.....	20
5.4	Beräknat vattenbehov.....	22
5.5	System med återföring.....	23
5.6	Termohydraulisk driftsprognos.....	25
5.7	Mark, miljö och juridiska aspekter.....	30
6	EKONOMISK BEDÖMNING.....	30
6.1	Kalkylmetod.....	31
6.2	Beräkningsunderlag.....	32
6.2.1	Allmänna förutsättningar.....	32
6.2.2	Förutsättningar - värmepump.....	33
6.2.3	Förutsättningar - elvärme.....	35
6.3	Beräkningar av årskostnader.....	36
6.4	Kommentarer till kalkylen.....	39
6.4.1	Icke kvantifierade faktorer.....	39
6.4.2	Upphandlingsform och risktagande.....	40
7	FORTSATT PROJEKTUTVECKLING.....	41

FÖRPROJEKTERINGEN

1	SAMMANFATTNING.....	42
1.1	Undersökningsborrning och tester.....	42
1.2	Inregleringsförsök.....	44
1.3	Värmepumpen i system.....	44
1.4	Ekonomi.....	44
2	KOMPLETTERANDE UNDERSÖKNINGS- BORRNING OCH TESTER.....	45
2.1	Undersökningsborrningen.....	45
2.2	Provpumpningar.....	46
2.2.1	Stegprovpumpning	

2.2.2	Kortvarig provpumpning.....	49
2.3	Vattenbeskaffenhet.....	50
2.4	Injektionstestet.....	51
2.5	Aspekter på nedkylningen.....	54
2.6	Slutsatser på brunnsystemet.....	56
3	EXPERIMENT MED INREGLERING AV DISTRIBUTIONSSYSTEMET.....	57
3.1	Bakgrund och syfte.....	57
3.2	Mättningsresultat.....	57
4	VÄRMEPUMPEN I SYSTEMET.....	59
4.1	Almänna förutsättningar.....	60
4.2	Befintlig panncentral.....	60
4.3	Inkoppling av värmepump.....	60
4.4	Reglersekvens.....	62
4.5	Övriga synpunkter.....	63
5	FÖRNYAD EKONOMISK KALKYL.....	63
5.1	Allmänt om upphandlingssituationen.....	63
5.2	Reviderad ekonomisk kalkyl.....	67
5.2.1	Beräkningsunderlag.....	68
5.2.2	Beräkning av årskostnader.....	71
5.3	Kommentarer till kalkylen.....	73

FÖRORD

Föreliggande rapport innefattar redovisning av två projekt-etapper, en förstudie och en förprojektering.

Förstudien utfördes under hösten 1980 samt våren 1981 och förprojekteringen under vinterhalvåret 1981/82.

Rapporten har skrivits i två omgångar med mellanliggande beslutspunkt och har utarbetats av hydrogeolog Olof Andersson samt docent Allan Malm.

Allan Malm har varit projektledare och svarar för de ekonomiska bedömningar som redovisas i rapporten.

Olof Andersson har stått för de hydrogeologiska undersökningarna, utformning av brunnssystemet samt för bedömning av mark- och miljöfrågor.

I projektgruppen har dessutom ingått Sven-Erik Ransmark som gjort utvärderingar av befintligt värmesystem samt Conny Englund som utfört vissa mätningar i enskilda hus.

I samband med förprojekteringen utökades projektgruppen att dessutom innefatta representanter från Sydkraft och Stal Refrigeration.

Sydkraft har genomfört mätningar på distributionsnätet och genom civ ing Ingvar Malmström beskrivit dessa i en särskild rapport (Sydkraft H 8203-19), vilken inarbetats.

Stal Refrigeration har inventerat befintlig panncentral och gjort en lay-out med värmepump, något som också Sydkraft gjort. Resultaten har redovisats i offerter, som delvis legat till grund för föreliggande tekniska beskrivning, men som främst använts till den ekonomiska kalkyl som redovisas i rapportens förprojekteringsdel.

Lund i juni 1982

Olof Andersson

Allan Malm

GRUNDVATTENVÄRME TILL 212 ÄLDRE CENTRALUPPVÄRMDA
VILLOR I BJÄRRED, SKÅNE - FÖRSTUDIE

1 SAMMANFATTNING

Målsättningen med projektet har varit att översiktligt utreda förutsättningarna att utnyttja värmepump med grundvatten som värmekälla för uppvärmning av ett villaområde i Bjärred, Skåne.

Området, som består av 212 enplanshus, har en gemensam oljeeldad panncentral med tre pannor varifrån hetvatten distribueras i markförlagt kulvertsystem.

Mätningar i ett par enskilda hus har visat att framledningstemperaturen går att sänka till 70°C eller därunder för minst 6000 timmar av året, vilket gör en värmepumpsdrift tekniskt möjlig. Det förutsättes dock att värmesystemet då injusteras så att varje hus får likvärdigt hetvattenflöde. Även detta bedömes vara möjligt att göra.

På grundval av mätningarna har det dimensionerande effektbehovet beräknats ligga mellan 2300 och 2700 kW. Den årliga energiförbrukningen räknat på oljeåtgången och 60 % verkningsgrad i pannorna blir knappa 6000 MWh inklusive kulvertförluster.

Som värmekälla används grundvatten. En undersökningsborrning i direkt anslutning till värmecentralen har visat på gynnsamma geologiska förutsättningar att anlägga brunnar som är ca 70 meter djupa. På denna nivå finns i lagerföljden grussediment med extremt goda vattengenomsläppliga egenskaper. Detta utgör den undre delen av en ca 25 meter mäktig grovsedimentavlagring vilken bildar ett slutet grundvattenmagasin. Resultatet av en provpumpning visar att grundvattenuttag respektive återföring runt 25 l/s och brunn är möjliga.

Grundvattnets temperatur är 10°C och beräknas vara nära nog stabil året runt. Med ett värmeuttag av 5 ä 6°C i värmepumpen beräknas det maximala uttagsbehovet (då värmepumpen körs med full effekt) uppgå till 30 ä 35 l/s.

Grundvattnets kemiska beskaffenhet präglas av ett neutralt pH-värde (7,2), hög järnhalt (6,1 mg/l) samt hög totalhårdhet (22°dH). Vattnet är svagt korrosivt (RSI 7,6) men någon korrosion av betydelse bedömes inte uppträda så länge vattnet hanteras i syrefri miljö.

I den planerade systemlösningen skall vattnet återföras till grundvattenmagasinet efter värmeutvinningen. För detta ändamål fordras sannolikt två infiltrationsbrunnar. En termohydraulisk modellanalys baserad på provpumpningsdata och teoretiska termiska riktvärden har visat att dessa bör placeras ca 300 m från uttagsbrunnen (-arna). En viss nedkylningseffekt kommer vid 300 meters avstånd att förmärkas i uttagsbrunnen (-arna) efter ca 1,5 år. Efter ytterligare något år uppträder en relativ jämviktssituation där temperaturen på uttagsvattnet kommer att bli drygt 8°C .

I system med återföringsbrunnar utgör igensättningsfenomen ett potentiellt problem, vilket kan förorsaka driftstörningar. I aktuellt fall måste oxidering av järn förhindras, liksom utfällning av kalk. Av denna anledning planeras systemet dels bli helt slutet utan tillträde av luftsyre och dels förberett för någon form av pH-justering. Vidare utformas återföringsbrunnarna så att partikulär igensättning i brunnsfiltren kan åtgärdas genom backspolning.

Några mark- eller miljöfrågor som kan kullkasta projektet har inte kunnat uppdagas i detta inledande skede. Inte heller tycks några juridiska problem uppstå.

I den beslutssituation värmecentralen befinner sig är huvudalternativen antingen en fortsatt satsning på den gemensamma anläggningen i form av en värmepumpsinstallation eller nedläggning av centralen och övergång till individuell elvärme.

En ekonomisk värdering av årskostnaderna visar att värmepumpsalternativet skulle kunna ge klart lägre årskostnader än individuell elvärme under förutsättning att de gynnsamma driftsdata som i den preliminära bedömningen ansetts vara möjliga, också kan uppnås. En optimistisk kalkyl visar på en årskostnad för värmepumpsalternativet som redan första året ligger i storleksordningen 1500 kr/hushåll lägre än elalternativet. Differensen ökar sedan något år från år för att det tionde året vara knappa 2500 kr vid fast penningvärde. Om kalkylen görs mer försiktig avseende värmefaktor och tillgänglighet blir skillnaden i årskostnader betydligt mindre och i en sådan situation kan andra faktorer än de som ingått i kostnadskalkylen bli avgörande.

Till värmepumpens fördel talar det faktum att den rena energikostnaden utgör en mindre andel av årskostnaden än vid elvärme, vilket gör värmepumpsalternativet mindre känsligt för framtida energiprisökningar. Fördelar med individuell elvärme är å andra sidan att man slipper problemen med energimätning samt systemets enkelhet och driftsäkerhet.

2 PROJEKTBAKGRUND

2.1 Allmänt

Flädie värmecentral svarar för uppvärmningen av ett villaområde om 212 fastigheter i Bjärred. Fastigheterna är bundna till uppvärmningssystemet via servitut och till varje fastighet hör en aktie i värmecentralen. Området inklusive värmecentralen uppfördes i slutet av 1960-talet och villorna har 117-129 m² uppvärmningsyta. Områdets läge framgår av översiktskarta, figur 1.

Kulvertsystemet har under 1970-talet varit en återkommande källa till problem. Dessa kan bero dels på materialkvalitet, men också på att kulverten blivit lagd på djup som tidvis är under grundvattennivån. Delar av kulverten har således successivt måst bytas ut.

Kulvertproblem och stigande oljepriser har lett till relativt höga uppvärmningskostnader. Preliminärdebiteringen för ett hus i storlek 129 m² är för närvarande 6.060 kronor och måste sannolikt höjas under 1981 om ingen förändring av värmeförsörjningen sker. Kostnaderna kommer därutöver att öka genom att en investering i nya pannor blir nödvändig inom fyra-fem år.

2.2 Beslutssituation och frågeställningar

Hösten 1979 tog en grupp intresserade villaägare kontakt med värmecentralens styrelse och bildade tillsammans med ledamöter i den en energisparkommitté som sedan dess drivit frågan om hur värmeförsörjningen i området skall lösas i framtiden.

Ganska snart stod det klart att det fanns två huvudalternativ för områdets framtida uppvärmning. En möjlighet vore att lägga ned den gemensamma anlägg-



Figur 1 Översiktskarta, skala 1:100 000.

ningen och gå över till individuell uppvärmning - för de flesta skulle detta innebära vattenburen elvärme genom att den befintliga undercentralen byts ut mot en elpanna. Det andra huvudalternativet var att genom en värmepump producera så billig energi i värmecentralen att en fortsatt satsning på ett gemensamt system kunde bli motiverad.

Båda alternativen har under det senaste året blivit föremål för utredning. Bortsett från de juridiska problemen med en nedläggning av värmecentralen har alternativet övergång till individuell elvärme varit relativt enkelt att beräkna.

När det gäller installationen av en värmepump i centralen har frågeställningarna varit betydligt flera. Bakgrunden till tanken på en värmepump är att det i Bjärred borde finnas riklig tillgång på grundvatten i den s k Alnarpsdalen, se figur 1. Detta grundvatten skulle således kunna fungera som värmekälla för pumpen.

De frågor som värmepumpsalternativet ställde var bland andra: Är det möjligt att ta upp grundvatten i erforderlig kvantitet? Skall det kylda vattnet återföras i marken eller kan det spolats ut i havet. Kan en värmepump ge tillräcklig temperatur för områdets distributionssystem? Kan den seriekopplas till de befintliga oljepannorna? Vilka risker är förenade med en värmepump?

Efter preliminära kontakter med värmepumpsleverantörer och andra företag inom energiområdet stod det klart att det inte fanns något företag som utan en omfattande utredning skulle kunna ge svar på denna typen av frågor. I denna situation kontaktade vi Byggeforskningsrådet som beviljade medel för den förstudie som rapporteras här.

Beskrivningen av beslutssituationen ovan har tagits med för att klargöra vad som är det relevanta alternativet att jämföra värmepump mot. I den ekonomiska utvärderingen i slutet av rapporten har vi således gjort ett försök att jämföra värmepumpsalternativet med en nedläggning av värmecentralen och övergång till individuell elvärme.

3 NUVARANDE VÄRMESYSTEM

3.1 Värmeproduktion

Värmeproduktionen sker i tre s k högeffektpannor av Osby-Pannans fabrikat. Pannorna är svetsade och av tryckkärlsplåt. Den minsta pannan har normaleffekten 407 kW och mellanpannan 988 kW. Den tredje pannan är på 2616 kW. Den totala installerade panneffekten uppgår således till ca fyra MW. Alla pannor är försedda med oljeaggregat för eldning av olja nr 3 samt rökgasreningsaggregat av Industrifilters typ AMER clone. I särskilt utrymme är placerat två st oljecisterner om vardera 40 000 liter.

3.2 Distributionssystem

Hetvattnet distribueras i ett markförlagt kulvertsystem. Ledningarna är förlagda i gator, i tomtmark och under hus. Under husen är ledningarna frihängande i ett kryputrymme.

De markförlagda rören har tidvis varit vattendränkta. Förutom ökad värmeförbrukning har detta medfört att ledningarna rostade sönder och stora sträckor har behövts göras om. Det är nu aktuellt att byta ut resterande del av ledningarna.

3.3 Undercentraler i hus

I varje hus finns en värmeomformare av Osby-Pannans fabrikat, typ VO-13.

Följande data har erhållits av leverantören:

Vattenvolymer:

Beredare	150 liter
Dubbelmantelutrymmet	85 liter
Hetvattenslingan	19 liter
Expansionskärlet	20 liter
Värmeeffekt: 13 000 kcal/h	= 15,1 kW

Normal hetvattentemperatur:

Tillopp	95°C
Retur	70°C

Från värmeomformaren distribueras värmen i ett ett-rörsystem till radiatorer i huset.

3.4 Beräkning av årlig energiförbrukning och dimensionerande effektbehov

Oljeförbrukningen anges till 910 m³ olja nr 3 per år. Om densiteten är 900 kg/m³ och värmeinnehållet 12,0 MWh/ton har värmeförbrukningen uppgått till 10 000 MWh/år. Antas vidare att pannanläggningens medelverkningsgrad under året varit 60 % har i hus och kulvertar förbrukats 6 000 MWh/år.

För värmeanläggningar i Malmö-regionen kan man normalt räkna med en "fullasttid" av ca 2000 timmar. Eftersom kulvertförlusterna sträcker sig över hela året kommer "fullasttiden" för Flädiecentralen att vara längre.

Antas den till 2200 timmar, motsvarar detta ett effektivt värmebehov vid dimensionerande utetemperatur av $6000/2200 = 2,73$ MW. Utslaget per hus blir detta 12,9 kW.

Ett försök till direkt effektberäkning gjordes den 13 februari 1981, då utetemperaturen var -7°C , genom avläsning av pumptryck och temperaturskillnad på tilllopp- och returledning.

Effekten beräknades vid detta tillfälle till 1780 kW, vilket motsvarar ca 2280 kW vid -15°C .

Eftersom effekten erhållits efter avläsning av driftsinstrument får man räkna med minst 10 % felmarginal i mätningen.

3.5 Mätning av värme- och varmvatteneffektbehov i hus

Om en värmepumpsinstallation skall fungera är det nödvändigt att den nuvarande temperaturnivån i distributionsnätet sänks.

Eftersom de från leverantören erhållna tekniska data för värmeomformaren inte varit tillräckliga för att ligga till grund för beräkningar över vilka konsekvenser den sänkta temperaturnivån får på värme- och varmvatteneffekten har mätningar i ett hus skett.

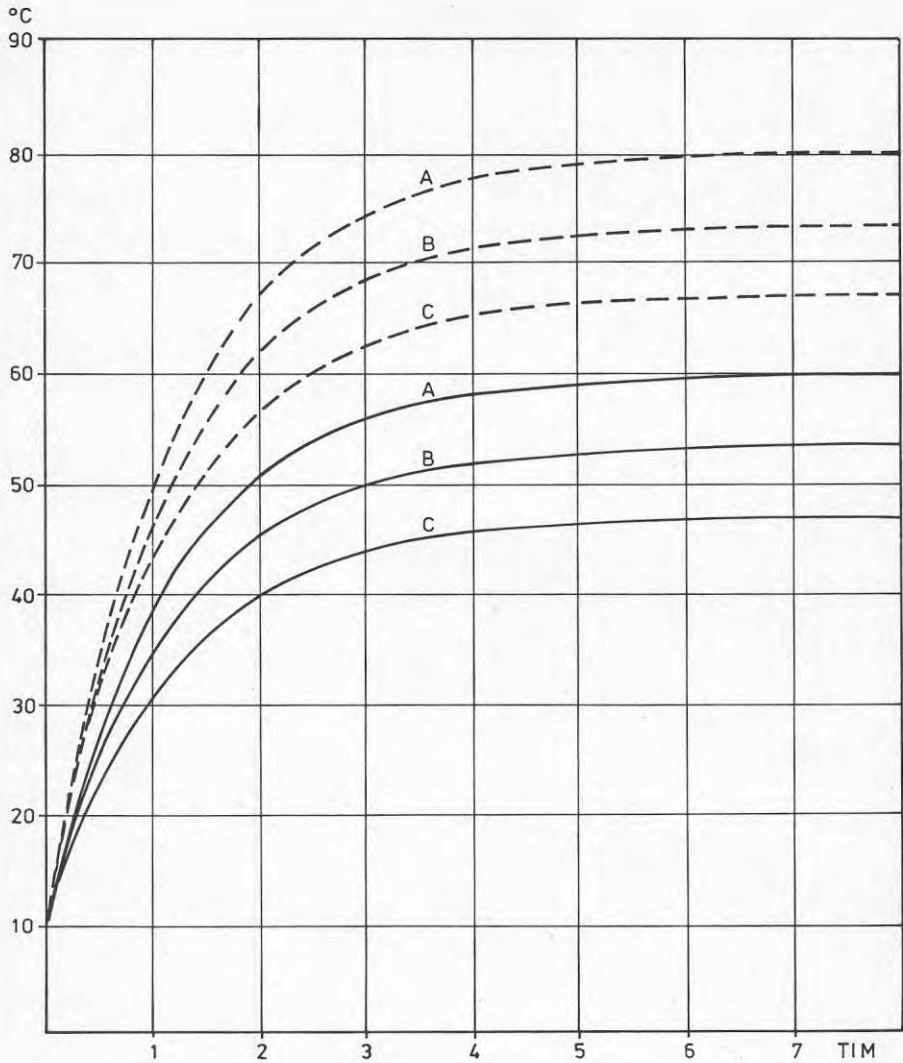
Mätningarna gick till på så sätt, att värmen till radiatorerna stängdes av och varmvattnet tappades ur. Därefter registrerades temperaturstegringen som funktion av tiden.

Resultatet av mätningarna exemplifieras i figur 2, där uppvärmningsförloppet vid två olika framledningstemperaturer och vid olika samtidigt värmeuttag illustreras.

Som framgår av figuren förlängs uppladdningstiden efter en avtappning när ingående temperatur till omformaren sänks. Temperatursänkningen medför också att den mängd varmvatten som kan tappas av på en

gång reduceras. Sänks framledningstemperaturen från 80 till 60°C minskas den tillgängliga mängden 40°-igt vatten från 320 till 240 liter och 35°-igt från 400 till ca 300 liter.

Mätningarna sammantaget har visat att det är möjligt att sänka temperaturnivån så att en värmepumpsinstallation är tekniskt möjlig. Det förutsätts dock att värmesystemet då injusteras så att varje hus får samma hetvattenflöde.



Figur 2 Temperaturstegringen i värmeomformaren vid tilloppstemperaturen 80°C (streckat) och 60°C (heldragen) vid (A) ingen samtidigt värmeuttag, (B) samtidigt värmeuttag = 5 kW och (C) = 10 kW. Flödet till omformaren = 0,09 kg/s

4 PLANERAT SYSTEM MED VÄRMEPUMP

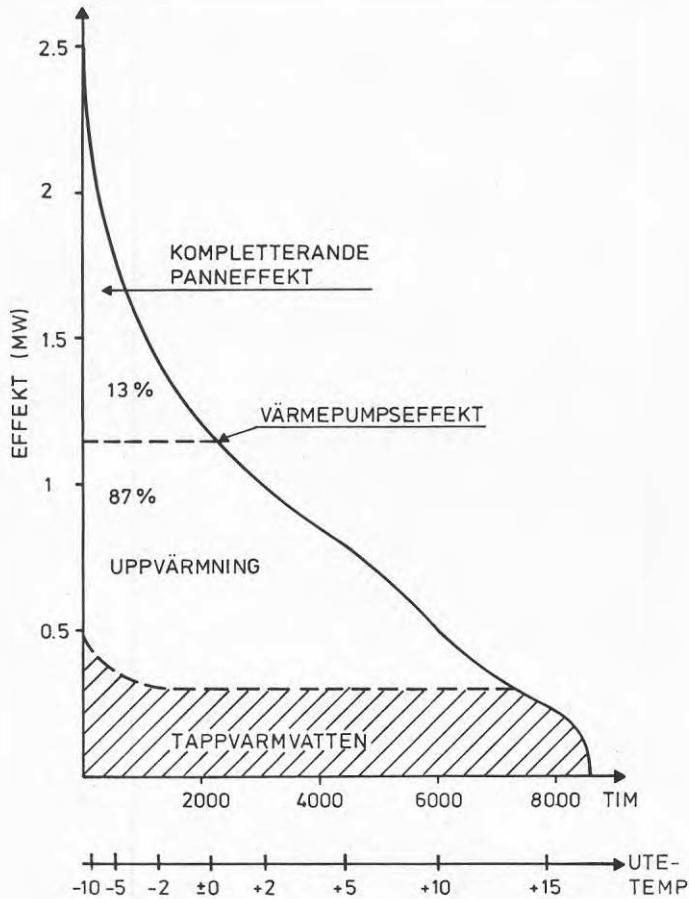
4.1 Dimensionering av värmepump

Med hänsyn till rådande effekt- och energibehov samt fram- och returtemperaturer är det möjligt att täcka en stor del av värmebehovet med hjälp av värmepump. En direkt begränsande faktor utgör värmepumpens maximala kondenseringstemperatur, vilken med freon 12 ligger runt 70°C. Då returtemperaturen på fjärrvärmevattnet överstiger detta gradtal kan värmepumpen inte tillföra någon värme till systemet. De mätningar och bedömningar som redovisats i föregående avsnitt pekar dock på att returtemperaturen kan hållas så låg att värmepumpen kan tillföra en mer eller mindre mängd energi året runt.

En värmepumps driftstid bör vara så lång som möjligt eftersom investeringen skall betalas med en energibesparing, i detta fall reducerad oljeförbrukning. Den längsta driftstiden och största energiutbytet uppnås om värmepumpen dimensioneras för att täcka hela effektbehovet. En uppdimensionering av värmepumpen till fullt effektbehov medför emellertid att 40 à 50 % av den installerade effekten endast kan utnyttjas en mindre del av årets 8760 timmar. För att få ett gott ekonomiskt utbyte av investeringen bör därför värmepumpen dimensioneras till 50 à 60 % av effektbehovet. Oljebesparingen kan då beräknas ligga mellan 80-90 %. Resterande del tas lämpligen med sk spetsvärme, i detta fall med befintliga oljepannor. Dessa utgör dessutom en reservkapacitet.

Det blir således fråga om en värmepump med en värmeavgivningseffekt som motsvarar ungefär det halva maximala effektbehovet. Satt i system innebär detta att oljepannorna kopplas in vid tidpunkter då nätets behov är större än 50 % av det maximala effektbehovet. I dessa lägen kommer returvattnet att förvärmas i värmepumpen innan spetsvärmning i pannorna sker.

Utgående från att det maximala effektbehovet (årets kallaste dag) är 2300 kW har en värmepump preliminärt dimensionerats till 1150 kW. Som framgår av figur 3 kommer värmepumpen att leverera ca 87 % av energin och klara hela effektbehovet så länge utetemperaturen inte understiger ca $\pm 0^{\circ}\text{C}$. Vid lägre temperaturer krävs spetsvärmning av framledningstvattnet.



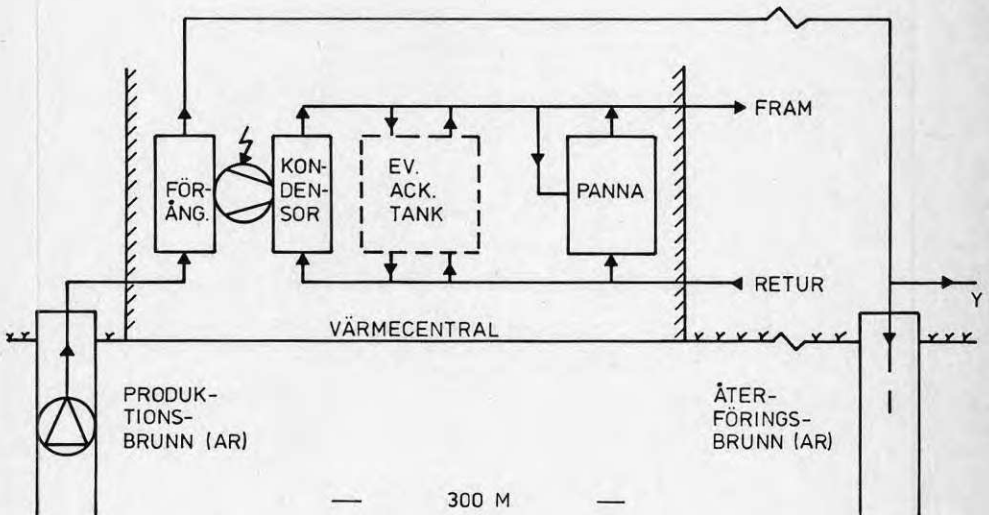
Figur 3 Beräknad effektfördelning under ett normalår. En värmepump som dimensioneras för halva maximala effektbehovet klarar 87 % av energin. Temperaturfördelningen under året gäller Malmöregionen.

4.2 Principiell systemlösning

Lämplig plats för värmepumpen ligger i direkt anslutning till panncentralen. Det är också här som värme-källan i form av 10⁰-igt grundvatten kan produceras.

Värmepumpen installeras i tillgängligt utrymme i panncentralbyggnaden. Eventuellt kan en mindre tillbyggnad erfordras framför allt om man till värmepumpen också kopplar en ackumulatortank.

Den tänkta systemlösningen i övrigt framgår av det schematiska kopplingsschemat, figur 4.



Figur 4 Principiell systemlösning

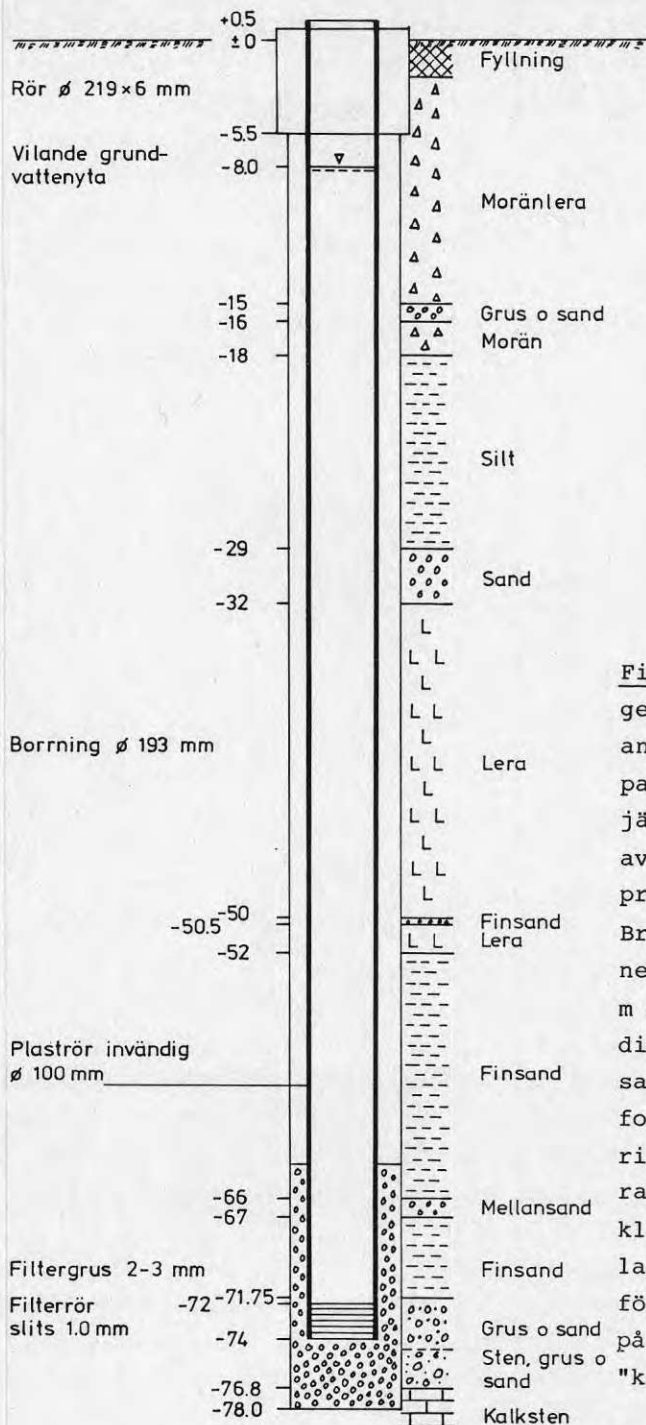
- 5 GRUNDVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA TILL VÄRMEPUMPEN
Villaområdet ligger i direkt anslutning till ett stort grundvattenmagasin, benämnt Alnarpströmmen, se översiktskarta figur 1. Då grundvatten normalt har en gynnsam och stabil temperatur året runt bedömdes redan på tidigt stadium detta vara en lämplig värme-källa till värmepumpen.

För att bli utreda hur stora vattenuttag som lokalt för området var möjliga och under vilka förutsättningar ett sådant uttag kan göras har en undersökningsborrning med efterföljande provpumpning och utvärdering genomförts. I detta avsnitt redovisas resultatet av studien.

- 5.1 Undersökningsborrningen. Geologin
Borrhålet placerades i direkt anslutning till panncentralen, se figur 1.

Som borrhningsmetod användes rotationsborrning med direktspolning. Dimensionen var 193 mm och det slutliga djupet 78,0 m. Under borrhningen togs prover för okulär jordartsbestämning och kornfördelningsanalys. Vidare dokumenterades borrsjunkning och spolförluster, vilka båda ger indikationer på var i lagerföljden det förekommer porösa vattenförande formationer.

Figur 5 visar den dokumenterade lagerföljden, vilken i stora drag överensstämmer med den normala lageruppbyggnaden i Alnarpsdalen. Av särskild vikt är att den vattenförande formationen, som börjar ca 50 m under markytan avslutas med ett mycket grovkornigt sediment.



Figur 5. Jordlagerföljden i anslutning till panncentralen jämte utformning av den brunn som provpumpades. Brunnsfiltret är nedfört i ett ca 7 m mäktigt grovsediment. Detta är sannolikt en fossil strandavlagring med välsorterat grus och klappersten. Detta lager tros bara förekomma fläckvis på Alnarpsdalens "kalkstengolv".

5.2 Provpumpning och hydraulisk analys

Efter undersökningsborrningens genomförande sattes ett 4" kontinuerligt slitsat brunnsfilter med slitsvidden 1,0 mm på nivån 72-74 m u my, se figur 5, samt förlängningsrör i PVC till markytan, också i dimensionen 4". Filtret stabiliserades med ett yttre 2-3 mm filtergrus. Därefter provpumpades brunnen, först som en stegpumpning i tre steg med succesivt ökad kapacitet, varefter vidtog en sju dygn lång provpumpning med vattenståndsmätning i ett antal omkringliggande observationsbrunnar. Pumpningen gjordes med ett konstant uttag av 4,3 l/s.

Resultatet av stegprovpumpningen framgår av tabell 1.

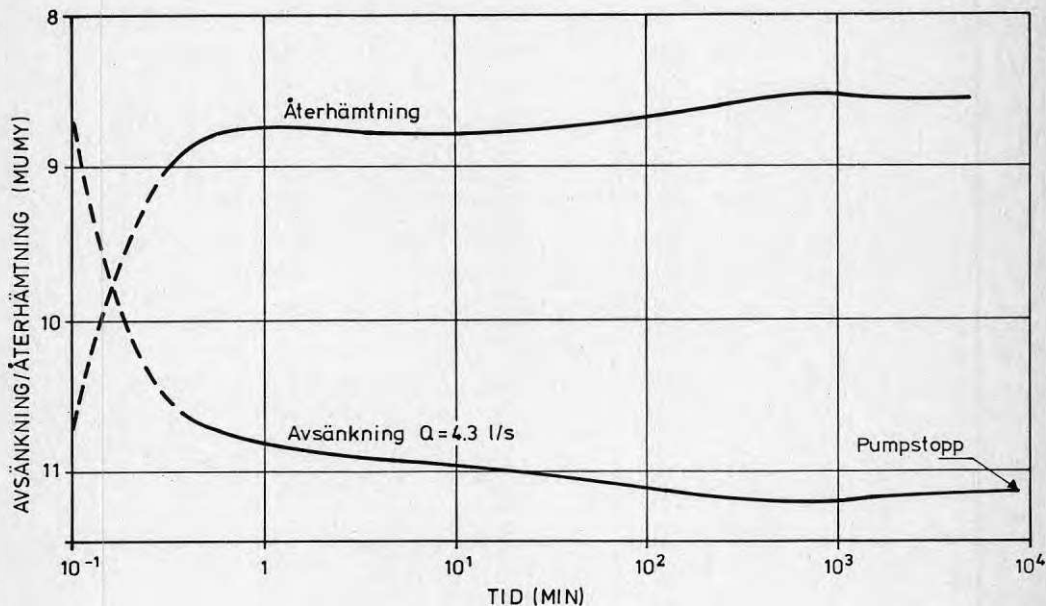
Tid (min)	GV-nivå (m u my)	Uttag (l/s)	Avsänk- ning (m)	Specifik avs (m ² /s)
0	8,45	-	-	-
30	8,98	1,25	0,53	424
60	9,54	3,08	1,39	451
90	11,01	4,30	2,56	595

Tabell 1 Resultat av stegpumpning.

Utifrån den specifika avsänkningen vid olika uttag har inströmningsförlusten till brunnen beräknats till ca 40 %. Avsänkningen (trycksänkning) utanför brunnen vid tredje stegets slut är då ca 1,5 m eller ca 0,35 m per uttagen sekundliter. Detta innebär att en brunn som optimalt anpassas till den vattenförande formationen ger en specifik lyfthöjd av ca 0,4 m per sekundliter.

Provpumpningen som fortgick sex dygn med ett konstant uttag av 4,3 l/s visade att stationära förhållanden uppträdde redan efter ca 1000 minuters pumpning. Som

figur 6 visar erhöjls därefter en viss tryckhöjning i brunnen som sannolikt beror på fördröjd vattenavgivning. Denna återspeglas också i återhämtningskurvan, samma figur.



Figur 6 Avsänkings- och återhämtningsförlopp.
Korrigerat för lufttryck.

Av observationsbrunnarna, totalt 5 st belägna på 550, 600, 650, 800 respektive 850 meters avstånd från uttagsbrunnen, reagerade bara den närmst liggande. Avsänkningen i denna uppmättes till 17 cm.

Med hjälp av pumpdata har den vattenförande formationens hydrauliska parametrar beräknats. Dessa är transmissiviteten (T), vilken ger ett mått på vattengenomsläppligheten, magasinkoefficienten (S), vilken beskriver akviferens magasinsegenskaper samt läckagefaktorn (P'/m'), vilken anger de överliggande lagrens vertikala vattengenomsläpplighet.

Följande genomsnittsvärden har erhållits

$$\begin{aligned}T &= 3 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^2/\text{s)} \\S &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ (-)} \\P'/m' &= 5 \cdot 10^{-9} \text{ (s}^{-1}\text{)}\end{aligned}$$

Dessa värden har sedan legat till grund för den driftsprognos som redovisas i avsnitt 5.6.

5.3 Vattenbeskaffenhet

Under pumpningen mättes temperaturen på vattnet vid olika tidpunkter under pumpningen. Temperaturen uppmättes till 10°C vid samtliga mättillfällen.

Vid slutskedet av pumpningen togs prov för kemisk/fysikalisk analys. Resultatet framgår av tabell 2.

UNDERSÖKNING	ENHET	
Provtagningsdatum		11/11
Tidpunkt		10.00
Temperatur/vid ankomst till lab	°C	10,0/-
Färg / med syra	mg/l Pt	5/5
Grumlighet /	FTU	51/2,6
Lukt, styrka		tydlig
Lukt, art		oangenäm
Bottensats		ingen
pH (pot)		7,2
Konduktivitet x 10 ⁶ , 25°C	ohm ⁻¹ cm ⁻¹	990
Permanganatförbrukning	mg/l KMnO ₄	10
Järn	mg/l Fe	6,1
Mangan	Mn	0,13
Fosfat	PO ₄	0,86
Ammonium	NH ₄	2,6
Nitrit	NO ₂	< 0,01
Nitrat	NO ₃	< 0,10
Sulfat	SO ₄	< 1
Bikarbonat	HCO ₃	4,10
Klorid	Cl	160
Kalcium	Ca	110
Magnesium	Mg	28
Totalhårdhet	°dH	22
Kolsyra, marmoraggressiv ber	CO ₂	mg/l < 1
Kiselsyra	SiO ₂	17
Fluorid		0,6
Totala ant bakterier 22 °C 48 t	antal/ml	
Totala ant coliforma bakt 35 °C 48 t	antal/100 ml	
Ant termotstabila colif bakt 44 °C 48 t	antal/100 ml	
Natrium	mg/l Na	97
Kalium	K	3,7

Tabell 2 Resultat av kemisk/fysikalisk vattenanalys.

Vattnet är reducerat vilket bl a framgår av ammonium-innehållet samt avsaknad på nitrit och nitrat.

Eftersom också sulfathalten är låg finns sannolikt en del svavel i form av svavelväte (H₂S), vilket också förklarar den tydliga och oangenäma lukten.

Det karakteriseras vidare av hög järnjonshalt samt hög totalhårdhet, men relativt neutralt pH-värde.

Vattnets beskaffenhet är av stor betydelse då det gäller val av material i brunns- och värmepumpskomponenter samt val av systemlösning. Såväl korrosions- som utfällningsproblem kan uppträda. I aktuellt fall föreligger risk för utfällningar av kalk och järnföreningar, där värmepumpens förångare samt brunnsfilter och pumpar bildar de mest utsatta komponenterna i systemet. Till följd av den höga järnhalten kan det också uppträda problem med järnbakterier. Särskilt utsatt för bakterietillväxt är infiltrationsbrunnarna.

Problem med utfällningar kan i hög grad undvikas genom olika åtgärder, bl a är det i aktuellt fall helt nödvändigt att göra vattenhanteringen helt sluten, dvs undvika syreupptagning från atmosfären. På så sätt ges inte möjlighet åt järn och mangan att oxidera. Kalkutfällningar förebyggs främst genom att upprätthålla ett någorlunda högt tryck i systemet vilket gör att kolsyreavgång förhindras. I förebyggande syfte är det dock lämpligt att anläggningen förbereds för pH-justering exempelvis genom injicering av kolsyra i systemet.

Klassificeras vattnet enligt Reizners stabilitetsindex (RSI) fås ett värde av 7,6 vilket innebär att vattnet är nära nog neutralt, men med en svag tendens åt det korrosiva hållet. En syreupptagning skulle medföra att denna tendens förstärks och bl a medverka till bildning av svavelsyra. Detta är ytterligare en anledning att göra systemet slutet.

5.4 Beräknat vattenbehov

På goda grunder kan antas att grundvattnet har en i praktiken stabil temperatur året runt, dvs ca 10°C. Detta kommer också att inledningsvis vara framledningstemperaturen till värmepumpens förångare. Som kommer att framgå i avsnitt 5.6 kommer en viss nedkylningseffekt att fås på längre sikt vilket gör att

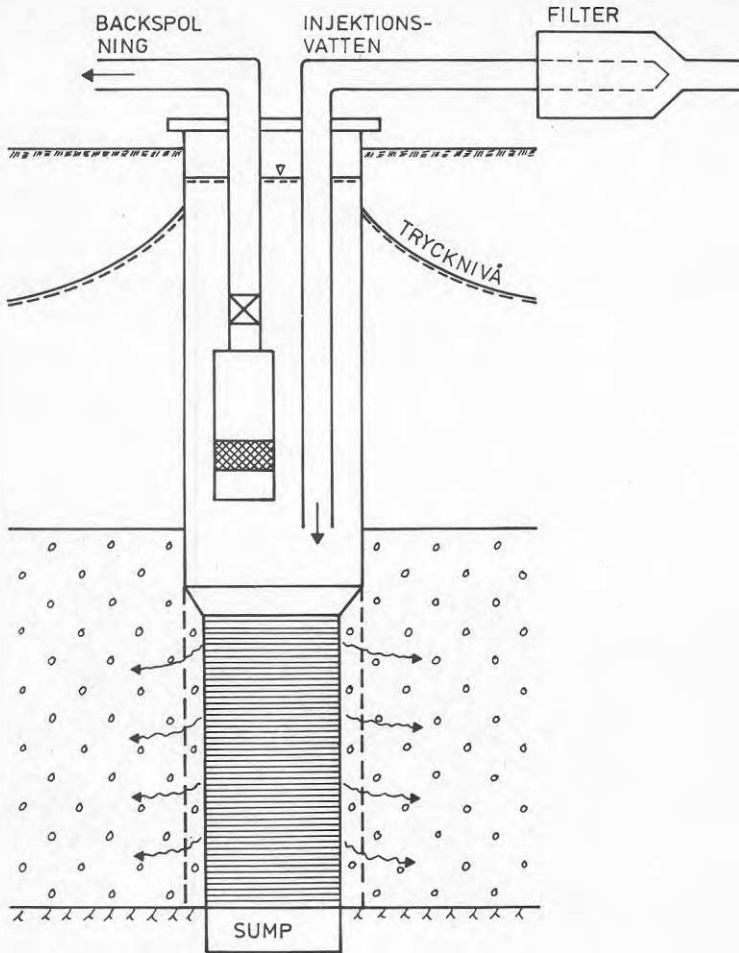
framledningstemperaturen kommer att sjunka till drygt 8°C efter några år. Med en avledningstemperatur på 3°C fås således ett temperaturfall av minst 5°C genom förångaren.

Värmeinnehållet i vatten är approximativt $1,17 \text{ kWh/m}^3$ och $^{\circ}\text{C}$. Med värmefaktorn 2,5 och maxeffekten ut 1150 kW fordras en värmeupptagning från vattnet motsvarande 690 kW eller 33 l/s vid $T 5^{\circ}\text{C}$. Enligt figur 3, beräknas värmepumpen gå med full effekt drygt 2000 timmar (knappt 3 månader). Resterande del av året reduceras vattenbehovet efter effektbehovskurvan för att sommartid uppgå till ca 8 l/s. Det genomsnittliga årliga behovet har beräknats till knappa 20 l/s.

5.5 System med återföring

Som tidigare framgått planeras grundvattnet återföras till akviferen efter värmeuttaget. Detta sker med hjälp av infiltrationsbrunn(-ar) vilken(-a) är belägen (-na) ca 300 m från uttagsbrunnen(-arna).

En infiltrationsbrunn skiljer sig inte särskilt mycket i utförande från en uttagsbrunn. Vanligen görs den dock i större dimension samt med en anordning i slututförandet som kan tillåta rensningsåtgärder vid partikulär igensättning (backspolning). Just igensättning av i injektionsvattnet suspenderade finpartiklar är den i särklass vanligaste orsaken till driftsproblem. Ett helt rent injektionsvatten är mot bakgrunden härav av största vikt. Detta ställer dock stora krav på uttagsbrunnen(-arna) som helst bör producera vatten med suspensionshalter $<1 \text{ ppm}$. I vissa fall kan det behövas en filtrering av vattnet före injektion. Figur 7 visar den principiella utformningen av en återföringsbrunn.



Figur 7 Aterföringsbrunn med injektionsrör och pump för backspolning.

Med hänsyn till att dels behålla ett visst hydrostatiskt tryck, dels för att motverka syreupptagning bör infiltrationsvattnet släppas på en relativt djup nivå, se figuren.

En eventuell igensättning kommer att förmärkas i en stigande vattenyta i brunnen men en bibehållen trycknivå utanför. Vid ett bestämt tryckstegringsbelopp i brunnen avbryts infiltrationen och brunnen utsätts för en kraftig avsänkning genom pumpning. Härvid rensas filter och porsystem från finpartiklar.

En annan källa till igensättning av brunnsfilter och porsystem kan vara kemisk utfällning av främst kalk samt järn- och manganoxider. Även järnbakterier kan orsaka igensättning. Vad gäller kemisk utfällning av järn och mangan kan detta enklast förebyggas genom att bibehålla vattnet i syrefri miljö. Järnbakterier kan kloreras bort. Befintliga utfällningar behandlas vanligen med starka syror. Kalkutfällning förebygges bl a genom pH-justering. Den vanligaste metoden är att tillsätta kolsyra. Borttagning av kalkbeläggning sker oftast med hjälp av syra.

I aktuellt fall bör, i förebyggande syfte, anläggningen projekteras så att den är förberedd för kolsyrainjektering.

5.6 Termohydraulisk driftsprognos

Det är självfallet av stor betydelse att kunna förutsäga vilka driftsförhållanden som kommer att råda på längre sikt. Frågor av central betydelse är vilket avstånd och vilken riktning som bör väljas mellan uttags- och återföringspunkt med hänsyn till främst

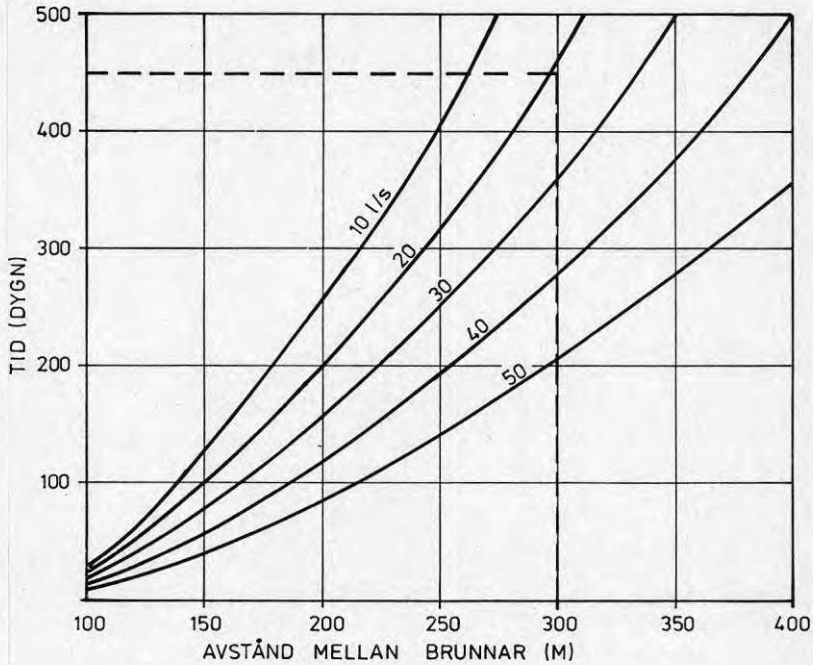
- trycknivåfördelning i akviferen
- hydraulisk kontakt mellan brunnarna
- långsiktig nedkylningseffekt i uttagspunkt samt
- inverkan på omgivningen

Vad gäller återföringspunktens geografiska läge borde denna teoretiskt placeras i sektorn mellan uttagspunkt och Öresund. Huvudskälet härtill är att återföringen då sker nedströms uttagspunkten, vilket ger en relativt lägre nedkylningseffekt. Samtidigt erhålls en tryckhöjning i kustzonen, vilket förebygger en eventuell saltvatteninträngning av havsvatten.

Som framgår av figur 1 har emellertid återföringen preliminärt planerats ske i en linje parallellt med kusten, vilket gör att de ovan påtalade effekterna endast delvis uppnås. Anledning till denna placering är dels markägarförhållanden, dels en strävan att förlägga återföringen så långt från privata brunnar som möjligt.

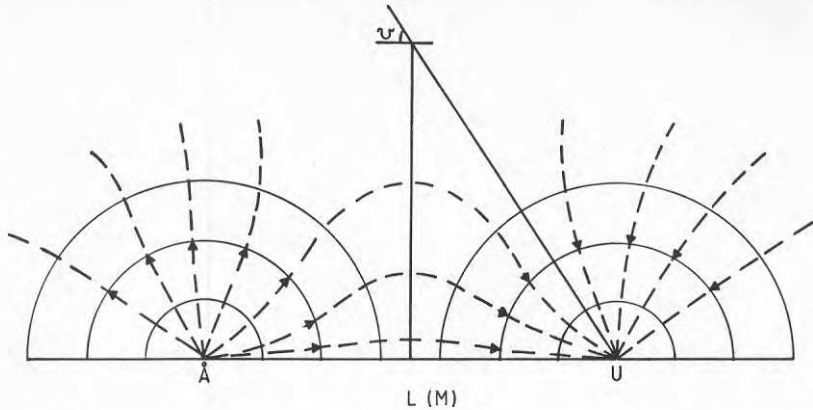
Då det gäller att bestämma lämpligt avstånd mellan uttags- och återföringspunkt har använts en manualmodell presenterad av Kazmann et al 1980. Applicerat på aktuellt fall, där det flödesverksamma lagrets mäktighet satts till 10 m med porositeten 15 % fås en första nedkylande påverkan i uttagsbrunnen efter ca 450 dygn om avståndet är 300 m, se figur 8.

Nedkylningens storlek är också den en funktion av avståndet mellan brunnarna. Men här inverkar naturligtvis också flödes- och temperaturförhållandena på ett avgörande sätt.



Figur 8 Tidpunkt för den första termiska inverkan i uttagsbrunnen som funktion av avstånd och flöde.

Om man utgår från att det återförda vattnet alltid håller 3°C fås på sikt (sannolikt efter ett par år) en temperaturmässig jämvikt i uttagsbrunnen som bestäms av hur stor del av det återförda vattnet som når uttagsbrunnen. Denna mängd står i ett direkt samband med akviferens hydrauliska villkor och kan angripas modellmässigt enligt figur 9, där vinkeln v är proportionell mot avståndet L .

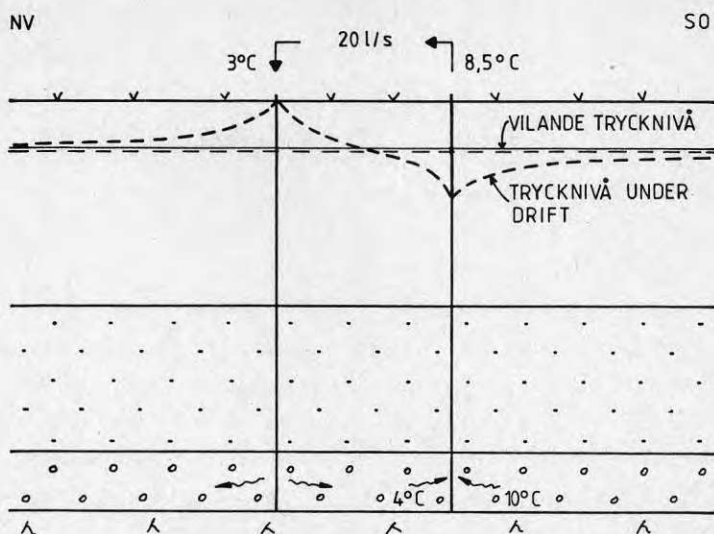


Figur 9 Strömningssymetri mellan en uttags- och återföringsbrunn. Dubbla vinkeln v anger hur stor sektor som berörs av återföringsvattnet.

I aktuellt fall har vinkeln v preliminärt beräknats till ca 45° , vilket ger en påverkan av 25 %. Detta innebär att uttagsvattnet består av en fjärdedel återföringsvatten med en lägsta temperatur av 3°C samt tre fjärdedelar vatten med normaltemperaturen 10°C . Blandvattnet får således en temperatur av $8,25^\circ\text{C}$.

Genom inverkan av det geotermiska värmeflödet erhålles en viss uppvärmning av det infiltrerade vattnet. Teoretiskt beräknat bör den geotermiska effekten bidra med ett temperaturtillskott på infiltrationsvattnet motsvarande ca 1°C , vilket höjer temperaturen på uttagsvattnet till $8,5^\circ\text{C}$.

Den naturliga trycknivån i akviferen ligger vid värmecentralen ca 8,5 meter under markytan, eller på ungefärlig havsnivå. Provpumpningen (avsnitt 5.2) visade att ett uttag av i genomsnitt 20 l/s skapar en avsänkningstratt som är ca 8 m djup i anslutning till uttagsbrunnen(-arna). Motsvarande tryckhöjning fås runt återföringsbrunnen(-arna), se figur 10.



Figur 10 Driftsprognos vid uttag och återföring av 20 l/s. Trycksänkning respektive tryckhöjning i brunnarna blir 8 m. Avståndet mellan brunnarna är 300 m. Influensradien definierat som 0,2 m tryckförändring blir ca 800 m.

Avsänkningstratten runt uttagsbrunnen får en maximal radie av ca 800 m med 0,2 meters avsänkning och i riktning mot sydost. Motsvarande radie med 0,2 m tryckhöjning når ca 800 m i nordvästlig riktning.

Driftsprognosen bygger på preliminära resultat och måste därför anses behäftade med viss osäkerhet. För att erhålla bättre beräkningsunderlag fordras i nästa etapp en ny undersökningsborrning vid den planerade återföringsplatsen och i samband härmed ytterligare en pumpning där det hydrauliska sambandet mellan uttags- och återföringsplats dokumenteras.

5.7 Mark, miljö och juridiska aspekter

Upplåtande av mark för brunnar och ledningar bör inte innebära några större problem. Alla delar av anläggningen ligger inom Flädie Värmecentral ABs distributionsområde och de ytor som tas i anspråk består av grönområde utan annan planläggning. Markägare är Lomma kommun som preliminärt ställt sig positiva till projektet. I nästa skede bör markupp-låtandet regleras med servitutavtal.

Ur miljösynpunkt har inget framkommit som skulle kunna äventyra projektets förverkligande. Det är också svårt att hitta några potentiella problemområden eftersom projektet inte innehåller någon miljöfarlig verksamhet. Temporärt kan dock bullerproblem uppkomma under anläggningsskedet, bl a vid borrhningsarbeten.

Normalt fordras vattendom vid större grundvattenuttag än $300 \text{ m}^3/\text{dygn}$. Det är då underförstått att vattnet skall "brukas", dvs användas för konsumtion, bevattning eller i industriella processer. I aktuellt fall, med värmeuttag och återföring "brukas" inte vattnet i lagens mening varför vattenlagens bestämmelser inte är tillämpliga. Det kan ändå finnas anledning att få anläggningen prövad av vattendomstol, bl a för att tillförsäkra sig rätten av vattenhanteringen i framtiden. Då frågeställningarna delvis är nya bör dock tidpunkten för en eventuell vattendomsprövning läggas så långt fram i tiden att driftserfarenheter först erhållits.

6 EKONOMISK BEDÖMNING

Det enklaste sättet att ekonomiskt utvärdera den föreslagna värmepumpsinstallationen vore att jämföra med fortsatt oljedrift i centralen. Sett i detta perspektiv förefaller värmepumpen klart lönsam oavsett

beräkningsmetod. Kostnaden för värmepump och grundvattenbrunnar har beräknats till ca 1 600 000:-. Om värmepumpen t ex ersätter 90 % av oljeförbrukningen erhålles en payback-tid om 2-3 år. Fortsatt oljedrift kräver dessutom investeringar i nya pannor inom fem år.

Som framgick av beskrivningen av beslutssituationen i inledningen är emellertid inte fortsatt oljedrift den relevanta jämförelsen. Alternativet till en värmepumpsinstallation är istället att lägga ner den gemensamma centralen och satsa på individuell eluppvärmning. I den kalkyl som presenteras nedan har vi således försökt göra en jämförelse mellan värmepumpsinstallationen och detta sistnämnda alternativ. Med hänsyn till den osäkerhet som på detta stadium finns både i kostnadsuppskattning och andra delar av dataunderlaget bör kalkylen nedan i första hand ses som ett diskussionsunderlag.

Följande alternativ har således beaktats

1. Installation av grundvattenbaserad värmepump i centralen samt förbättring av existerande kulvertsystem till fullgod standard.
2. Nedläggning av Flädie Värmecentral och installation av individuell vattenburen elvärme. (Den befintliga undercentralen ersättes med en elpanna.)

6.1 Kalkylmetod

För att slippa använda en kalkylränta, vars lämpliga höjd och privatekonomiska innebörd är svårbestämbar, har kalkylen utformats som en årskostnadskalkyl. För att underlätta tolkningen av materialet och en jämförelse med individuell elvärme har beräkningen gjorts per fastighet. Beräkningarna sker i form av

en realkalkyl, dvs i fast penningvärde. Arskostnaderna har beräknats för åren 1, 5, 10 och 15.

6.2 Beräkningsunderlag

6.21 Allmänna förutsättningar

Energiförbrukning:	22000 kWh/år (baseras på statistik för senaste värmeåret men kan vara för lågt pga ofullkomligheter i värmemätningen. Högre verklig förbrukning skulle gynna värmepumpsalternativet).
Ekonomisk livslängd:	15 år för båda alternativen
Inflation:	7 % per år
Energipriser:	Priset på el och olja beräknas öka i samma takt. Beräkningar har gjorts för 2 %, 4% och 6 % real energiprisökning. (4 % real energiprisökning motsvarar $1,04 \times 1,07 = 1,113$ dvs 11,3 % prisökning i löpande penningvärde).
Finansiering:	För att alternativen skall bli jämförbara antas att investeringen i båda fallen kan finansieras med annuitetslån 12 % på 15 år. Det bortses från statliga bidrag och från skatteeffekter.
Eltaxa:	Beräkningarna har baserats på Sydkrafts taxa.

Kostnader för Flädie Värmecentrals befintliga anläggning vid nedläggning resp fortsatt drift:

Flädie Värmecentrals anläggningstillgångar är finansierade med aktiekapital och ett långsiktigt lån om ca 200 000. Vid nedläggning kan aktiekapitalet inte återvinnas medan lånet måste betalas. För att få en riktig bild av de totala kapitalkostnaderna läggs det befintliga lånet till grundinvesteringen vid värmepumpsalternativet och ingår således i den summa som skall finansieras genom det 15-åriga lånet. På motsvarande sätt blir kostnaden för en nedläggning av centralen ca 1000 kr per hus vid övergång till individuell elvärme.

6.22 Förutsättningar - värmepump

Kostnaden för värmepumpsinstallation och kulvertförbättring har beräknats till 2000' enligt nedan.

Värmepump (uteffekt 1150 kW)	1000'
Borrning av fyra brunnar samt rördragningar	450'
Elinstallation	130'
Utbyte av värmekulvert, inreglering av undercentraler i fastigheterna, åtgärder i problemhus m m	270'
Oförutsett	<u>150'</u>
Summa	2000

Per hus $2000'/212 = 9,5'$

Grundinvestering: $9,5' + \text{befintligt långfristigt lån } 200'/212 = 1' \text{ ger } 10,5. \text{ (Det antas att befint-$

liga oljepannor håller i 15 år med hänsyn till att de endast behöver användas för spetsning vintertid).

Driftsdata:

Den preliminära bedömningen av vilka driftsdata som vore möjliga att uppnå innehåller ett mått av osäkerhet. Jämsides med denna bedömning har därför driftskostnaderna även beräknas för en mera pessimistisk uppsättning driftsdata. Risken för att driftskostnaderna hamnar utanför det intervall som därvid erhålles kan bedömas som liten.

	<u>Prel</u> <u>bedömn</u>	<u>Pessim.</u> <u>bedömn</u>
Värmepumpens andel av energiförbrukningen vid 100 % tillgänglighet	90%	75%
Tillgänglighet	100%	90%
Årsmedelfaktor	2,5	2,0
Kulvertförluster	15%	25%
Underhåll värmepump (2 resp 4% av grundinvest)	40'	80'
Övriga driftskostnader (exkl el och olja)	80'	150'

Den del av energibehovet som ej täcks av värmepumpen tas från olja Eo3 (10700 kWh/m³, pris 1400 kr/m³ pannverkningsgrad 80 %.

Från driftsdata ovan erhålles
följande driftskostnader:

Energikostnad:		Prel bedöm	Pessim. bedömn
	El ab avg 120'/212	566	566
	Förbr 9,32*0,18 resp 9,9*0,18	1678	1782
	Olja 0,304*1400 resp 1,11*1400	426	<u>1559</u>
		2670	3907
Underhåll och övriga driftskostnader:	Underhållskost- nader för vp/ hus	200	400
	Övriga drifts- kostnader för värmecentralen/ hus	400	700

6.23 Förutsättningar - elvärme

Kostnaden per hus för elpanna inkl installation är 15'. Med hänsyn till att befintlig värmeväxlare förr eller senare måste bytas bör dock ej hela kostnaden för en elpanna belasta elalternativet. Om ny värmeväxlare också kostar 15' med livslängd 15 år och genomsnittlig återstående livslängd antas vara 7½ år, bör enbart halva kostnaden för elpannan belasta kalkylen, alltså 7,5'. Härtill skall läggas en anslutningsavgift om 2'.

Grundinvestering:	Nedläggning av FVC	1'
	Elpanna x 0,5	7,5'
	Anslutningsavgift	<u>2'</u>
		10,5'

Energikostnad:	Ökning av abonne- mangsavgift (20 A) 1180 - 470 =	710
	Förbrukning 22' x 0,195 =	4290

$$\begin{array}{r} \text{Besparing hus-} \\ \text{hållsel } 5' \times 0,02 = \frac{-100}{4900} \end{array}$$

Underhåll och övriga

driftskostnader:

Antas försumbara.

6.3 Beräkning av årskostnader

Med de antaganden som gjorts blir grundinvesteringen och därmed kapitalkostnaden samma för båda alternativen.

Kapitalkostnad (ränta och amortering) $0,14682 \times 10,5'$
 $= 1,542'/\text{år}.$

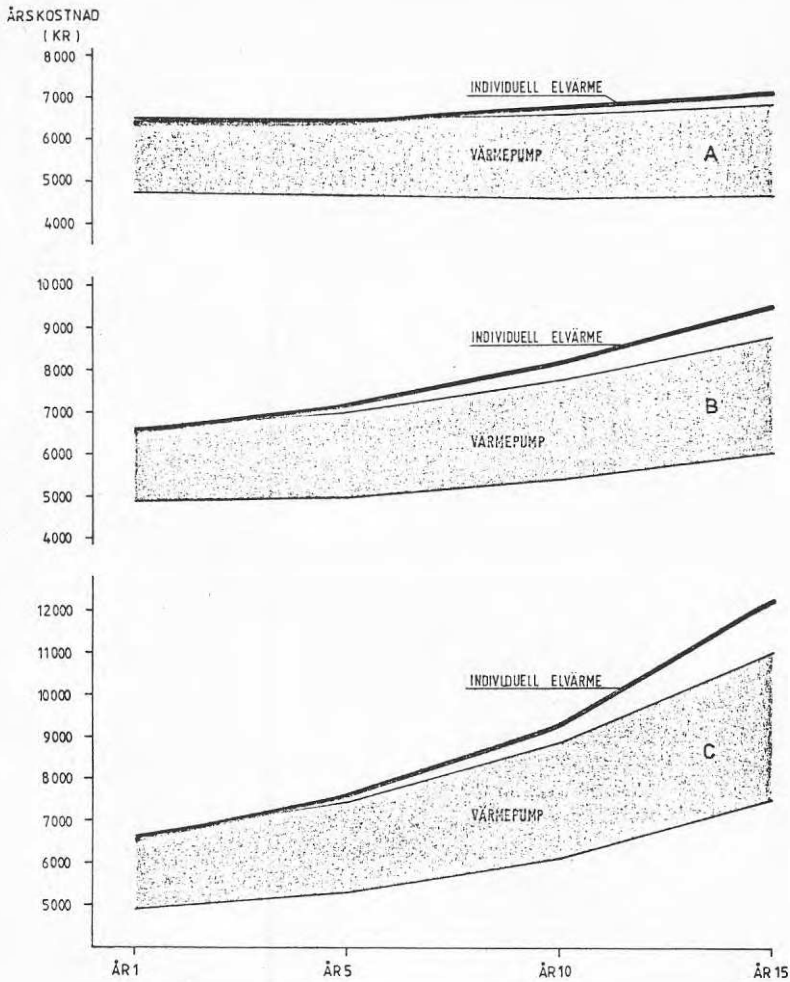
Inflationen (7 %) gör att kapitalkostnaderna successivt minskar i fast penningvärde räknat.

Med olika antaganden om den framtida energiprisutvecklingen kan årskostnaderna i fast och löpande penningvärde beräknas såsom framgår av exemplet i tabell 3. Beräkningar för olika driftsdata för värmepumpen och olika antaganden om energiprisutvecklingen sammanfattas i figur 11.

Alternativ/ Kostnadspost	Kostnad (kr)			
	År 1	År 5	År 10	År 15
1. VÄRMEPUMP				
Kapitalkostn <u>1.542</u>				
1.07 ⁿ	1441	1099	784	559
Energikostnad 1.04 ⁿ · 2670	2777	3248	3952	4809
Underhåll	200	200	200	200
Övr driftskostn	400	400	400	400
Årskostnad fast pv	4818	4947	5336	5968
Årskostnad löp pv	5155	6938	10497	16466
2. INDIVID ELVÄRME				
Kapitalkostnad <u>1.542</u>				
1.07 ⁿ	1441	1099	784	599
Energikostnad 1.04 ⁿ · 4900	5096	5962	7253	8825
Årskostnad fast pv	6537	7061	8037	9384
Årskostnad löp pv	6995	9903	15810	25891

Tabell 3

Exempel på beräkning av årskostnad för de två alternativen. Driftsdata enligt preliminär bedömning och med 4% real energiprishöjning. Inflation 7%.



Figur 11

Årskostnader i fast penningvärde och med inflationen 7 % vid (A) en real energiprisökning av 2 %, (B) 4 % och (C) 6 %. Värmepumpsalternativet är angivet med driftsdata enligt pessimistisk och preliminär bedömning (undre resp övre begränsningslinjer av rasterat område).

6.4 Kommentarer till kalkylen

Som framgår av figur 11 uppvisar värmepumpsystemet klart lägre årskostnader än individuell elvärme om de gynnsamma driftsdata kan uppnås som i den preliminära bedömningen förefaller möjliga.

Vid jämförelse av årskostnaderna med olika antaganden om den framtida energiprisökningen framgår också att värmepumpsalternativet är betydligt mindre känsligt för framtida energiprisökningar än individuell elvärme. I värmepumpssystemet behöver enbart 50-60 % av de producerade energitjänsterna tillföras i form av primärenergi - el och olja. Den rörliga energikostnaden blir därmed en mindre andel av årskostnaden.

Värmepumpssystemets årskostnader med mera försiktigt antagna driftsdata (pessimistisk bedömning) ligger ungefär i nivå med individuell elvärme. Om alternativet skulle visa sig få ungefär jämförbara årskostnader kan andra faktorer än de som tagits med i kalkylen komma att bli avgörande.

6.41 Icke kvantifierande faktorer

Till värmepumpsalternativets fördel talar att detta förutom den relativa okänsligheten för framtida energiprisökningar som nämnts ovan även innebär ett vidmakthållande av existerande kulvertsystem och panncentral. Jämfört med individuell elvärme ger det en större handlingsfrihet vid framtida val av uppvärmningssystem.

Till elvärmens fördelar hör att en övergång till individuell uppvärmning skulle eliminera de nuvarande problemen med att åstadkomma en rättvis mätning av energiförbrukningen i varje fastighet. En annan fördel är systemets enkelhet och driftsäkerhet.

6.42 Upphandlingsform och risktagande

Värmesystem baserade på värmepumpsteknologi eller annan "ny" energiteknologi innehåller ofta ett visst mått av tekniska risker. I det här aktuella fallet gäller osäkerheten t ex värmepumpens driftsdata och livslängd, produktions- och återföringsbrunnarnas funktion och livslängd, systemets driftskostnader m m.

Diskussioner med potentiella leverantörer har visat att det för närvarande knappast vore möjligt att upphandla det föreslagna värmepumpsystemet på ett sådant sätt att tekniska risker elimineras för beställaren och så att de framtida driftskostnaderna kan beräknas med någorlunda god precision.

Samtidigt torde marknaden för större värmepumpar till stor del bestå av kommuner och villaföreningar i olika former. Kännetecknande för båda dessa kategorier är att såväl deras ekonomiska situation som organisatoriska uppbyggnad gör dem tämligen obenägna att ta risker jämfört t ex med företag.

För en villaägareförening som Flädie Värmecentral blir en investering i ett värmepumpsystem en mycket stor investering, kanske det enda stora beslutet som fattas under en 10-20 års period. Redan i ett medelstort företag skulle samma anläggning enbart ta en måttlig del av ett års investeringsbudget i anspråk.

I företaget är också ett visst risktagande en naturlig sak.

Utveckling av nya upphandlingsformer som är bättre anpassade till marknads behov synes därför vara ett villkor för att värmepumpsteknologi och annan "ny" energiteknologi skall kunna få ett genombrott på marknaden.

7 FORTSATT PROJEKTUTVECKLING

Förstudien har visat att värmepumpsalternativet verkar gynnsamt ur såväl teknisk som ekonomisk synvinkel. Inte heller tycks det föreligga några större hinder för projektets förverkligande med avseende på mark- och miljöfrågor samt juridiska spörsmål.

Det finns mot bakgrunden härav anledning att driva projektet vidare med sikte på en möjlig anläggning under hösten 1981 och i så fall ett idriftstagande vid årsskiftet. För att erhålla tillräckligt tekniskt underlag för detaljprojektering krävs dock en kompletterande studie med följande huvudsakliga programpunkter.

- Undersökningsborrning för injektionsbrunnar samt injektionstest
- Inventering av komponenterna i befintlig värme-central, inkl vissa mätningar
- Försök med injusteringar på distributionsnät och enskilda hus
- Utveckling av upphandlingsform som eliminerar de tekniska riskerna för beställaren och ger bättre förutsättningar att beräkna framtida driftskostnader

Det är vår avsikt att omgående inkomma till BFR med ansökan om anslag till denna studie samt att vid gynnsamt resultat i steget därefter söka experimentbyggnadslån till delar av anläggningskostnaderna.

GRUNDVATTENVÄRME TILL 212 ÄLDRE CENTRALUPPVÄRMDA VILLOR I
BJÄRRED - FÖRPROJEKTERING

1 SAMMANFATTNING

Förprojekteringen har syftat till att medelst kom-
letterande undersökningar erhålla tekniskt underlag
för detaljprojektering av brunnar, värmecentral och
justeringar av distributionsnätet. Följande huvud-
sakliga programpunkter har ingått:

- Undersökningsborrning för injektionsbrunnar.
Injektionstest
- Mätningar och försök med injustering på distri-
butionsnät och i enskilda hus
- Inventering och bedömning av komponenterna i
befintlig värmecentral
- Förnyad ekonomisk kalkyl

1.1 Undersökningsborrning och tester

Undersökningsborrningen, här benämnd Fläde 2, gjor-
des i dimensionen 200 mm och till ett djup av 79
meter. På nivån 68-73 m påträffades ett högpermea-
belt sand- och gruslager. Här sattes ett slitsat
PVC-rör, \emptyset 100 mm, med yttre grusning och med för-
lägningsrör till ett 22 m långt 200 mm rör i brun-
nens överkant.

Inledningsvis stegpumpades brunnen med en slutkapa-
citet av 19,5 l/s, varvid en avsänkning av ca 1,5 m
erhölls. Transmissiviteten har beräknats till
 $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ runt brunnen, vilket tyder på ett
mycket genomsläppligt material.

Efter stegpumpningen gjordes en s k kortvarig prov-
pumpning med konstant kapacitet av 19,5 l/s ur den
nya brunnen (Flädie 2). Pumpningen pågick fem dygn

då ett fortvarighetstillstånd nära nog hade erhållits och med en avsänkning av ca 5,0 meter. Avsänkningen i den första brunnen (Flädie 1), 300 m därifrån, blev ca 1,5 m. Grundvattenmagasinets transmissivitet mellan brunnarna har beräknats till $3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Injektionstestet pågick 52 dygn och innebar att 5 l/s pumpades från den äldre brunnen (Flädie 1) och återfördes i den nya brunnen (Flädie 2). Under testet mättes grundvattennivåerna i båda brunnarna. Ett hydrauliskt jämviktstillstånd mellan brunnarna uppnåddes efter ca två dygn och ett fortvarighetstillstånd i magasinet efter 10-12 dygn. Det fanns inget i testet som tydde på att igensättning av uttagsbrunnen börjat uppkomma.

Borrningen och testerna visade sammanfattningsvis att

- god hydraulisk kontakt råder i grundvattenmagasinet mellan de tänkta platserna för uttag respektive återföring,
- förutsättningarna för anläggning av högkapacitetsbrunnar är synnerligen goda på båda platserna och att erforderlig vattenmängd (max 30 l/s) därför går att hantera med ett begränsat antal brunnar i relativt liten dimension (\emptyset 200 mm)
- grundvattnets kemiska sammansättning är likvärdigt på uttags- och återföringsplats och
- även om återföring sker syrefritt och med bibehållet tryck kan man inte bortse från att brunnarna kommer att kräva visst underhåll till följd av igensättningsfenomen.

1.2 Inregleringsförsöken

Mätningarna, som utfördes under årsskiftet, visade att man med ökat flöde genom kulvertsystemet kan sänka dimensionerande framledningstemperatur (vid 0°C) till ca 60°C. Dimensionerande flöde är då 8-9,5 l/min och hus. Nuvarande värmekomfort skulle i stort sett bestå.

Vissa dåliga termostatventiler behöver dock bytas för att en inreglering skall kunna utföras på ett godtagbart sätt.

Resultaten pekar på att en värmepumpsinstallation enligt förslaget i förstudien (50 %-ig effekttäckning) är genomförbar vad gäller temperaturnivåerna och att därför en god driftsekonomi kan påräknas.

1.3 Värmepumpen i systemet

Förprojekteringen har visat att en tillbyggnad av befintlig panncentral är det mest praktiska för placering av värmepumpen. Denna dimensioneras till ca 1200 kW och kopplas in som förvärmare av returvattnet. Så länge värmepumpens effekt är tillräcklig för att ensam förse systemet med erforderlig framledningstemperatur (60-65°C) används inte pannorna. Vid högre effektbehov öppnar en shuntventilgrupp som släpper in varmvattnet från värmepumpen för temperaturspetsning i den oljepanna som står startberedd. Shuntventilgruppen reglerar sedan flödet genom pannan så att rätt framledningstemperatur erhålles.

En minst 80 %-ig oljebesparing med värmepumpsproducerad värme kan förväntas.

1.4 Ekonomi

I samband med förprojekteringen har nya offerter intagits och fördjupade kostnadsberäkningar gjorts.

Investeringen i prisnivå 82-09 har beräknats 3 635 KKR inklusive moms eller ca 3 000 kr per installerad kW.

Drygt 600 m³ olja ersättes med värmepumpsproducerad värme och energibesparingen blir drygt 4 000 MWh/år (0,90 kr/kWh).

Den beräknade årskostnaden per hushåll blir ca 1 000 kr lägre redan första året jämfört med konkurrensalternativet, som är vattenburen elvärme.

- 2 KOMPLETTERANDE UNDERSÖKNINGSBORRNING OCH TESTER
Som framgår av förstudien planeras det avkylda vattnet återföras ca 300 m NV platsen för uttagsbrunnar, se översiktskarta figur 1. I syfte att skaffa underlag för detaljprojektering av återföringsbrunnar på denna plats utfördes en undersökningsborrning med efterföljande nya hydrauliska och vattenkemiska tester.

2.1 Undersökningsborrningen

Placeringen av borrningen framgår av översiktskarta, figur 1.

Borrningen Flädie 2 utfördes under juni månad 1981 av Malmbergs i Yngsjö AB.

Som borraringsmetod användes rotationsborrning med direktspolning. Dimensionen var 300 mm ned till 22 m djup. Därefter 200 mm till fullt djup, vilket blev 79 m.

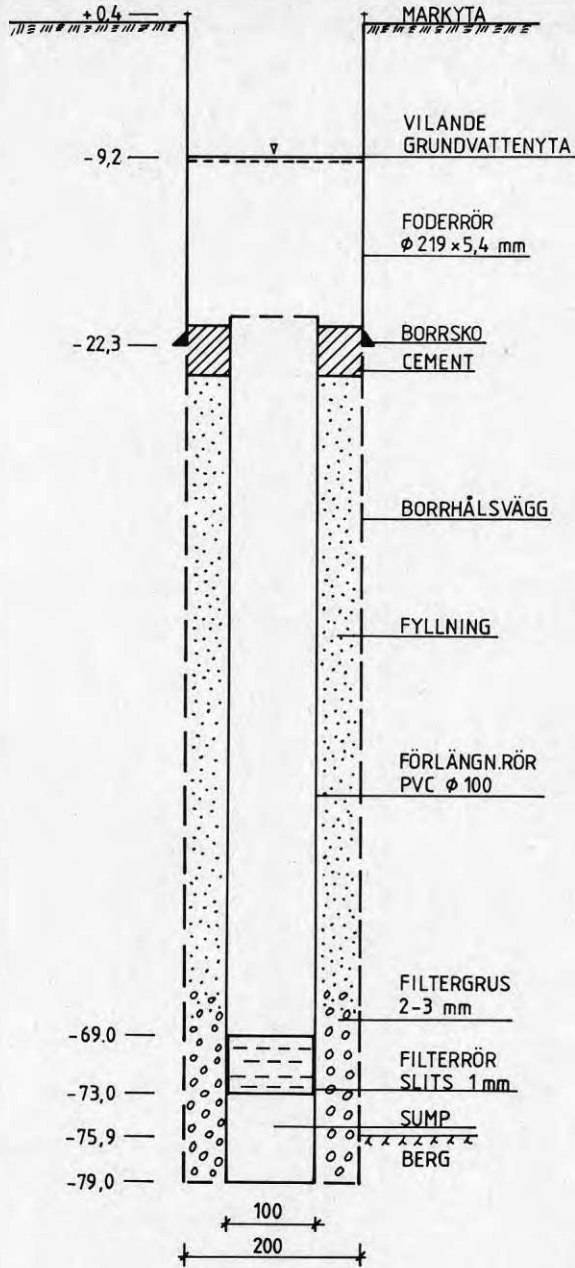
Under borrningen togs prover för okulär jordartsbestämning och kornfördelningsanalys. Den dokumenterade lagerföljden överensstämmer i stort med den första borrningens, Flädie 1, och var i korthet enligt följande:

0 - 3	m u my	finsand, silt
3 -10		lera
10 -10,5		finsand
10,5-21,5		moränlera
21,5-24,5		silt och sand
24,5-49		lera
49 -56,5		finsand
56,5-58,5		lerig silt
58,5-68		finsand
68 -73		sandigt grus
73 -76		siltig finsand
76 -79		kalksten

Lagret med sand och grus på nivån 68-73 m medförde stora spolförluster. Efter avslutad borrning sattes ett fyra meter slitsat PVC-filter med yttre grusning på nivån 69-73 m. Den färdiga brunnens utformning i övrigt framgår av situationsritning, figur 12.

2.2 Provpumpningar

Efter borrningen gjordes dels en stegprovpumpning för bestämning av brunnens status och dels en kortvarig provpumpning som komplement till den provpumpning som gjordes i samband med förstudien.

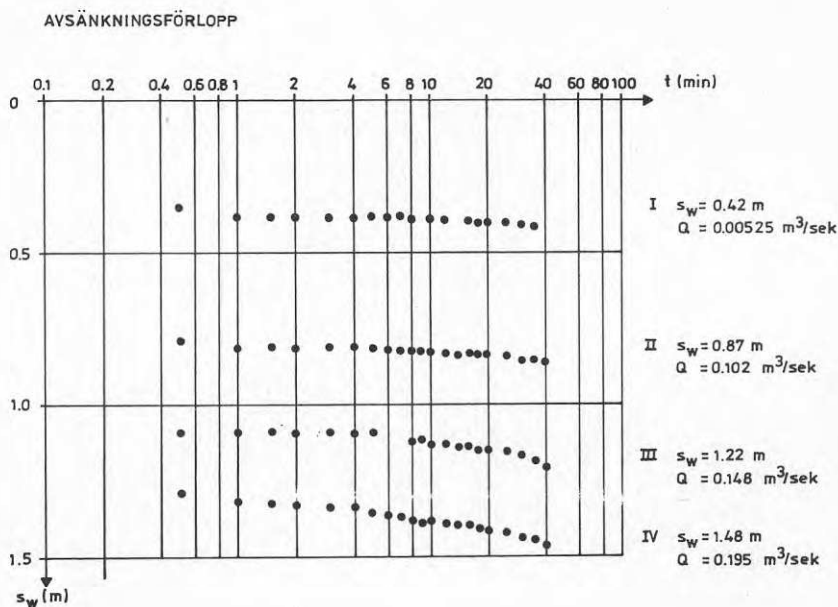


Figur 12

Situationsritning brunnsutformning av undersökningsborrning vid återföringsplats

2.2.1 Stegprov-pumpning

Pumpningen gjordes i fyra steg med successivt ökad kapacitet, från 5,25 till 19,5 l/s. Resultatet av pumpningen framgår av figur 13, där avsänkningsförloppet i de olika stegen plottats på logaritmisk tidskala.



Figur 13 Resultat av stegprov-pumpningen.

s_w = avsänkning vid varje stegs slut

Q = pumpkapacitet

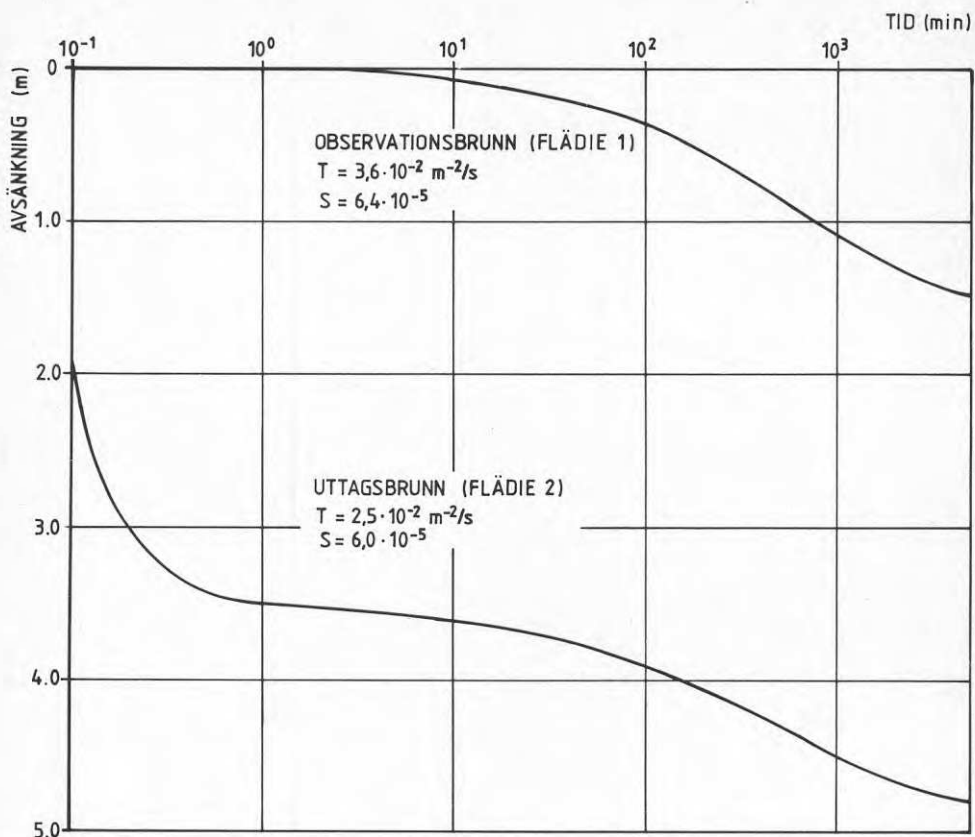
Av pumpningen framgick att brunnen har en mycket hög specifik kapacitet och att inströmningsförlusten var minimal. Transmissiviteten runt brunnsfiltret har på grundval av erhållna värden beräknats till ca $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Den ansatta magasinskoefficienten är då $7 \cdot 10^{-5}$.

2.2.2 Kortvarig provpumpning

Efter stegpumpning vidtog en fem dygn lång provpumpning med mätning också i den första undersökningsbrunnen vid värmecentralen (Flädie 1), se figur 1.

Pumpkapaciteten hölls konstant 19,5 l/s. Vid pumpstopp uppgick avsänkningen i uttagsbrunnen, Flädie 2, till 4,89 m och i observationsbrunnen, Flädie 1, till 1,48 m. Fortvarighetstillstånd hade då nära nog inträtt. Avsänkingsförloppen i de båda brunnarna framgår av figur 14.

På grundval av pumpdata har transmissiviteten (T) i den vattenförande formationen mellan brunnarna beräknats till $3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Magasinskoefficienten (S) blev $6,4 \cdot 10^{-5}$. Dessa värden skiljer sig från de som framräknades vid provpumpningen i samband med förstudien, se sid 19, främst genom att T-värdet är betydligt högre. Detta har sin förklaring i att sand- och gruslagret på nivån ca 70 m har mycket hög permeabilitet och en obruten utbredning mellan de båda brunnarna. Vid den första provpumpningen låg observationsbrunnarna på alltför långt avstånd för att detta förhållande då skulle visa sig i mätdata.



Figur 14 Avsänkingsförloppet i uttagsbrunn (Flädie 2) och observationsbrunn (Flädie 1) på 300 m avstånd. Korrigerat för lufttrycksförändringar.
 T = transmissivitet, S = magasinskoefficient

2.3 Vattenbeskaffenhet

I samband med propumpningen togs vattenprov för kemisk/fysikalisk analys för att jämföra med vattenbeskaffenheten i brunn Flädie 1, se sid 20.

De båda analyserna är tämligen likvärdiga och den nya analysen ger inte anledning till ytterligare kommentarer än de som anförts i förstudien. Resultatet av analysen framgår av tabell 4.

UNDERSÖKNING	ENHET	Brunn 2
Provtagningsdatum		6/7
Tidpunkt		
Temperatur/vid ankomst till lab	°C	10/-
Färg / med syra	mg/l Pt	< 5/10
Grumlighet /	FTU	55/0,80
Lukt, styrka		svag
Lukt, art		täml.stor
Bottensats		
pH (pot)		6,9
Konduktivitet x 10 ⁶ , 25°C	ohm ⁻¹ cm ⁻¹	1 100
Permanganatförbrukning	mg/l KMnO ₄	9
Järn	Fe mg/l	6,5
Mangan	Mn "	0,15
Fosfat	PO ₄ "	
Ammonium	NH ₄ "	3,3
Nitrit	NO ₂ "	< 0,01
Nitrat	NO ₃ "	< 0,10
Sulfat	SO ₄ "	
Bikarbonat	HCO ₃ "	400
Klorid	Cl "	170
Kalcium	Ca "	94
Magnesium	Mg "	28
Totalhårdhet	°dH	19,5
Kolsyra, marmoraggressiv ber	CO ₂ mg/l	20
Kiselsyra	SiO ₂ "	
Fluorid	"	0,5

Tabell 4 Resultat av kemisk/fysikalisk vattenanalys

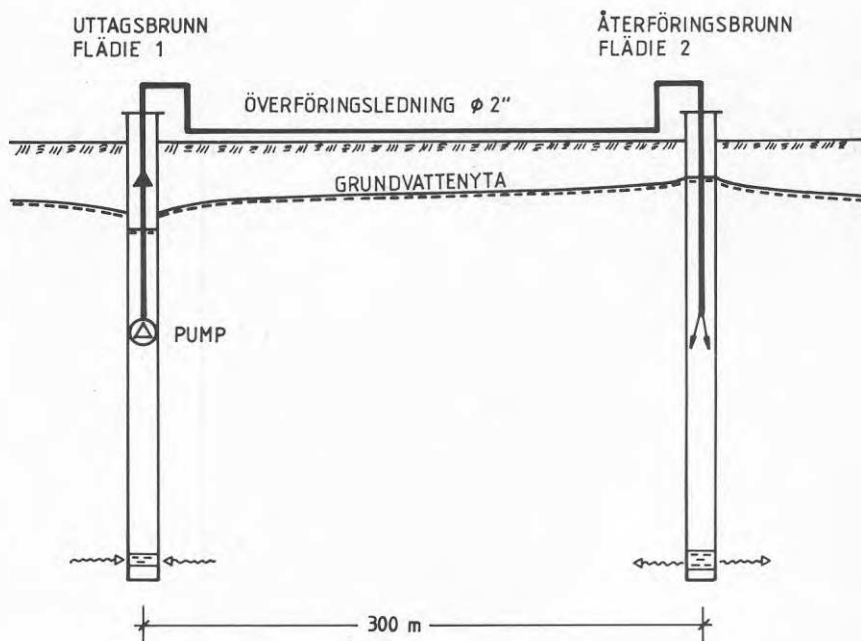
De båda vattnens likartade beskaffenhet gör att de kan blandas utan att utfällningsproblem uppstår i formationen runt återföringsbrunnarna.

2.4 Injektionstestet

Som påpekats i förstudien är ett av problemen med återföring av grundvatten genom brunnar att parti-

kulära och kemiska igensättningar kan uppträda. Detta leder i sin tur till driftstörningar, se vidare förstudiens avsnitt 5.3 och 5.5.

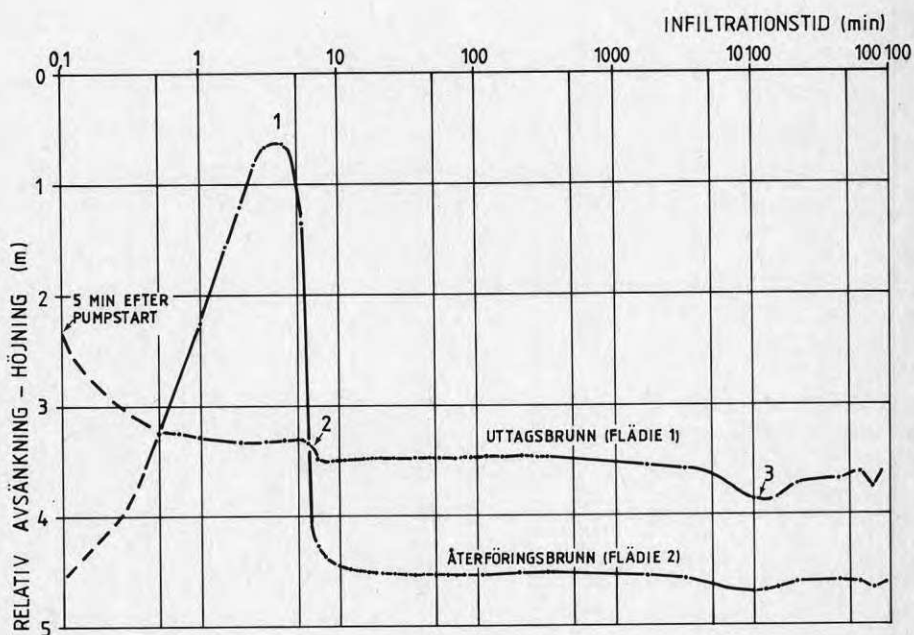
I syfte att detektera eventuella igensättningsfenomen gjordes en injektionstest, vilken pågick 52 dygn. Testet innebar att 5 l/s pumpades från Flädie 1 och injekterades i Flädie 2 enligt figur 15. Vattnet hanterades helt syrefritt i ett tryckbelastat system. Trycket i överföringsledningen (2" plast-rör) var 3-4 kg/cm². Återföringsröret satt 30 m under markytan eller ca 22 m under vilande grundvattennivå. På denna nivå släpptes således trycket till drygt 2 kg/cm² då vattnet lämnade återföringsröret. Ungefär samma tryck hade vattnet vid insuget till pumpen i uttagsbrunnen.



Figur 15

Lay-out injektionstest av återföringsbrunnen Flädie 2. Principiell utformning. Flödet hölls konstant på 5 l/s.

Efter pumpstart tog det fem minuter innan vattnet nådde återföringsbrunnen. Avsänkings- respektive nivåhöjningskurvorna efter denna tidpunkt redovisas i figur 16.



Figur 16

Nivåförändring i brunnarna på logaritmisk tidsskala med början 5,1 min efter pumpstart. Pilarna förklaras i texten

Som framgår av figuren inleddes återföringen med en tryckstegring i brunnen. Denna nådde sin kulmen efter tre à fyra minuter, se figuren pil 1, varefter vattennivån sjönk mycket hastigt till ett stabilt läge. När detta inträffade sjönk också nivån i uttagsbrunnen med ett par decimeter (se pil 2), vilket har sin förklaring i att uppfodringskapaciteten ökade något då infiltrationsmotståndet minsakade.

Orsaken till det inledande infiltrationsmotståndet står sannolikt att finna i en partikelreorientering närmst brunnsfiltret som sker helt plötsligt då ett kritiskt hydrauliskt tryck byggts upp.

Ett hydrauliskt jämviktsläge mellan brunnarna erhöles efter ca 20 minuter. Under hela testet följer sedan kurvorna varandra. De nivåförändringar som uppträder orsakas av lufttrycksförändringar. Dessa synes påverka uttagsbrunnen i större omfattning än återföringsbrunnen, se figurens pil 3. Anledningen till detta har inte gått att förklara entydigt.

Det finns inget i testet som tyder på att återföringsbrunnen börjat sätta igen varken av partiklar eller av kemiska utfällningar.

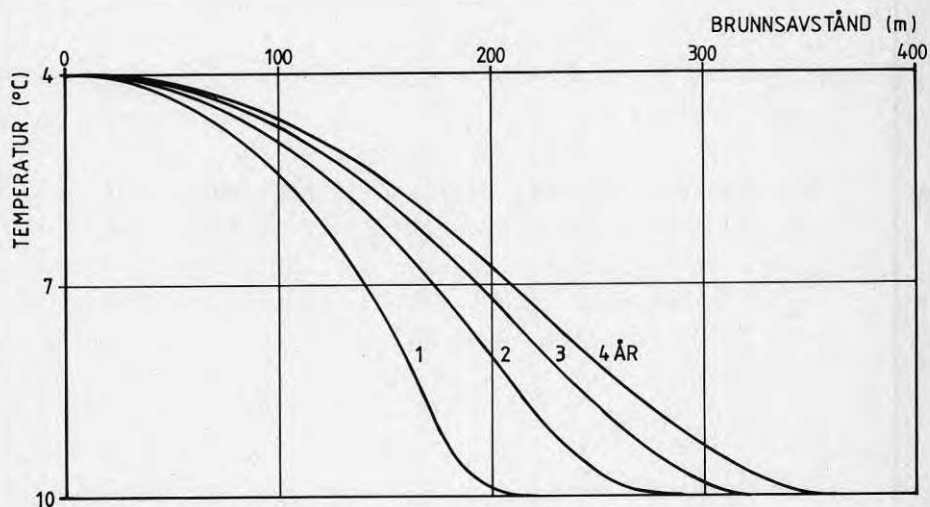
Detta kan emellertid inte tas som intäkt för att igensättningsfenomen inte kommer att uppträda vid tillämpning i full skala. Förutom flödet kommer tidsfaktorn att spela en avgörande roll. Testet har dock visat att några omedelbara driftstörningar till följd av igensättning inte behöver befaras om och när projektet förverkligas.

2.5 Aspekter på nedkylningen

I förstudien beräknades den långsiktiga nedkylningen i uttagsbrunnen bli ca $1,5^{\circ}\text{C}$ efter några år (se sid

26 ff). De modeller som användes för denna beräkning var en syntes av en enkel manualmodell och en grafisk flödesmodell.

Med nya data från ovan relaterade provpumpningar har en ny beräkning gjorts av Institutionen Matematisk Fysik, LTH (Johan Claesson) med en modell som ännu inte publicerats. Resultatet framgår av figur 17.



Figur 17 Temperaturen i uttagsbrunnen som funktion av avståndet till återföringsbrunn t o m år 4 gällande Flädieprojektet (enl Johan Claesson, LTH)

Diagrammet visar att på avståndet 300 m (som gäller) mellan uttags- och återföringspunkt, kommer den första nedkylningen att inträffa först efter 3 år. Nedkylningen blir då endast några tiondels grader, men fjärde året ca $0,8^{\circ}\text{C}$.

Då modellen som använts inte tar hänsyn till det naturliga grundvattenflödet eller grundvattenomsättningen blir långtidseffekterna svårare att förutse. Utan hänsyn till dessa parametrar visar modellen att nedkylningen kommer att fortsätta långt fram i tiden, men med minskad intensitet. Efter 10 år skulle således temperaturen i uttagsbrunnen vara $7,5^{\circ}\text{C}$ och efter 100 år $6,0^{\circ}\text{C}$.

2.6 Slutsatser brunnssystemet

Förstudien och förprojektering sammantaget har visat att det rådet goda förutsättningar att utvinna och återföra grundvatten på de undersökta platserna. Kapacitetsmässigt skulle sannolikt två brunnar i stor dimension (400 mm) vara tillräckligt för att hantera aktuell vattenmängd - en uttags- och en återföringsbrunn. Dessa skulle emellertid få gå med hög belastning, vilket i sin tur kan medföra allvarliga korrosionsskador och/eller kemiska utfällningar. Det är då bättre att dela upp uttaget och återföringen på två brunnar vardera. Förutom att dessa brunnar får en längre teoretisk livslängd gör de också att systemet blir driftsäkrare eftersom de kan användas intermittent och vara reserv för varandra.

Det har tidigare påtalats vikten av att inte utsätta vattnet för syresättning före infiltration. Genom att hålla hela ledningssystemet under tryck garanteras att inget syre kan läcka in. Samtidigt medför tryckbelastningen att kolsyra hålls i lösning. En kolsyreavgång kan annars förorsaka kalkutfällningar. Det infiltrationsförsök som gjordes i förprojekteringen visar att några direkta och snabba utfällningar eller annan form av igensättning inte äger rum då vattnet hanteras syrefritt och under tryck. Detta är dock ingen garanti mot mera långsiktiga igensättningsfenomen. Endast en längre tids drift i full skala kan utvisa om så blir fallet. För säker-

hets skull bör därför anläggningen projekteras och byggas så att åtgärder mot igensättningar lätt kan utföras.

3 EXPERIMENT MED INREGLERING AV DISTRIBUTIONSSYSTEMET

3.1 Bakgrund och syfte

De undersökningar som gjordes i samband med förstudien (Conny Englund) visade att man ligger med en onödigt hög framledningstemperatur i nuläget. Orsaken är att flödena till de enskilda husen är ojämnt reglerade. Det "kallaste" huset blir därför dimensionerande. Till problemet hör också att det i några fastigheter har monterats mindre lämpliga radiatorventiler. Radiatorsystemen är av speciell enrörstyp och en alltför snäv ventil kan innebära att framledningstemperaturen måste hållas högre för att få en viss temperatur på radiatorerna.

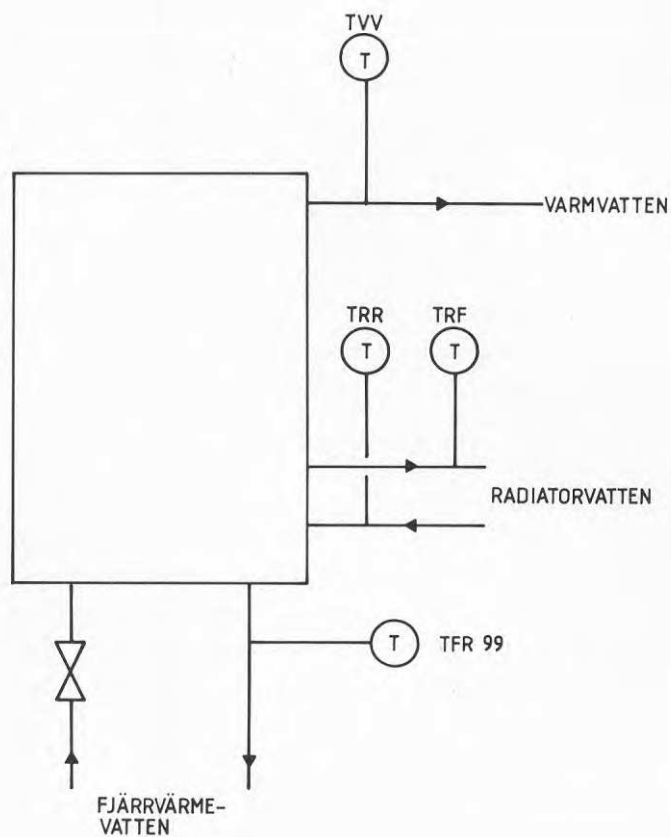
För att utröna om det går att sänka nuvarande temperaturer till en nivå där en god värmepumpsdrift blir möjlig gjordes därför i förprojekteringen nya mätningar. Dessa utfördes av SYDKRAFT. Nedanstående är en sammanfattning av en rapport över mätningarna, skriven av civ ing Ingvar Malmström.

3.2 Mätningsresultat

För mätningarna valdes en husrad med fem hus (hus 99-103). En termostatstyrd motorshuntventil installerades för blandning av fjärrvärmevattnet från värmecentral med returvatten från husradan. Dessutom installerades en pump för att garantera flödet.

Vid shuntcentralen registrerades utomhustemperatur, framlednings- och returledningstemperatur dessutom tryckdifferensen mellan fram- och returledning.

Vid abonnentcentralen i hus 99 mättes varmvattentemperaturen, fjärrvärmemetemperatur på returledning och radiatorvatten fram och retur. Mätpunkternas placering framgår av figur 18.



Figur 18

Mätpunkter vid ett av husens abonnentcentral. Tvv = tappvarmvatten, Trr = radiator, retur, Trf = radiator fram, Tfr = fjärrvärme retur

När mätningarna började ställdes hus 100-103 in på ett flöde av ca 7 l/min, hus 99 på ca 4 l/min. Därefter shuntades framledningsvattnet neråt till man nådde en nedersta temperaturgräns vid 0°C. Vid detta läge tappades varmvatten med en temperatur av 35°C från hus 99 och vattenmängden uppmättes. Efter ett dygn ökades flödet till ca 7,5 l/min och en ny vattentappning utfördes.

Mätningarna visar att temperaturen gick att sänka till 61°C på framledning vid 0°C ute. Vid lägre temperatur blev det kallt i hus 99 och 103.

Hus 99 var inställt på ett lågt flöde medvetet från början. I hus 103 upptäcktes vissa brister i radiatorsystemet, dessutom är det ett ytterhus. Med ett flöde av ca 8 l/min på hus 99-102 och 9,5 l/min på 103 (kompensation för ytterhus) skall det gå att sänka framledningstemperaturen under 60°C.

Den uppmätta vattenmängden var vid varmvattentappningen ca 200 l 35°C-igt vatten vid båda mätningarna. Återladdningstiden för varmvattenberedare har antagits vara den tid det tar för att radiatorvattnet/fjärrvärmevattnet från abonnentcentralen skulle återgå till ursprungstemperaturen. Vid tappning 1 (flöde 4 l/min) var återladdningstiden 2,5 h och vid tappning 2 (flöde 7,5 l/min) var tiden <2 h.

Det är slutligen av vikt att göra en översyn av termostatventilerna i radiatorkretsen i samband med en inreglering.

4 VÄRMEPUMPEN I SYSTEMET

För att se hur värmepumpen lämpligast placeras in i befintligt värmesystem har en genomgång av befintlig panncentral och dess maskinella komponenter utförts av STAL REFRIGERATION och senare av SYDKRAFT.

Nedanstående är en sammanfattning av förprojekteringen som skrivits i koncept av civ ing Anders Palm, STAL REFRIGERATION.

4.1 Allmänna förutsättningar

För att värmepumpen på bästa sätt skall kunna anpassas till det befintliga systemet fordras att vissa förutsättningar är uppfyllda. Dessa kan i korthet sammanfattas som följer:

- Grundvatten måste säkerställas vad avser tillgång och kvalitet.
- Möjlighet måste finnas att på ett ur alla synpunkter acceptabelt sätt göra sig av med det nedkylda grundvattnet.
- Befintligt värmesystem måste kontrolleras, inregleras och plomberas så att lägsta möjliga framledningstemperatur kan utnyttjas utan olägenhet i de olika fastigheterna.
- Värmepumpens inkoppling och samkörning med befintliga pannrustningar måste ordnas på ett invändningsfritt sätt för att optimalt utnyttja värmepumpen.
- Utöver ovanstående finns också ett antal andra parametrar vi måste uppfylla för bästa funktion.

Som framgått tidigare har redan flera av ovannämnda parametrar undersökts. Vissa har detaljutretts och redovisas nedan.

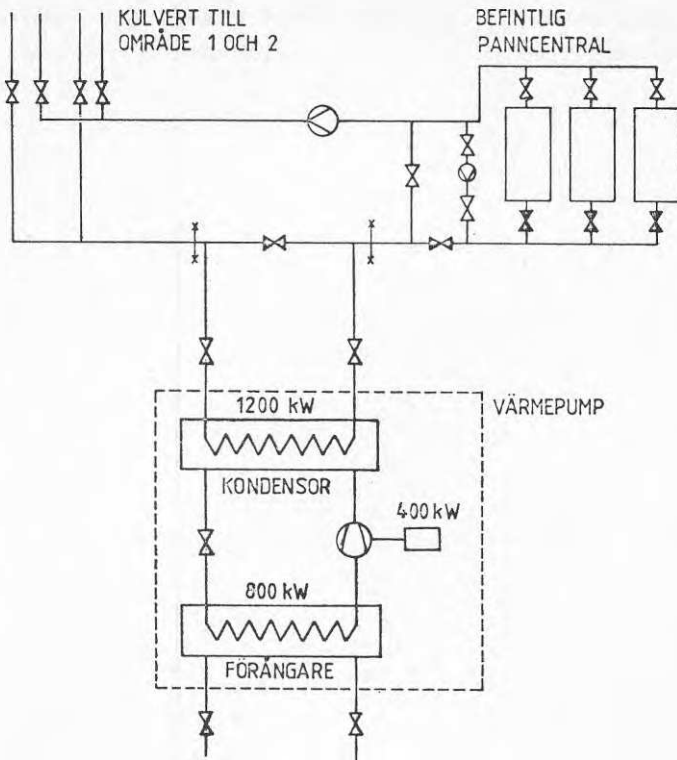
4.2 Befintlig panncentral

Dagens panncentral består av ett antal tjockoljeeldade pannor av Osby fabrikat. Varje panna är försedd med individuell panntermostatreglering och

individuellt rökasspjäll. Vidare finns gemensam shuntgrupp som shuntar fram lämplig framledningstemperatur baserad på utomhustemperatur. Pannorna köres idag manuellt med turordningsväljare.

4.3 Inkoppling av värmepump

Värmepumpen inkopplas i stort enligt figur 19. Värmepumpen skall därvid förvärma returvattnet, om möjligt upp till önskad framledningstemperatur. Befintlig shuntgrupp styres över ny reglercentral som samkör värmepump och shuntgrupp så att de tillsammans med pannorna uppnår önskad framledningstemperatur. Pannorna inkopplas manuellt. Den/de pannor som inte är i drift föreslås avstängas helt medelst avstängningsventiler och sotas så att pannkorrosionen blir minimal. Den/de pannor som skall vara i drift varmhålles med hjälp av olja vid normal panntemperatur.



Figur 19 Värmepumpen i systemet (efter SYDKRAFT, AI 4.1079)

4.4 Reglersekvens

Värmepumpens inbyggda reglercentral får signal av huvudreglercentralen att leverera en framledningstemperatur som motsvaras av den inställda regleringskurvan för gällande utomhustemperatur. Så länge värmepumpens effekt är tillräcklig för att ensam förse systemet med erforderlig framledningstemperatur hålles shuntgruppen stängd mot pannorna så att inget varmt pannvatten släpps ut i fjärrvärmekretsen.

Shuntgruppen får tillstånd att släppa fram pannvat-
ten först sedan värmepumpen under viss tid indikerat
full effekt utan att önskad framledningstemperatur
kunnat produceras. När shuntgruppen öppnar släpps
vatten in i den/de pannor som står startberedda.
Därvid sjunker panntemperaturen och oljebrännaren
går igång. Shuntventilgruppen reglerar sedan flödet
genom pannan så att rätt framledningstemperatur
erhålles. Nedregleringssekvensen är omvänd till
ovanstående. Pumpar, rörledningar och ventiler
anpassas för att ge optimal verkningsgrad.

4.5 Övriga synpunkter

För att undvika en besvärlig och kostsam installa-
tion bör värmepumpen placeras i en tillbyggnad till
befintlig panncentral.

Det bör slutligen övervägas att, med hänsyn till
rådande vattenkemi, installera en mellanliggande
värmväxlare mellan grundvattnet och värmepumpens
förångare. Detta skulle säkerställa att förångaren
inte korroderas eller får utfällningar av bl a kalk
och järn.

5 FÖRNYAD EKONOMISK KALKYL

5.1 Allmänt om upphandlingssituationen

Vi har i förstudien tidigare berört svårigheterna
att handla upp det föreslagna värmepumpsystemet på
ett sådant sätt att de tekniska riskerna elimineras
för beställaren och så att framtida driftskostnader
kan beräknas med någorlunda precision.

Med utgångspunkt från den första offert vi fick in
har vi i samarbete med leverantörer diskuterat hur
"sättet att sälja" skall kunna utvecklas mot bättre
överensstämmelse med kundens behov och önskemål. Vi
skall i detta avsnitt sammanfatta några synpunkter

på upphandlingsformer för situationen då man vill installera en värmepumpsanläggning i en mindre eller medelstor panncentral.

I en standardoffert på värmepumpsanläggning garanteras vanligen värmepumpens prestanda genom en garanti på effekt och värmefaktor i en viss driftspunkt, t ex vid full effekt och vissa temperaturer på köld- och värmebärare. Vidare finns angivet hur prov skall göras (t ex genom utomstående företag) för att utröna om garantin uppnåtts eller ej. Värmefaktorn definieras vanligen utifrån motorns axeleffekt.

Denna typ av garanti är ej tillfredsställande för kunden av flera skäl. Dels är garantibestämmelserna både tekniskt och juridiskt tämligen komplicerade och därmed svåra att hantera för en kund som saknar egen expertis inom dessa områden. Dels, och kanske viktigast, ger genna typ av garanti ingen garanti för värmepumpsanläggningens lönsamhet. Ur kundens synpunkt bör garantibestämmelserna utformas så att de är lätta att kontrollera och så att de inriktas mot de driftsprestanda kunden behöver för sin lönsamhetskalkyl.

Som framgår av kalkylen baseras lönsamhetsbedömningen på årsmedelfaktor, tillgänglighet, värmepumpens andel av den totala energiförbrukningen samt underhållskostnader. Årsmedelfaktor kan enklast beräknas som från värmepumpen levererad värme under ett år i förhållande till en total energiförbrukning inklusive hjälpsystem som grundvattenpumpar och dylikt.

En garanti på värmepumpens tillgänglighet torde förutsätta att leverantören också har ett servicekontrakt men kan ändå bli komplicerad på grund av att regler erfordras för hur snabbt olika typer av fel skall inrapporteras till leverantören m m.

Värmepumpens andel av den totala energiförbrukningen är kanske den punkt i kundens kalkyl som är svårast för leverantören att garantera. En sådan garanti förutsätter att leverantören har möjlighet att väl sätta sig in i det system där värmepumpen skall ingå - energibehov vid olika tidpunkter, erforderliga temperaturnivåer o s v.

Om leverantören garanterar effekt, årsmedelfaktor och tillgänglighet samt lämnar ett heltäckande serviceavtal till fast pris, kan kunden beräkna den besparing värmepumpsanläggningen ger i förhållande till det tidigare systemet, t ex oljeeldning. Eftersom man saknar uppgift om värmepumpens andel av den totala energiförbrukningen, kan emellertid kostnaden för spetsvärme från oljepannor och dylikt ej beräknas och därmed ej heller totalsystemets driftskostnader.

Om värmepumpsleverantören däremot är beredd att garantera värmepumpens andel av årsenergin, bortfaller behovet av tillgänglighetsgaranti och förenklas hela garantiproblematiken. Utöver värmepumpens andel av energiförbrukningen, behöver kunden enbart kräva garanti för årsmedelfaktor. Uppföljningen av garantin förenklas också avsevärt om man gör upp om att kontrollen skall baseras på vanliga värmemängdsmätare vid värmepump och spetsvärmekälla. Värmepumpens energiförbrukning tas direkt från elmätare.

Om garanterade prestanda inte uppnås kommer kunden att drabbas av ökade kostnader för högre förbrukning av elenergi till värmepumpen och t ex olja för spetsvärme. En lämplig konsekvens i ett garantiavtal kan vara att leverantören får täcka dessa merkostnader för förbrukningen av primärenergi under t ex fem år.

Ett principiellt annorlunda sätt att eliminera osäkerheten för kunden är att låta leverantören själv uppföra, äga och driva värmepumpsanläggningen och istället träffa avtal om värmeleverans. I det här aktuella fallet skulle det kunna ske genom att leverantören tar över den befintliga värmecentralen, uppför värmepumpsanläggningen och säljer värme till kulvertnätets början.

Om värmecentralen drivs i form av en samfällighet och de enskilda fastighetsägarna således har rätt till skatteavdrag för sin del av samfällighetens räntekostnader, kan samfälligheten finansiera hela eller delar av investeringen i form av en anslutningsavgift. Därmed får en sådan lösning skattemässigt samma behandling som om samfälligheten äger anläggningen själv.

Ett avtal om värmeleverans kan också kompletteras med en återköpsklausul så att samfälligheten har rätt att köpa tillbaka anläggningen till ett i förväg fastställt pris, t ex oavskrivna restvärden på de delar av investeringen som ej betalats i form av anslutningsavgift.

Det centrala i ett avtal om värmeleverans är priset för levererad värme. Taxan kan bestå av en fast årlig avgift för driftspersonal, eventuella kapitalkostnader m m samt en rörlig energiavgift. Hela eller delar av den fasta avgiften kan indexregleras beroende på vad den avser att täcka. Vad gäller den rörliga energiavgiften kan flera konstruktioner tänkas, vilket motsvarar olika typer av prestandagaranti i köpalternativet. En garanti på värmepumpens andel av energiförbrukningen samt garanterad årsmedelfaktor motsvarar således en rörlig energiavgift som kopplas till el- och oljepris (E resp O) enligt i förväg fastställda proportioner, t ex $0,03 \frac{O}{O_0} + 0,08 \frac{E}{E_0}$ per kWh.

I de preliminära förhandlingar som i det här aktuella fallet förts med leverantörer har målsättningen varit att försöka få långsiktig garanti på värmepumpens andel av årsenergiförbrukningen och på årsmedelfaktorn. Det förefaller möjligt att i en slutförhandling åtminstone komma i närheten av denna målsättning under förutsättning att leverantören slipper garantera för värmekällan. Garantidiskussionerna har således förutsatt att åtminstone grundvattensystemet kan finansieras med ett EXOD-lån från BFR.

5.2 Reviderad ekonomisk kalkyl

Den kalkyl som gjordes våren 1981 och som redovisas i förstudien ovan har nu kunnat revideras med hänsyn till mera detaljerat underlag. Vi har valt att redovisa båda kalkylerna, eftersom de visar hur underlaget och därmed kalkylen kan förändras under en utrednings gång.

Den första kalkylen var baserad på en icke bindande budgetoffert från en värmepumpsleverantör. Under hösten 1982 har två företag inbjudits att ge offerter på en komplett installerad värmepumpsanläggning inklusive grundvattensystem och inreglering av kulvertnätet.

Förutom en försäljning av anläggningen har en leverantör även offererat värmeleverans genom att ta över den befintliga värmecentralen, uppföra värmepumpsanläggningen i egen regi samt sälja värme till kulvertnätets början.

Prisnivån är jämförbar i båda offerterna men väsentligt högre än den uppskattning som den preliminära kalkylen utgick ifrån. Den beräknade investeringskostnaden har sedan den första kalkylen gjordes ökat med omkring 70%, främst beroende på att grundvattensystemet blivit väsentligt dyrare än tidigare

beräknats men också på grund av att inkomna offerter förutsätter en tillbyggnad av den befintliga panncentralen. En sådan bedömdes ej tidigare nödvändig. I de angivna konstnaderna ingår dock mervärdesskatt som i genomsnitt beräknats till 8,5%. Det är för närvarande oklart om det finns möjligheter för en värmecentral att göra avdrag för mervärdesskatten.

Liksom tidigare jämföres värmepumpen med alternativet nedläggning av den gemensamma anläggningen och övergång till individuell elvärme. Kalkylen har gjorts enligt samma metod som den tidigare med ett undantag. Behandlingen av kostnader för utbyte av undercentraler/värmeväxlare i de enskilda fastigheterna har förändrats. Kontakter med leverantörer har givit vid handen att det vore möjligt att låta tillverka för området passande undercentraler till ett väsentligt lägre pris än vad som tidigare varit känt. Vi har därför för värmepumpsalternativet antagit att hälften av undercentralerna behöver bytas ut under en 15-årsperiod och i årskostnaden för varje fastighet inkluderat en genomsnittlig kostnad för detta.

Vad gäller driftsdata för värmepumpen finns nu ett bättre underlag än tidigare, varför endast ett alternativ beräknats. Även för alternativet individuell elvärme har kompletterande undersökningar av kostnaderna genomförts.

5.2.1 Beräkningsunderlag Allmänna förutsättningar

Energiförbrukning/fastighet:	22000 kWh/år
Ekonomisk livslängd:	15 år för båda alternativen

Inflation:	7% per år
Energipriser:	Priset på el och olja beräknas öka i samma takt. Beräkningar har gjorts för 4% real energiprisökning.
Finansiering:	Annuitetslån 12% 15 år. Från statliga bidrag och skatteeffekter bortses.
Eltaxa:	Beräkningarna har baserats på Sydkrafts taxa.
Kostnader för befintlig anläggning vid fortsatt drift respektive nedläggning:	1 000 kr/fastighet (Se förstudiekalkylen)

Förutsättningar - värmepump

Kostnader för värmepumpsinstallation enligt offerter 3 635 KKR enligt nedan:

Värmepumpsanläggning inkl värmekälla, tillbyggnad av panncentral, inregleringar av distributionssystem samt elinstallation enligt offert uppdaterad till sept 1982.	2 900
Kompletterande kulvertarbeten	250
Oförutsett	200
Beräknad mervärdesskatt (8,5% i genomsnitt)	<u>285</u>
	3 635

Per fastighet $3\,635\,000/212 = 17\,000$ + lån på befintlig anläggning 1 000 per fastighet ger 18 000 per fastighet.

I kalkylen bortses från att det under 15-årsperioder sannolikt erfordras ytterligare investeringar i kulvertnätet och eventuellt även ny panna för spetsvärme.

Driftsdata: Värmepumpens andel av energiförbrukningen	85%
Årsmedelfaktor	2,5
Kulvertförluster	15%
Underhåll av värmepumpanläggning	60 000
Övriga driftskostnader exkl el och olja	150 000

Den del av energibehovet som ej täcks av värmepumpen tas från olja E03 ($10\,700\text{ kWh/m}^3$), pris $1\,800\text{ kr/m}^3$, pannverkningsgrad 75%.

Från driftsdata ovan erhålles följande driftskostnader per fastighet och år:

Energikostnad: El (inkl abonnemangsavgift	
0.22 kr/kWh) $8\,800 \times 0.22 =$	1 936
Olja $0.5 \times 1\,800$	900
Underhåll och övriga driftskostnader:	
Underhåll vp	280
Övriga driftskostnader	710
Andel av kostnad för utbyte av värmeväxlare:	
7 st $\dot{\text{a}} 8\,000/212 =$	265

Förutsättningar - elvärme

Grundinvestering/fastighet: Nedläggning av FVC	1 000
Elpanna inkl demontering av värme- växlare, elinstallation, anslutnings- avgift och mervärdesskatt	<u>15 000</u>
	16 000

Energikostnad:

Ökning av abonnemangsavgift 1 300-500 =	800
Elförbrukning 22 000 x 0,21	4 620
Besparing hushållsström 5 000 x 0,04	<u>- 200</u>
	5 220

Underhåll och övriga driftskostnader:

Antas försumbara.

5.2.2 Beräkning av årskostnader

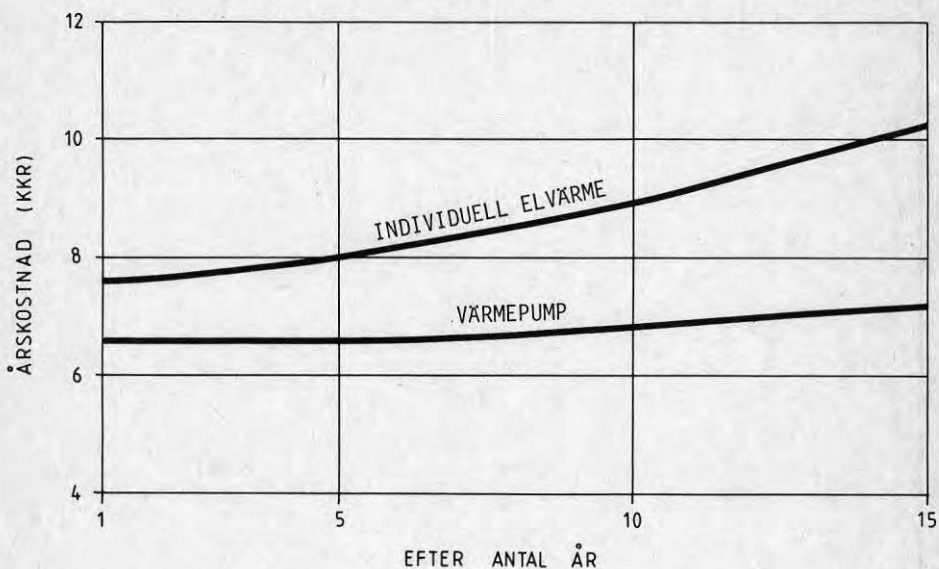
Beräkningen av årskostnader per fastighet för alternativen sammanfattas i tabell 5 och figur 20 nedan.

Alternativ/ Kostnadspost	Kostnad (kr)			
	År 1	År 5	År 10	År 15
1 VÄRMEPUMP				
Kapitalkostnad				
$\frac{2643^{1)}}{1.07^n}$	2470	1884	1344	958
Energikostnad				
$1.04^n \cdot 2836$	2949	3450	4198	5107
Underhåll	280	280	280	280
Övr driftskostn	710	710	710	710
Kostn värme- växlarbyte	265	265	265	265
Årskostn fast pv	6674	6589	6797	7320
2 INDIVIDUELL ELVÄRME				
Kapitalkostnad				
$\frac{2349^{2)}}{1.07^n}$	2195	1675	1194	851
Energikostnad				
$1.04^n \cdot 5220$	5429	6351	7727	9401
Årskostn fast pv	7624	8026	8921	10252

Tabell 5 Beräkning av årskostnader per fastighet
(4% realenergiprisökning och 7% inflation)

1) $0.14682 \cdot 18.000$

2) $0.14682 \cdot 16.000$

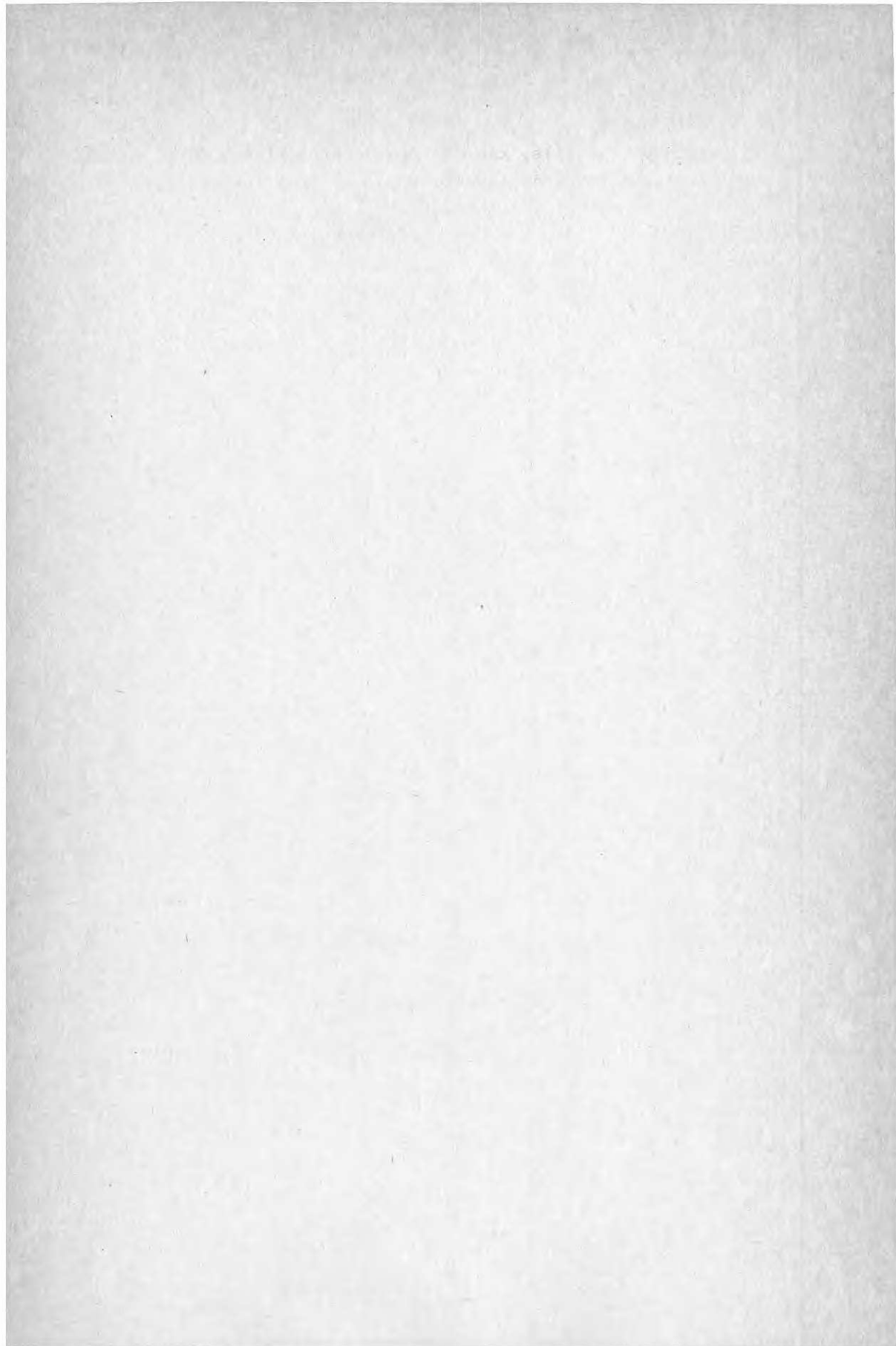


Figur 20 Årskostnader i fast penningvärde per fastighet vid 4% real energiprisökning och 7% inflation

5.3 Kommentar till kalkylen Som framgår av tabell och figur ovan förefaller värmepumpanläggning under givna förutsättningar ge lägre årskostnader än individuell elvärme. Ju större real energiprisökning som antas, desto större blir kostnadsdifferensen till värmepumpens fördel, sett över en längre period.

En del av värmepumpens försprång kommer dock sannolikt att ätas upp av tillkommande investeringar i kulvertnät och befintlig panncentral längre fram under perioden.

Om man antar en låg real energiprisökning eller ingen ökning alls, kan med hänsyn till risken för dessa tillkommande investeringar alternativen antagligen betraktas som jämbördiga ur kostnadssynpunkt. I sådant fall kan icke kvantifierbara faktorer som den gemensamma anläggningens större flexibilitet vid val av framtida uppvärmingsformer, värmepumpens relativa okänslighet för chockhöjningar av energipriserna gentemot elvärmens enkelhet och driftsäkerhet få avgörande betydelse.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
800977-2 från Statens råd för byggnadsforskning till
Flädie Värmecentral AB.**

R20:1983

ISBN 91-540-3888-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700720

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

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

Cirkapris: 30 kr exkl moms