



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

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



Rapport

R94:1983

**Kollektorbrunn i finsediment
som värmelager för
flerbostadshus i Karlstad**

Förstudie

**Torgny Agerstrand
Jan Nilsen**

K
AM

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac Ser

Byggforskningsrådet

R94:1983

KOLLEKTORBRUNN I FINSEDIMENT SOM VÄRMELAGER
FÖR FLERBOSTADSHUS I KARLSTAD

Förstudie

Torgny Agerstrand
Jan Nilsen

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820206-6
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,
Vällingby.

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

R94:1983

ISBN 91-540-3973-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

FÖRORD

Denna förstudie har syftat till att belysa teknik och ekonomi vid utnyttjande av mäktiga lerlager för värmeutvinning och värmelagring i befintlig bebyggelse. Förutsättningar för detta är vattenburen värme och värmepumpsteknik.

Förstudien visar entydigt att anordningar för utvinning och lagring av värme måste vara storskaliga för att lönsamhet skall uppnås. Vidare krävs en närbelägen, billig värmekälla av sådan storlek att den kan användas för laddning av värmelagret. Värmekällan kan t ex vara sommarvarmt ytvatten, men sannolikt inte solvärme på grund av de höga kostnaderna för solfångare även i enkla former för lågtemperatur.

Om kraven på storskalighet kan uppfyllas, torde kollektorbrunnssystemet i lerlager vara mest angeläget att utveckla. Genom rationella metoder och val av lämpliga material bör kostnaderna för detta system väsentligt kunna minskas.

Förstudien har genomförts av Jan Nilsen, VIAK AB, Karlstad med biträde av Lars O Ericsson och Staffan Öst, VIAK AB, Stockholm, geohydrologi och termohydraulik respektive värmeteknik. Göran Hellström, institutionen för matematisk fysik, Lunds Tekniska Högskola har utfört de teoretiska beräkningarna för värmeuttag och värmelagring i lerlagren.

Torgny Agerstrand
Projektledare

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	7
1. INLEDNING	9
2. KOLLEKTORBRUNN	11
2.1 Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer	11
2.2 Kollektorbrunn typ pyramid	12
3. MÖJLIGHETER TILL ENERGILAGRING FÖR FASTIGHETEN AFFÄRSMANNEN 4 I KARLSTAD	13
3.1 Geohydrologiska förhållanden i Karlstad ..	13
3.1.1 Undersökningsborrning	13
3.1.2 Hydraulisk konduktivitet, hydraulisk gradient	14
3.1.3 Temperaturer i grundvattenmagasinet	17
3.2 Inventering av befintligt värmesystem ...	18
3.3 Alternativt värmesystem	19
3.3.1 Värmepumpsystem, allmänt	19
3.3.2 Värmepumpsystem enligt principen för en förångningsprocess	19
3.3.3 Ekonomisk storlek på värmepump	20
3.3.4 Kriterier för lönsamhet för värmepump ...	21
3.3.5 Principlösning	21
3.3.6 Dimensionering av värmepump	23
3.3.7 Solfångarsystem	24
3.4 Alternativa system för energilagring	25
3.4.1 Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer	25
3.4.2 Kollektorbrunn typ pyramid	25
4. TEORETISKA BERÄKNINGAR, VÄRMELAGRING - VÄRMEUTTAG	27
4.1 Inledning	27
4.2 Grunddata	27
4.2.1 Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer (Fall 1)	27
4.2.2 Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer (Fall 2)	28
4.2.3 Kollektorbrunn typ pyramid (Fall 3)	28

4.3	Laddningstrategi	29
4.4	Resultat från beräkning	29
4.5	Sammanfattning	30
5.	KOSTNADSKALKYL	31
5.1	Investeringar	31
5.2	Kapitalkostnader	32
5.3	Underhållskostnader	32
5.4	Driftkostnader	33
5.5	Sammanställning av årliga kostnader	34
6.	LITTERATURREFERENSER	35

Tillförsel av energi till kollektorbrunnen (återladdning) beräknas ske under 5 månader sommartid. Denna värmeenergi erhålls från lågtemperatursolfångare. Solfångarna levererar dessutom erforderlig energi för tappvarmvatten och viss uppvärmning under samma tidsperiod. Uttag ur lagret sker under 5 månader vintertid. Under 1 månad på våren och en på hösten levererar solfångarna erforderlig energi för uppvärmning och tappvarmvatten. Lagret nyttjas under denna tid enbart för utjämning.

Solfångarytan uppgår till 1 600 m². Total angiven energimängd från solfångarna uppgår till 1 150 MWh, vilket motsvarar ca 700 kWh/m² och år. Kostnaderna för solfångare inklusive installation bedöms uppgå till 1,2 Milj.kr.

Effektbehovet i fastigheten bedöms vara ca 540 kW, energibehovet 1 180 MWh. Värmepumpen dimensioneras för att täcka baseffekten (25 % av effektbehovet), vilket motsvarar 135 kW. Energimässigt täcks 70 % av behovet. Värmepumpen inklusive installation bedöms kosta 475 000:-.

Totalt uppgår investeringskostnaderna till ca 2,1 Milj.kr om kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer ingår i systemet eller ca 1,9 Milj.kr om kollektorbrunn typ pyramid ingår.

Teoretiska beräkningar har utförts på värmelagring värmeuttag ur kollektorbrunnarna med beräkningsmodellen "LUND-DST" (Hellström 1981, Hellström 1982). Efter 5 årscykler återfås ca 65 % av inlagrad energi. Lagren förmår dock inte att leverera erforderlig effekt (90 kW) under hela uttagsperioden på 5 månader. Beräkningen kompletterades därför med en beräkning av en schaktbrunn med horisontella kollektorer där antalet våningar utökades från 7 till 10, varvid full effekttäckning erhöles. Kostnadsökningen som följd av denna utökning uppgår till ca 20 %.

Beräkningsmodellen är inte anpassad för beräkning av system med radiella kollektorrör eftersom man då erhåller en starkt varierande rörtäthet. Det har därför gjorts vissa förenklingar med "omräkning" från radiellt till parallellt system. Detta antagande kan göra beräkningen något optimistisk.

Årskostnaderna (kapitalkostnad, drift och underhåll) för värmepump, solfångare och kollektorbrunn typ schaktbrunn har beräknats till 420 000:- med 6 % realränta. Årskostnaden för systemet vid en erforderlig utökning av lagervolymer med 40 - 50 % uppgår till 426 000:-. Om kollektorbrunnen är av typ pyramid blir årskostnaderna 403 000:- respektive 407 000:- med utökad lagervolym. Årskostnaderna för enbart oljeeldning uppgår till 377 000:-. Detta innebär att med gjorda förutsättningar och antaganden är systemet med kollektorbrunn i finsediment, värmepump och solfångare ej lönsamt.

Om vidare studier skall utföras på systemet, måste främst kostnaderna för värmekällan minskas. Solfångarsystemets årskostnad uppgår till 25 - 30 % av totala årskostnaden. Andra faktorer som kan inverka positivt för systemets lönsamhet är bland annat stigande oljekostnader och större sedimentmäktighet. Om fastigheten Affärsmanen 4 med sin begränsade tillgång på fri markyta hade varit belägen intill Klarälven torde ett system med kollektorbrunn i finsediment, värmepump och värmekälla i form av sommarvarmt ytvatten varit intressant för en projektering. Detta innebär att gemensam framledning av älvvatten till ett antal närliggande fastigheter även bör vara av intresse för närmare studier.

1. INLEDNING

Mäktiga finsediment är av stort intresse för säsongslagring av värmeenergi för lågtemperatursystem. Ler- och siltjordar har en hög vattenhållande förmåga och från lagringssynpunkt goda termiska egenskaper. Värmekapaciteten är t ex större än för kristallin berggrund. På grund av att lera är en kohesionär jordart kan den inte utsättas för höga temperaturer eller frysning utan att hållfasthetsegenskaperna förändras och deformationer uppstår. Som värmelager för hus- och lokaluppvärmning passar lera därför för värmepumps- eller extrema lågtemperatursystem. Studier av förutsättningarna för värmelager i lera har utförts Modin (1979), Modin (1980) och en pilotanläggning för lagring av solvärme i lera har byggts, Hultmark (1980).

Den teknik som hittills tillämpats för att skapa värmelager i lera har baserats på vertikala "kanaler" eller rörslingor som pressats eller borrats ner från markytan och som sammankopplats till ett cirkulationssystem med vatten eller annan vätska som värmebärare. För att uppnå den värmekapacitet som erfordras för ett visst värmebehov måste tillräcklig kontaktyta finnas mellan rören och leran. Förhållandet mellan värmebehov, den tillgängliga lermäktigheten och lerans värmekonduktivitet ger ett mått på det markområde som krävs för en önskad lagervolym. Är värmebehovet stort krävs således ett stort område vid utförande av vertikala "kanaler" och rörslingor.

Generellt sett har finsedimenten sin största dimension i horisontellt led. Det är även vanligt att de överlagras av andra jordlager, t ex sand och organogena jordarter, eller ligger under vatten i våtmarker, grunda sjöar och havsvikar. Vidare kan förhållandevis mäktiga finsedimentlager förekomma som skikt i t ex sandiga sediment. Detta talar för att horisontella kollektorer för utvinning av värme ur finsediment ökar tillämpningsmöjligheterna för denna typ av värmesystem. Detta gäller särskilt befintlig bebyggelse, där stora markytor för utförande av värmelager inte står till förfogande.

I förliggande förstudie utreds möjligheten att nå en stor lagervolym i finsediment från en begränsad markyta. Detta kan ske genom att använda en s k kollektorbrunn. De typer av kollektorbrunnar som studeras är, dels en typ med en djup schaktbrunn varifrån horisontella kollektorer pressas ut i ett antal våningar samt dels en typ med en grund schaktbrunn varifrån kollektorer pressas ut från bottenytan i pyramidform.

2. KOLLEKTORBRUNN

Grundtanken bakom kollektorbrunnen är att nå en stor volym finsediment under befintlig bebyggelse utan att ta i anspråk en stor areal vid markytan.

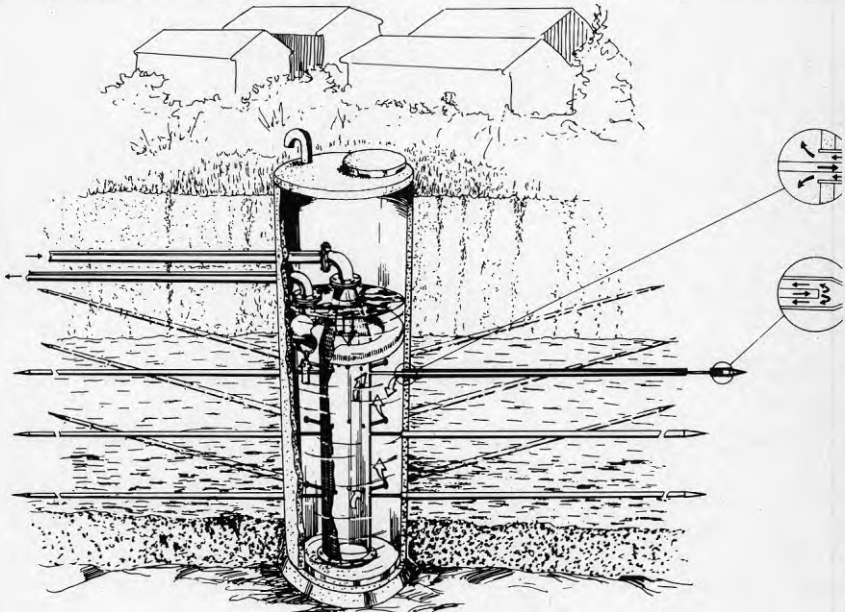
I denna förstudie har studerats två olika typer av kollektorbrunnar. Dels en brunn utformad med ett djupt centralschakt varifrån rör pressas ut horisontellt, dels en grundschakt varifrån rör har pressats ut genom brunnens botten ner i marken i en pyramidform.

2.1 Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer

Kollektorbrunnen typ schaktbrunn med horisontella kollektorer ger möjlighet att på stora djup under markytan utföra horisontella rörsystem i finsediment för värmeutvinning och -lagring. Brunnens utformning bygger på känd teknik som tillämpas för utvinning av grundvatten.

Ett centralschakt av betong, ϕ 3 m sänks till önskat djup genom invändig urschaktning av jordmassor och med hela tiden vattenfyllt schakt för att motverka "kalvning". Då fullt djup uppnåtts förses schaktet med en så stor bottengjutning att det kan tömmas på vattnet utan risk för upptryckning. Härefter pressas med domkraft skravbara strängar av stålror radiellt ut genom på förhand upptagna hål i schaktväggen. Lägena för dessa hål har tidigare bestämts genom borrhingsundersökningar i det område brunnen placeras. Under sänkningen har hålen varit försedda med tätningar.

Rörsträngar eller kollektorer kan anordnas i flera etager beroende på lerskiktets mäktighet och den lervolym som erfordras för aktuell värmeutvinning. Varje rörsträng är försedd med ett inre rör anslutet till ett cirkulationssystem för den värmebärande vätskan enligt principskissen.

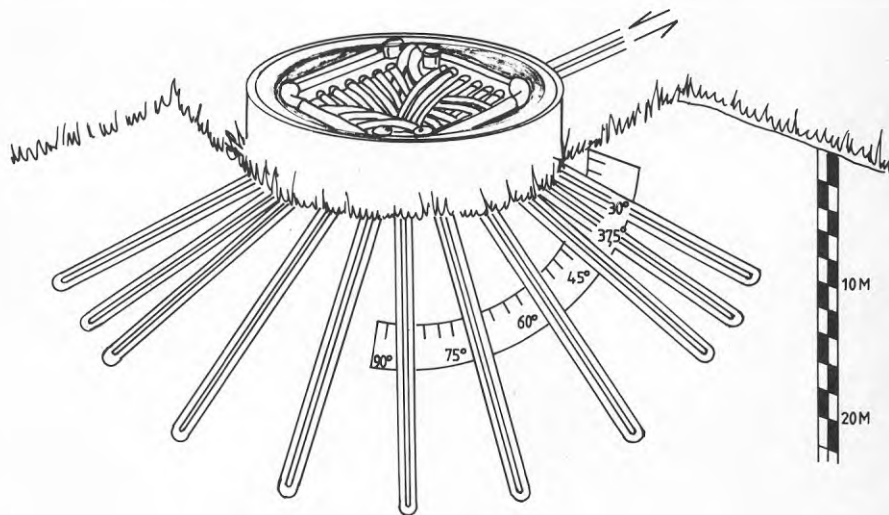


Figur 2.1 Principskiss över kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer för utvinning av värme i finsediment

2.2 Kollektorbrunn typ pyramid

Kollektorbrunn typ pyramid ger möjlighet att från en begränsad markyta nå en stor volym. Brunnens utformning bygger i princip på känd teknik som tidigare använts i värmelager med vertikala rörsystem. Hultmark (1980).

Ett 1 m djupt, ϕ 6 m schakt utgör toppen av pyramiden. Genom botten pressas u-rör i pyramidform. Utöver ett u-rör vertikalt i mitten pressas 8 st u-rör ner med 75° vinkel från horisontalen, 4 x 16 st rör med 60° , 45° , $37,5$ respektive 30° vinkel från horisontalen. Kollektorrören pressas till stopp mot berg. Se principskiss figur 2.2.

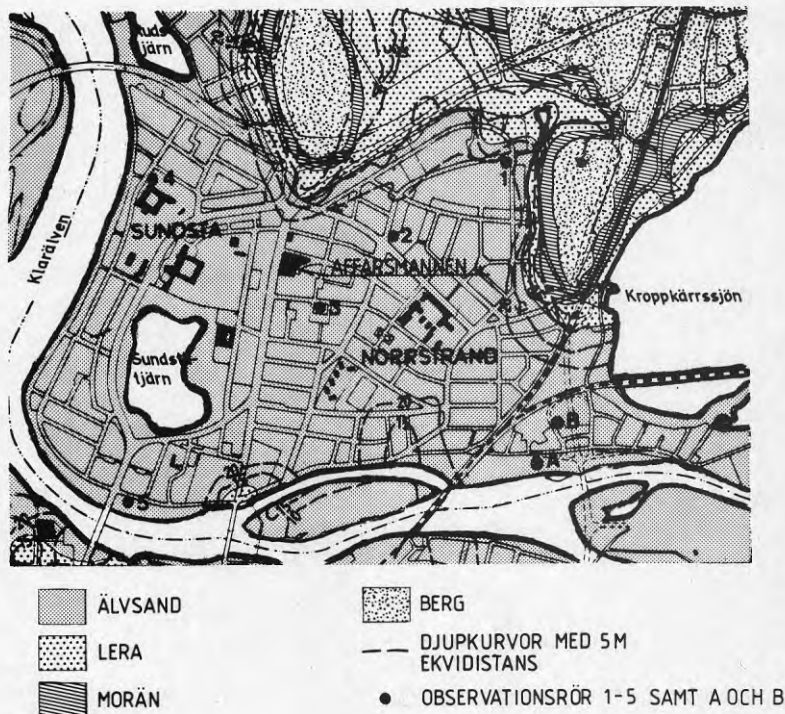


Figur 2.2 Principskiss över kollektorbrunn typ pyramid för utvinning av värme i finsediment

3. MÖJLIGHETER TILL ENERGILAGRING FÖR FASTIGHETEN AFFÄRSMANNEN 4 I KARLSTAD

3.1 Geohydrologiska förhållanden i Karlstad

Karlstads centrala del vilar huvudsakligen på Klarälvens deltasediment av sand och silt. Dessa underlagras av lera, som avlagrats på friktionsmaterial, huvudsakligen morän. I översiktlig form visas de geologiska förhållandena i Karlstad i nedanstående figur 3.1.



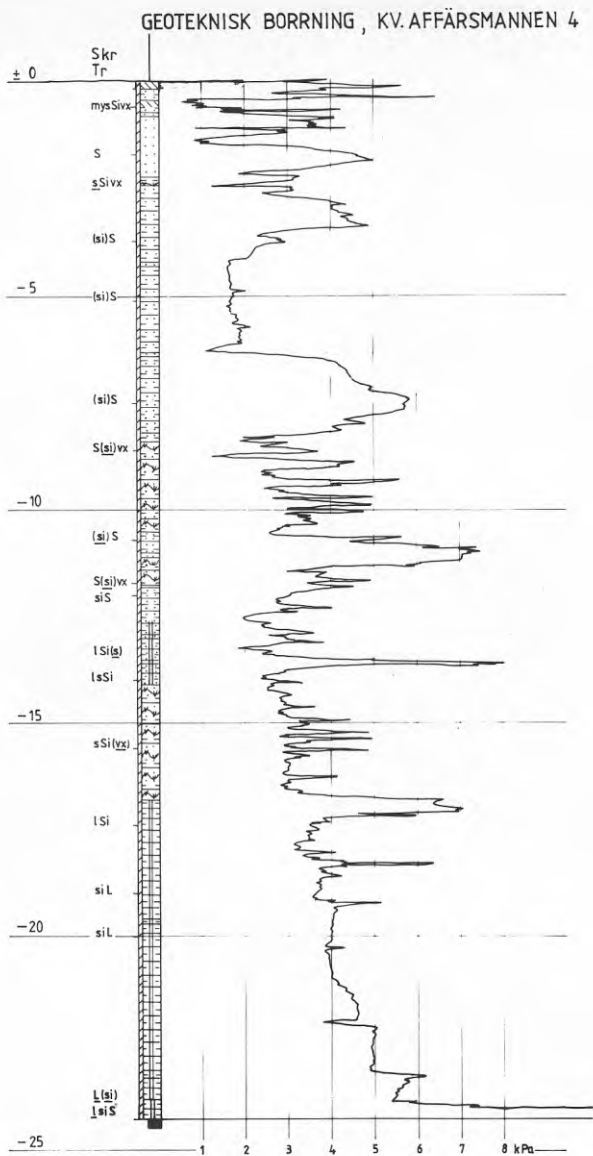
Figur 3.1 Geologisk översiktsskarta över Sundsta-Norrstrand

Älv- och finsedimenten har mycket varierande mäktighet på grund av att deras underlag av morän och berg har en orolig relief. Mot i dagen förekommande morän tunnar lagren ut, medan de i sänkorerna kan ha mycket stor mäktighet. Inom stadsdelarna Sundsta och Norrstrand är djupet till berg bestämt genom ett stort antal geotekniska undersökningar. Djupet är till största delen över 20 m, se översiktsskarta.

3.1.1 Undersökningsborrning

Vid fastigheten Affärsmannen 4 har geotekniska undersökningsborrningar utförts. De bestod dels av en trycksondering, dels av en skruvborrning med provtagning.

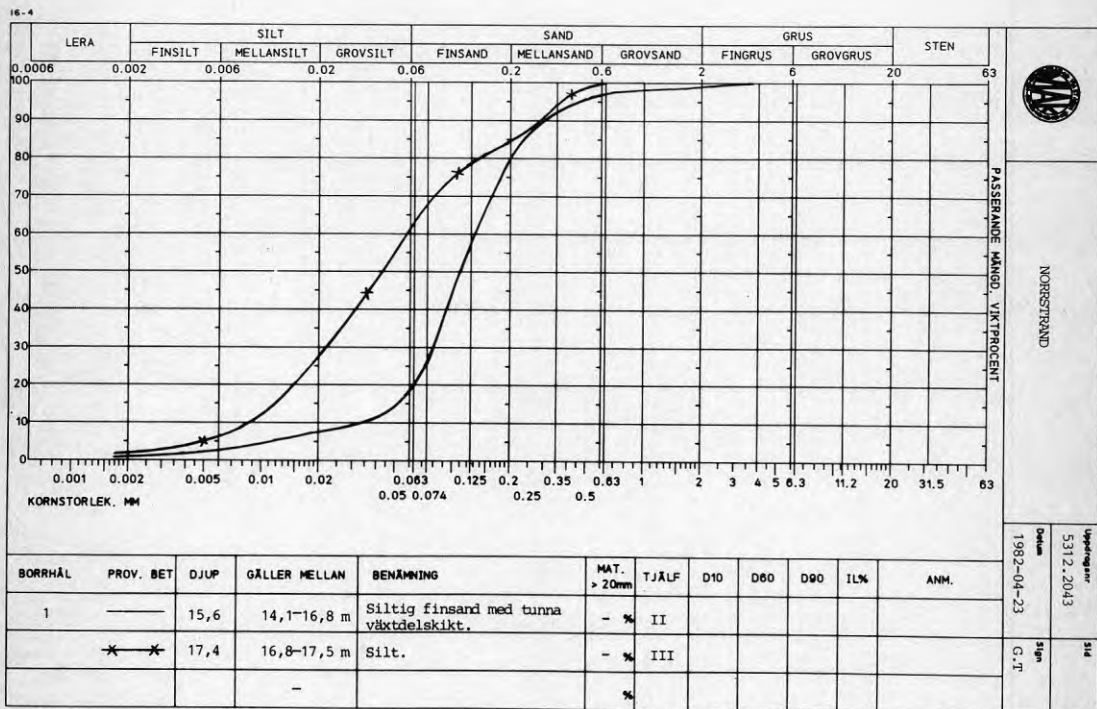
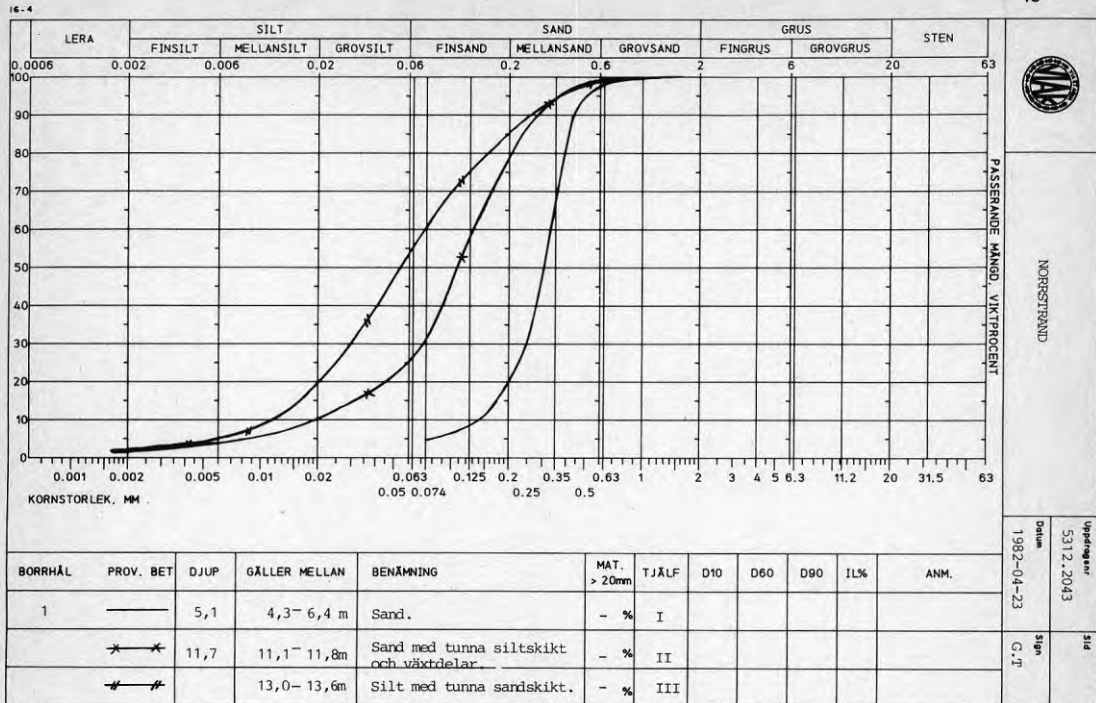
Djupet till berg var 24,2 m. Marken består från 0 till ca 13 m i huvudsak av siltig sand - sandig silt. Under 13 m förekommer i huvudsak lerig silt - siltig lera. Grundvattennivån i sanden - silten, dvs älvsedimenten låg vid undersökningstillfället ca 2,6 m u my. Se figur 3.2.



Figur 3.2 Geoteknisk borrning vid fastigheten Affärsmannen 4

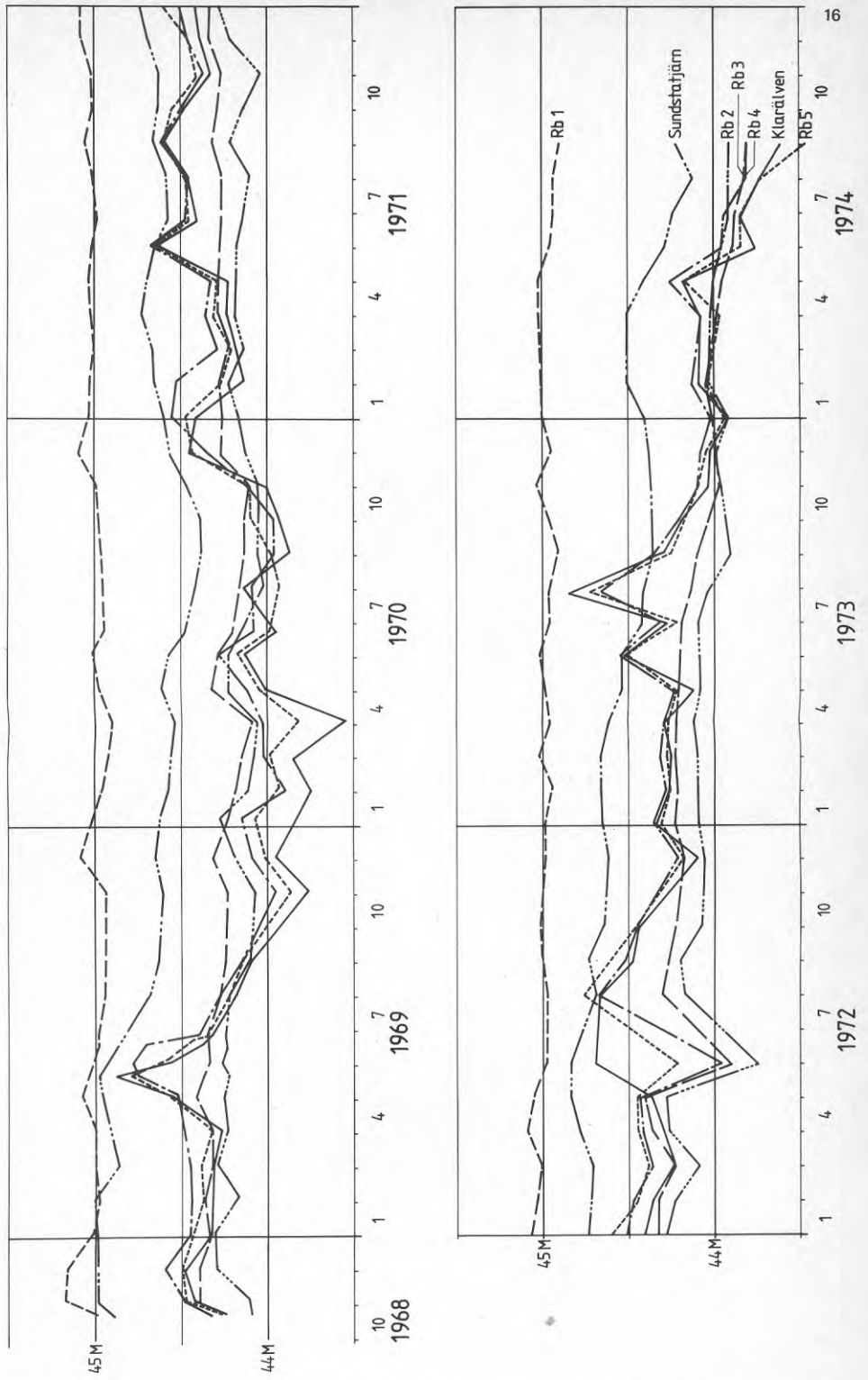
3.1.2 Hydraulisk konduktivitet, hydraulisk gradient

Siktanalys har utförts på ett antal prov från sand- siltlagren, se figur 3.3. Hydrauliska konduktiviteten för dessa kan beräknas till $3,2 \times 10^{-4}$ m/s på grundval av siktanalyserna. Den hydrauliska konduktiviteten har även beräknats för två andra provplatser inom området till $2,5 \times 10^{-4}$ m/s respektive $3,0 \times 10^{-4}$ m/s.



Figur 3.3 Siktanalyser

VATTENSTÄNDSVARIATIONER SUNDSTA-NORRSTRAND 1968-1974



Figur 3.4 Vattenståndsvariationer Sundsta - Norrstrand 1968-1979

Karlstads kommun utförde 1969 - 1974 nivåmätningar i obs-rör 1 - 5 som nedförts i älvsedimentens grundvattenmagasin. Grundvattenobservationerna utfördes 1 gång/månad. Dessutom utfördes mätningar av vattenstånd i Sundstatjärn och Klarälven, se översiktskarta figur 3.1. Observationerna visar att grundvattennivån i magasinet styrs av vattennivån i Klarälven, se figur 3.4.

Vid lågt vattenstånd i älven dräneras grundvattenmagasinet till älven. Vid högt vattenstånd infiltrerar vatten från älven till grundvattenmagasinet. Den hydrauliska gradienten mellan rör 3 och 5 uppgår till 5×10^{-4} vid utflöde till älven. Vid infiltration till grundvattenmagasinet från älven är gradienten $- 5 \times 10^{-4}$. Dessa värden är de största som registrerats under mätperioden.

På grundval av permeabiliteten och den hydrauliska gradienten kan vattenhastigheten mellan rör 3 och 5 i grundvattenmagasinet beräknas. Vattenutbytet sker med en hastighet av maximalt ca 2,5 m/månad. Detta innebär att endast en smal zon längs älvens strand i påtaglig grad kan vara influerad av älven t ex temperaturmässigt.

Klarälvens vattenyta är vid medelvattenföring i det närmaste horisontell i kröken runt Sundsta - Norrstrand. Under långa perioder sker således inget vattenutbyte mellan älven och grundvattenmagasinet utöver ett normalt grundvattenflöde.

Grundvattenbildningen från nederbörd uppgår till ca 6 l/s. Avrinningsområdets totala yta är ca 3 km^2 varav Sundsta - Norrstrand utgör ca $1,5 \text{ km}^2$.

3.1.3 Temperatur i grundvattenmagasinet

Temperaturen uppmättes 1982-06-23 i grundvattenrören, två st nya rör A och B, samt i 3 st rör (7, 11, 13) söder och väster om Sundsta - Norrstrand. (Ej utmärkta på översiktskartan). Rör 1, 2 och 3 är ej i funktionsdugligt skick.

I nedanstående tabell redovisas temperaturen vid angivet djup under markytan för de olika rören.

Rör nr	Temperatur (°C)	Djup (m.u.my)
4	6,6	3,5
5	8,3	3,0
7	6,9	2,3
11	6,9	2,7
13	7,2	2,2
A	7,3	10
A	7,3	15
B	6,8	10
B	6,7	15

Sammanfattningsvis kan den geohydrologisk - termiska situationen för jordlagren i Sundsta - Norrstrandsområdet beskrivas enligt följande:

Området har 10 - 15 m mäktiga lerlager med hög värmekapacitet som täcks av sandig silt (älv sediment) med ungefär samma mäktighet. Älvsedimenten utgör ett grundvattenmagasin med en långsam vattenomsättning. Temperaturen i den djupare delen av magasinet d v s mot lerlagrens överyta torde överensstämma med årsmedeltemperaturen i Karlstad, ca 7°C. Som värmemagasin har lerlagren således ett gynnsamt läge under ett grundvattenmagasin med stor värmekapacitet

3.2 Inventering av befintligt värmesystem

Bostadsrättsföreningen Affärsmannen projekterades 1956 och byggdes året därpå. Föreningen består av två bostadshus med 60 lägenheter. Dessutom finns i dessa hus ekonomitrymmen och 7 affärslokaler. Även 19 uppvärmda garageplatser ligger i anslutning till bostadshusen. Totala bostadsarean är omkring 4 700 m².

Uppvärmningssystemet är ett vattenburet radiatorsystem. Värmeproduktionen för radiator och varmvatten sker med två oljeeldade pannor vars data framgår nedan.

	<u>Norrhammar MEG</u>	<u>CTC typ 1100/16</u>
Installationsår	1968	1957
Max effekt vid oljeeldning kW	350	185
Brännare	Weishaupt M3 typ D	Weishaupt M3A typ D
Installerad år	1977	1981
Bränsle*	Eo3	Eo3
Kapacitet kg/h	10 - 35	9 - 21
Munstycke	3,00	3,00

* Möjlighet finns även att elda fast bränsle (ved, sopor etc).

Föreningens oljeförbrukning har i genomsnitt varit 150 m³ eldningsolja 3 per år. Vid antagande att pannornas årsmedelverkningsgrad är 0,75 och vid ett värmevärde för Eo3 på 10,5 MWh/m³ blir det årliga energibehovet:

$$E = 150 \cdot 150 \cdot 0,75 = 1\ 180 \text{ MWh.}$$

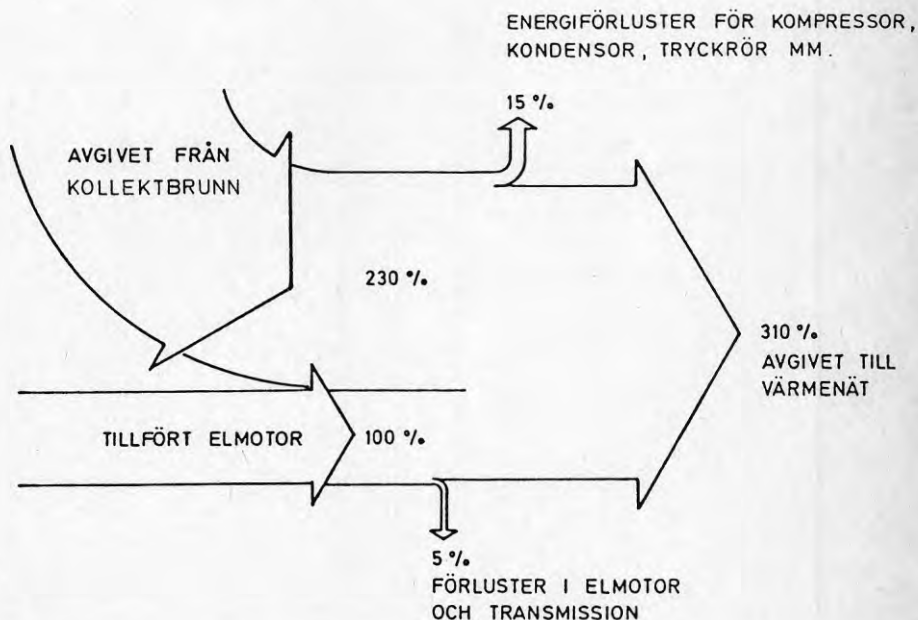
Detta motsvarar en erforderlig maxeffekt på för varmvatten- och värmeproduktionen på 540 kW. Detta innebär att befintliga pannor inte har någon överkapacitet idag utan ger exakt den effekt som krävs vid lägsta utetemperatur.

3.3 Alternativt värmesystem

3.3.1 Värmepumpsystem, allmänt

En värmepump kan transformera energi från en värmekälla med låg temperatur till en värmeavvärmare, t ex ett värmesystem, med en högre temperatur. För att denna nivåhöjning av temperaturer skall kunna ske fordras en viss mängd av högvärdig drivenergi i form av t ex el eller dieselolja. Anledningen till detta är att värme "av sig själv" inte kan gå från ett kallare till ett varmare medium. Drivenergin tillförs dock värmesystemet tillsammans med den ur värmekällan utvunna värmen.

Eftersom betydligt mer energi avges till värmesystemet än mängder tillförd drivenergi är ett värmepumpsystem mycket energiekonomiskt. Jämfört med ett direktverkande elvärmesystem tillför ett värmepumpsystem med samma eleffekt normalt ca 3 gånger så mycket värme. Värmebalansen för ett värmepumpsystem framgår av figur 3.5.



Figur 3.5 Exempel på Sankey-diagram för en eldriven värmepump

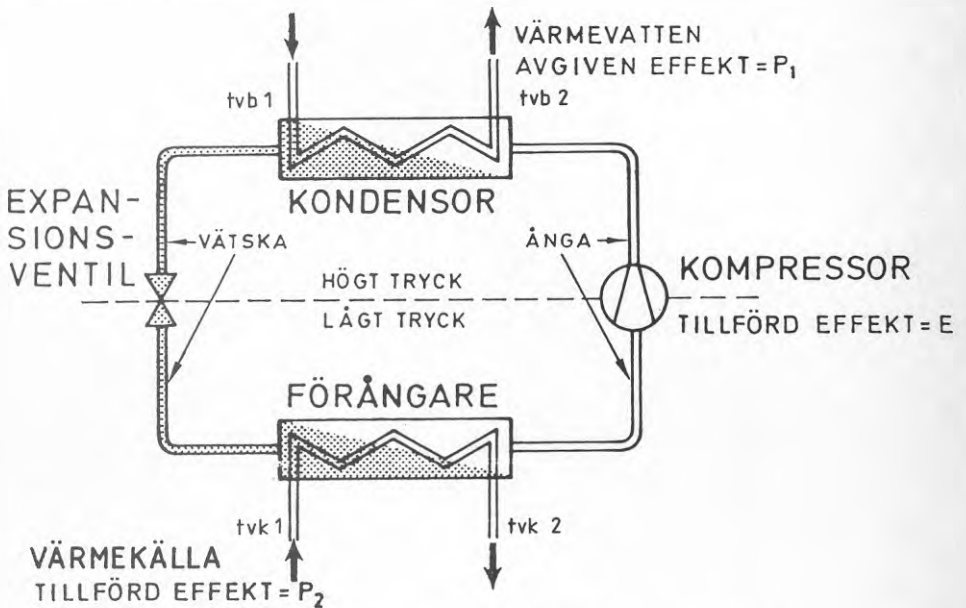
3.3.2 Värmepumpen enligt principen för en förångningsprocess

En värmepump kan vara utförd enligt olika principer, men den för närvarande helt dominerande processen är den kompressordrivna förångningsprocessen. Endast denna typ kommer därför att behandlas nedan. Av de kompressordrivna värmepumparna är den med en elektriskt driven kompressor klart vanligast.

Den kompressordrivna värmepumpen har fyra huvudkomponenter: förångare, kompressor, kondensor och expansionsventil. Komponenterna sammanbinds med rörledningar till ett slutet system i

vilket ett köldmedium cirkulerar enligt figur 3.6. Mediets temperatur och tryck påverkas av de olika komponenterna.

Förångaren står under ett så lågt tryck att köldmediets kokpunkt ligger under värmekällans temperatur. Härigenom bringas köldmediet att koka och övergå till ångfas. Fasomvandlingen är energikrävande och den erforderliga energin, ångbildningsvärmén, upptas från värmekällan. Ångan sugas sedan upp och tryckhöjs i kompressorn. Därefter blåses den in i kondensorn, och eftersom ångan nu har högt tryck kondenserar den vid en högre temperatur, en temperatur som ligger över värmesystemet. Vid kondenseringen avges den från värmekällan upptagna energin till värmesystemet tillsammans med kompressorns drivenergi. Köldmediet som nu är i vätskefas passerar expansionsventilen i vilken trycket sänks. Vätskan tillförs åter förångaren och förloppet upprepas.



Figur 3.6 Värmepumpen enligt principen med förångningsprocess

3.3.3 Ekonomisk storlek på värmepump

En värmepump har en relativt hög investeringskostnad per kW och bör därför ej dimensioneras för att täcka hela värmesystemets effektbehov utan en del av detta, eftersom de högsta effektbehoven har en mycket kort varaktighet.

Toppeffekterna bör i stället täckas med en värmeproduktionsutrustning med lägre investeringskostnad t ex el eller olja.

Erfarenhetsmässigt har det visat sig att en värmepump bör svara för 30 - 50 % av maximalt effektbehov för att vara ekonomiskt optimal. I så fall erhåller man normalt 70 - 90 % av energibehovet från värmepumpen.

3.3.4 Kriterier för lönsamhet för värmepump

Då det tidigare påtalats att en värmepump är en relativt dyr investering per installerad kW är det viktigt att diskutera de kriterier på lönsamhet som finns.

Många av kriterierna gäller givetvis inte bara de fall då mark och vatten är värmekälla utan gäller generellt för värmepumpinstallationer.

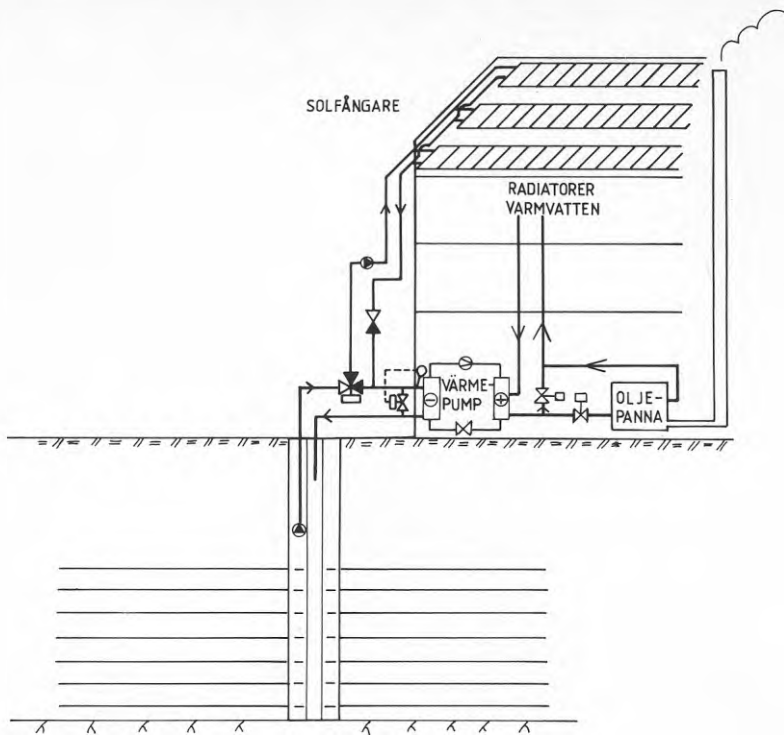
- Finns ett tillräckligt stort värmebehov.
- Finns det tillräcklig energipotential i värmekällan
- Är temperaturen hos värmekällan stabil och i proportion till behovet över året.
- Finns tillgång till el för värmepumpen.
- Är avståndet mellan värmekälla och förbrukare ej för långt.
- Har värmepumpen tillräckligt lång utnyttjandetid.
- Är temperaturer och flöden hos värmesystemet anpassningsbara för en värmepumptillämpning.

3.3.5 Principlösning

Ett värmepumpsystem med kollektorbrunn är i princip jämförbart med ett vertikalt värmelager i lera, typ "Sunclay" (Hultmark 1980). Erforderlig markyta är dock väsentligt mindre för en kollektorbrunn än ett vertikalt lager. Genom kollektorbrunnens rörsträngar eller kollektorer strömmar en brinevätska vilken överför värme från sedimenten och grundvattnet till värmepumpens förångare. Kollektorerna är försedda med dubbla rör så att brinesystemet är slutet och värmeöverföringen från sedimenten till brinelösningen sker rekuperativt (genom värmeledning i röret).

Vid mycket kalla dagar är värmepumpens effekt inte tillräcklig för att värma hela systemet och då erhålles spetslasten med t ex befintlig oljepanna eller el. På byggnadens tak monteras solfångare för återladdning av magasinet sommartid (ca 5 mnd/år) samt för att täcka fastighetens värmebehov vår, sommar, höst (ca 7 mnd/år).

I figur 3.7 nedan är principen för systemet beskrivet.



Figur 3.7 Principiell uppbyggnad av uppvärmningssystem för värmepump med kollektorbrunn. För återladdning av lagret används här en solfångaranläggning.

Den effekt som kan erhållas från värmekällan, genom kollektorbrunnen vid användandet av en värmepump, kan beräknas med hjälp av formeln:

$$P_{vk} = \rho \cdot c_p \cdot q \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots(1)$$

där

- P_{vk} = den utvunna effekten (kW)
- q = brinelösningens flöde (m^3/s)
- ρ = brinens densitet (kg/m^3)
- c_p = värmekapacitiviteten ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$)
- ΔT = temperaturhöjningen som brinen erhåller genom cirkulationen genom kollektorbrunnen ($^\circ C$)

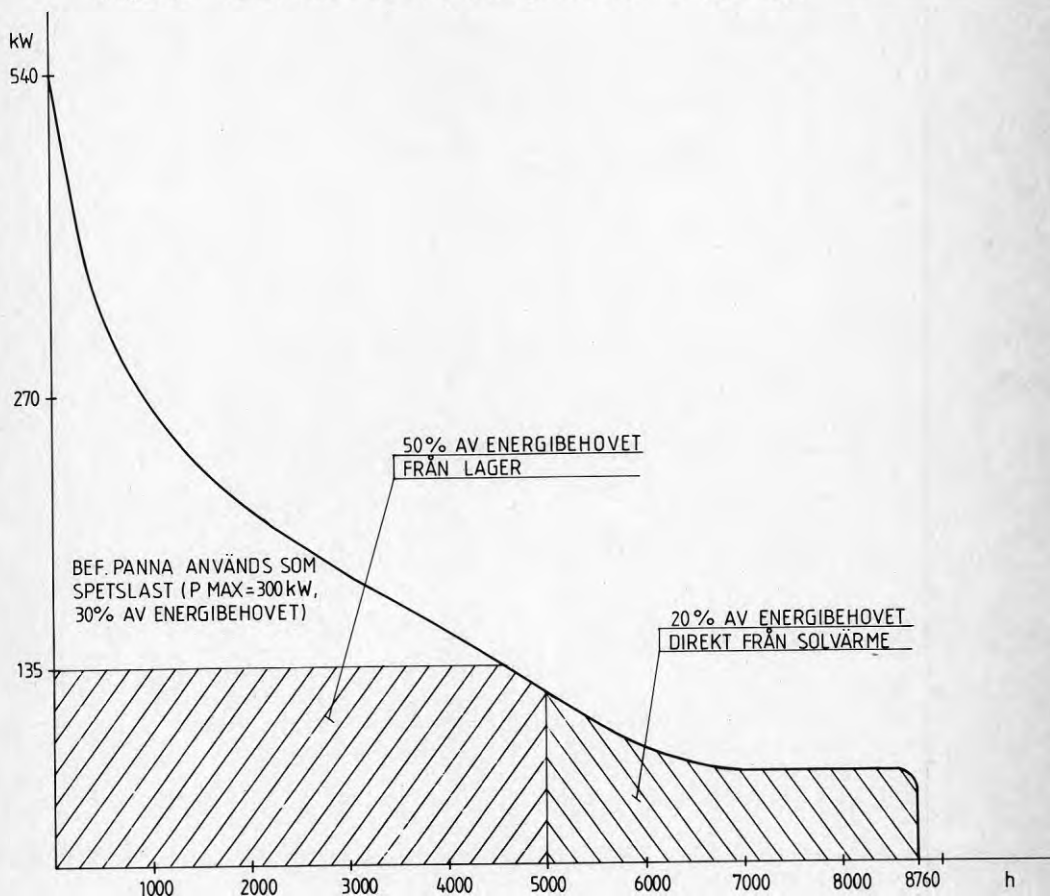
Den eleffekt som åtgår för att driva kompressorn om värmepumpens värmefaktor är 3 blir ungefär

$$P_{kompressor} = 0,5 P_{vk}$$

3.3.6 Dimensionering av värmepump

Värmepumpen dimensioneras för att klara baslasten, d v s ca 25 % av maxeffekt. Det medför en storlek av 135 kW

Värmepumpen nyttjas med full effekt (135 kW) under 7 månader. De resterande 5 månaderna regleras, värmepumpens effekt efter behovet. Energin tas under de 5 vintermånaderna enbart från lagret, de resterande 7 månaderna tas energin från solfångarna. 50 % av totala energibehovet kan täckas från lagret, 20 % täcks direkt från solfångarna. Totalt täcks 70 % av energibehovet. Se figur 3.8.



Figur 3.8 Antaget varaktighetsdiagram för fastigheten Affärsmannen

Exakt kurva får mätas upp med hjälp av vattenförbrukning, temperatur etc. Även temperaturen på värmesystemet måste mätas upp för att avgöra vilka ombyggnader som måste vidtagas vid övergång till lågtemperatursystem

Vid ovanstående alternativ förutsätts att värmepumpen kan vara i drift under den tid på ca 5 månader som behövs för återladdning av lagret. Detta innebär att den värmekälla som skall återladda lagret dimensioneras för att både återladda lagret och under 5 månader vara värmepumpens värmekälla.

Beroende på de lokala förutsättningarna väljes lämplig värmekälla för återladdning av lagret.

Temperaturen hos värmekällan skall enligt beräkningar för återladdningen vara ca 30 °C.

I denna rapport har solvärme via en solfångaranläggning ansatts som värmekälla för återladdning av kollektorbrunnen.

3.3.8 Solfångarsystem

Solfångarytan måste göras tillräckligt stor för att dels täcka de 50 % av totala energibehovet som bortförs från lagret (höst - vinter - vår) dels täcka det kontinuerliga uttaget sommartid. Om lagrets verkningsgrad är 0,65 måste denna energimängd vara:

$$\frac{1\ 180}{2} \cdot \frac{1}{0,65} = 910\ \text{MWh}$$

De extra 20 % för huvudsakligen tappvarmvatten samt lite värme sommartid uppgår då till

$$1\ 180 \cdot 0,2 = 240\ \text{MWh}$$

och tas direkt från solfångarna. Detta innebär att 1 150 MWh årligen måste levereras från solfångarna.

Mot en horisontell yta strålar i genomsnitt för Karlstad knappt 1000 kWh/år.m² (NE 1977:2)

För medelmolniga dagar är den optimala lutningen för solfångare ca 25 ° (infallslutning hos fast solfångare). Då kan 10 - 15 % mer energi erhållas per ytenhet d v s ca 1 100 kWh/m². Pettersson (1980).

På grund av förluster och olika verkningsgrader hos ingående komponenter kommer det tillvaratagna nyttiga energimängder från solfångarna inte att uppgå till angivna 1 100 kWh/år. m² utan endast blir en del av detta. Det finns dock inte utrymme i denna rapport att närmare gå in på dessa faktorer utan här nämns endast vissa schablonvärden för förluster i solfångarna såsom:

- absorbtion och reflektion i täckglas, ca 10 % (gäller glasade solfångare)
- flänsverkningsgrad för absorbator 0,95 - 1,0
- absorbtion hos svart färg eller annan ytbehandling 0,9 - 1,0
- flänsförluster på grund av temperaturdifferenser mellan absorbator omgivande luft.
- konvektionsförluster på grund av vind etc.
- förluster i distributionssystem.

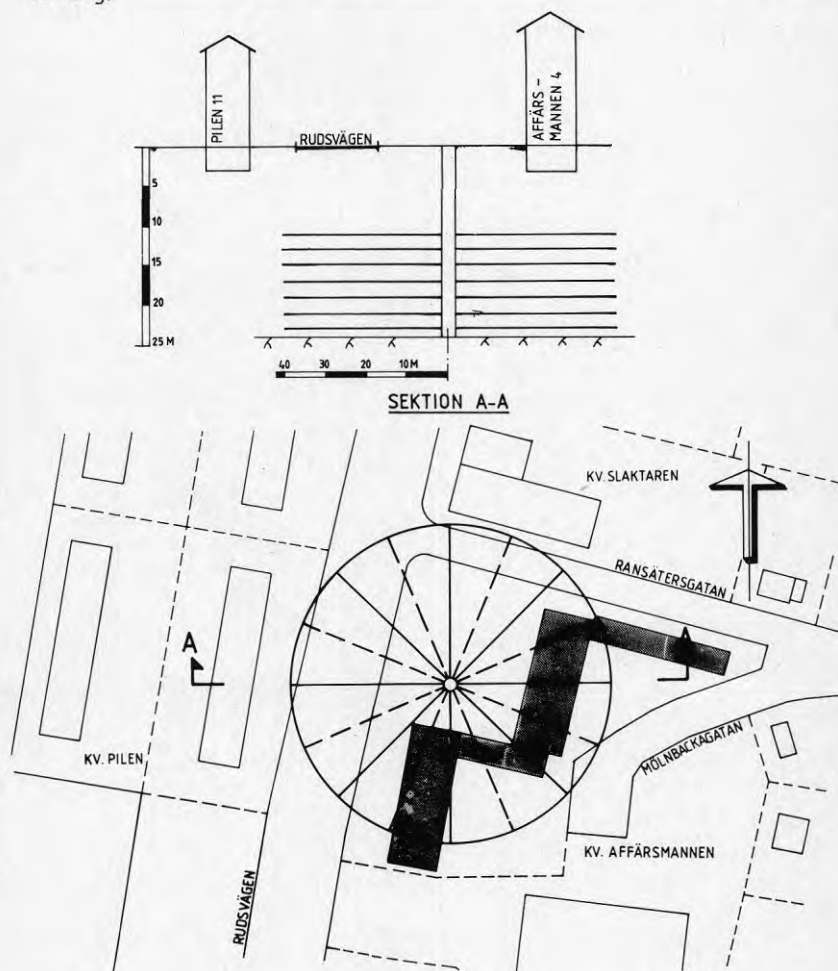
För dessa solfångare som kännetecknas av låg temperatur (25 - 30°) erhålles normalt god totalverkningsgrad, 0,6 - 0,7 eller bättre. Vid antagande att en plan lågtemperatursolfångare monteras med 25 ° lutning bör alltså enligt tidigare minst 700 kWh/år och m² erhållas.

Detta innebär att de 1 150 MWh som årligen måste tillföras från solfångarna kan försörjas från ca 1 600 m² solfångare. Total takyta på fastigheten Affärsmannen 4 uppgår till ca 1 200 m². Den uppskattade solfångarytan kan således inte rymmas på taket av fastigheten.

3.4 Alternativa system för energilagring

3.4.1 Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer

Kollektorbrunnen vid kv Affärsmannen 4 utformas på följande sätt. Betongringar o 3 m sänks till berg, d v s ca 24 m djupt. Sju våningar med 8 kollektorer pressas ut i finsedimenten mellan 13 och 24 m med ca 1,6 m avstånd mellan kollektorerna. Beträffande marklagren, se figur 3.2. Längden på kollektorerna förutsätts vara 40 m. Kollektorbrunnens placering och utformning framgår av nedanstående ritning.

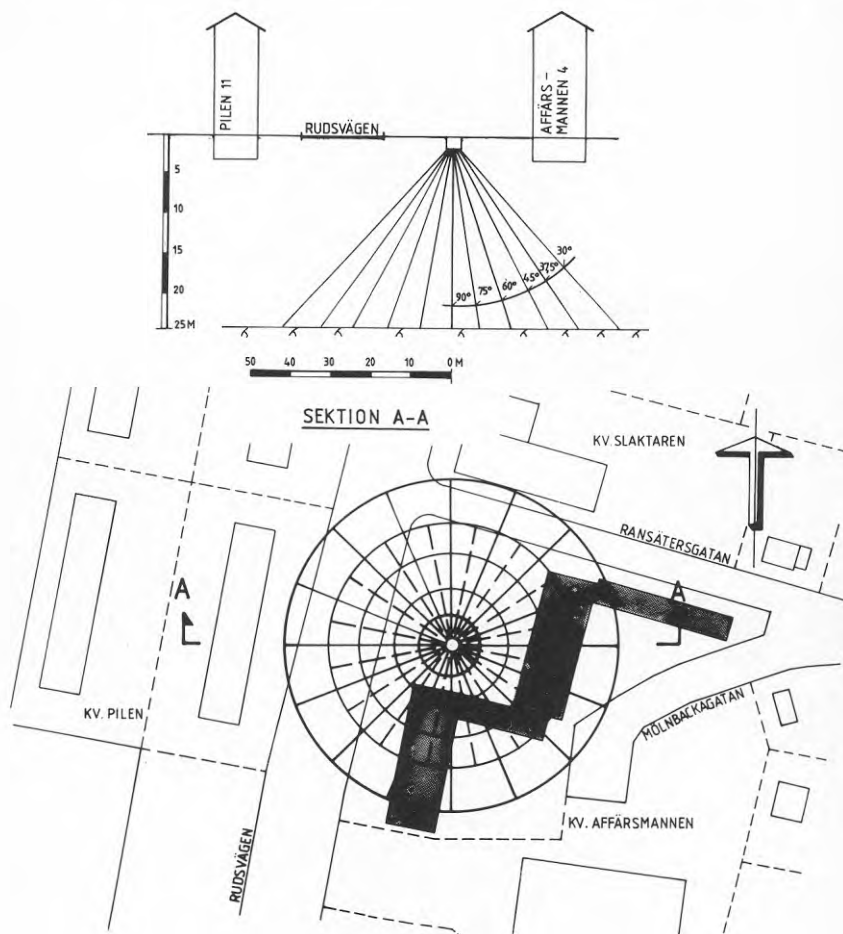


Figur 3.9 Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer vid fastigheten Affärsmannen 4

Varje kollektorvåning förskjuts 1/16 varv i förhållande till nästa underliggande våning för att erhålla bästa möjliga värmeväxlartäckning av jordvolymen. Avståndet mellan kollektorrören i en och samma våning varierar mellan ca 1,2 m vid brunnen och ca 32 m vid periferien. Avståndet mellan rör i två intilliggande våningar varierar mellan ca 2,3 m vid brunnen och ca 16 m vid periferien. Volymen som täcks av kollektorerna uppgår till ca 55 000 m³.

3.4.2 Kollektorbrunn typ pyramid

Kollektorbrunnen vid Affärsmannen 4 utformas på följande sätt, se ritning.



Figur 3.10 Kollektorbrunn typ pyramid vid fastigheten Affärsmannen 4

Volymen som täcks av kollektorerna uppgår till ca 46 000 m³. Rörns längd varierar mellan 22 m i centrum och 44 m i "yttre" pyramiden. Avståndet mellan rören vid pyramidens botten varierar mellan ca 5 m och ca 11 m. Största avståndet inom samma pyramid uppgår till ca 16 m.

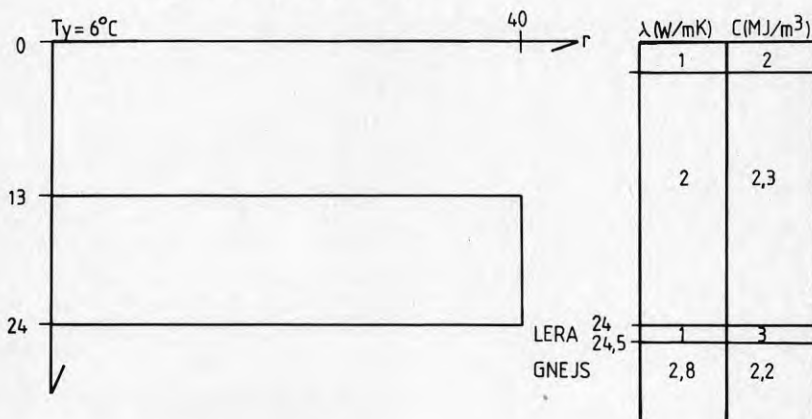
4. TEORETISK BERÄKNING, VÄRMELAGRING - VÄRMEUTTAG

4.1 Inledning

Med beräkningsmodellen "LUND-DST" (Hellström 1981, Hellström 1982) har beräkningar på värmelagring - värmeuttag ur kollektorbrunnarna utförts. Modellen är utvecklad för lager med rör med jämnt fördelade i lagervolymen. Rören i kollektorbrunnarna strålar radiellt ut från den centrala brunnen. För att kunna använda beräkningsmodellen har följande antagande gjorts. Lagrets volym har omräknats till volymen för en vertikal cylinder. Rören har sedan placerats homogent i ett hexagonalt gitter i denna cylinder.

4.2 Grunddata

4.2.1 Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer (7 våningar a 8 rör, fall 1)



$$\text{Volym } V = 11 \cdot \pi \cdot 40^2 = 55\,000 \text{ m}^3$$

7 lager med 8 radiella rör. Totalt 56 rör.

I beräkningsmodellen "LUND-DST" antas varje rör vara omslutet av en cylindrisk volym med längden 40 m. Radien för cylindrar runt varje rör beräknas ur sambandet.

$$V = 56 \cdot \pi \cdot 40 R_1^2 \quad \Rightarrow \quad R_1 = 2,80 \text{ m}$$

Värmemotstånd mellan fluid och berg $m_D = 0$.

4.2.2 Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer (10 våningar a 8 rör, fall 2)

Antalet horisontella skikt ändras från 7 till 10

$$V = 55\,000 \cdot \frac{10}{7} = 78\,500 \text{ m}^3$$

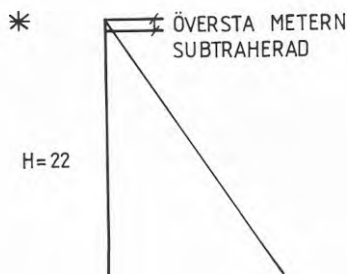
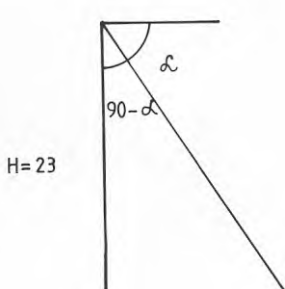
$$R = 40 \text{ m} \quad H = \frac{V}{\pi \cdot R^2} = 15,6 \text{ m}$$

Lagervolymen är nu belägen mellan 8.4 och 24 m djup, $R_1 = 2,80 \text{ m}$.

4.2.3 Kollektorbrunn typ pyramid (fall 3)

6 grupper med vinklade rör

Grupp	x	Bottenradie (m)	Antal rör (n_i)	Rörlängd (m) (L_p^*)	$n_i L^* p_i$
1	30	39,84	16	44,00	704,00
2	37,5	29,97	16	36,14	578,24
3	45	23,00	16	31,11	497,76
4	60	13,28	16	25,40	406,40
5	75	6,16	8	22,78	182,24
6	90	0,00	1	22,00	22,00
Total rörlängd					2390,64



Den i lagret deltagande volymen antas ha en bottenradie på 43.94 m

$$V = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot H}{3} = \frac{\pi \cdot 43.94 \cdot 23.00}{3} = 46\,500 \text{ m}^3$$

För beräkningsmodellen "LUND-DST" antas som tidigare en homogen rörtäthet. Kring varje rör har vi ett cylindriskt område med radien $R_1 \cdot L_p \cdot \pi \cdot R^2$

$$V = L_p \cdot \pi \cdot R^2 \quad R_1 = 2.49 \text{ m}$$

Även lagret antas ha formen av en vertikal cylinder. Den är belägen mellan 2 och 24 meters djup, dvs $H=22 \text{ m}$. $V = \pi \cdot R^2 \cdot 22 \quad R = 25.94$.

U-rör $\phi 25 \text{ mm}$, två stycken. Effektiv diameter motsvarar en enkel $\phi 30 \text{ mm}$
 $R_0=0.015$.

4.3 Laddningsstrategi

Lagret laddas 5 månader sommartid (maj - september) med lågtemperatur solfångare. Laddningstemperaturen förutsätts vara 30°C . Nettouttaget ur lagret sker 5 månader/år (november - mars). Värme-försörjningen sker resterande del av året direkt från solfångarna.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laddning Fluidtempera- tur vid in- lopp ($^\circ\text{C}$)	-	-	-	-	30	30	30	30	30	-	-	-
Effektuttag ur lagret (kW)	90	90	90	-	-	-	-	-	-	-	90	90

Minimitemperatur vid uttag 4°C .

Vattenflödet är $67,8 \text{ l/s}$ vilket medför en fluidtemperaturdifferens mellan in- och utlopp på några tiondels grader. ($< 0,3^\circ\text{C}$).

Man önskar att ta ut 90 kW .

Om fluidtemperaturen under uttag sjunker till 4°C kommer effektuttaget att fortsätta med 4°C graders fluidtemperatur vilket innebär reducerad effekt.

4.4 Resultat från beräkning

För de i punkt 4.2 beskrivna schaktbrunnarna har värmelagring - värmeuttag beräknats under 5 årscykler i enlighet med laddningsstrategien under punkt 4.3.

Resultatet efter 5 cykler redovisas i nedanstående tabell.

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	
Uttagseffekt (kW)	90	90	90	
Rörradie (m)	0.0508	0.0508	0.015	
Volym (m ³)	55 000	78 500	46 500	
Medellagertemperatur min (°C)	10.33	12.24	9.98	
Medellagertemperatur max (°C)	19.61	20.74	19.46	
Volymflöde vatten (l/s)	67.8	67.8	67.8	
Medeextraktionstempera- tur (°C)	5.0	8.7	4.2	
Medelinjektionstempera- tur (°C)	29.8	29.7	29.8	
E+ = Inlagrad energi (MWh)	430.3	548.3	353.9	
E- = uttagen energi (MWh)	281.9	328.5	238.0	
Lagrets energiverknings- grad $\frac{E-}{E+}$				
	Cykel 1	0,44	0,43	0,49
	2	0,56	0,52	0,61
	3	0,61	0,56	0,65
	4	0,64	0,58	0,66
	5	0,66	0,60	0,67
Effekttäckning: $\frac{E-}{\text{Uttagseffekt i 5 mnd}}$	0,86	1,00	0,72	

4.5 Sammanfattning

Efter 5 årscyklar återfås ca 65 % av inlagrad energimängd. Lagren förmår inte att leverera erforderlig effekt under hela uttagsperioden vid skisserad storlek. Volymen måste utökas ca 30 - 40 % för att full effekttäckning skall nås. (Se fall 1 och 3 kontra fall 2). Ett annat alternativ är att öka antalet rör (värmeväxlarytan) i lagret. Modellen "LUND-DST" är inte anpassad för beräkning av system med radiellt borrade rör eftersom man då erhåller en starkt varierande rörtäthet. Det har därför gjorts vissa förenklingar ("omräkning" från radiellt till parallellt system). Detta antagande kan göra beräkningen något optimistisk.

5. KOSTNADSKALKYL

Kapitalkostnaderna är räknade med 6 % realränta, d v s 15 % låneränta reducerat med 9 % inflation. Avskrivningen på värmepump och solfångarsystem förutsätts ske på 20 år.

För kollektorbrunnen och markförlagda ledningar förutsättes avskrivningen ske på 30 år.

5.1 Investeringar

Värmepump

Värmepump 135 kW	220 000:-
Installation (rör, bygg)	
elförstärkning	180 000:-
Projektering	75 000:-
	<hr/>
	475 000:-

Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer (7 våningar a 8 rör)

Etablering, schaktning, sänkning av betongringar, bottengjutning	30 000:-
Betongringar o 3000, 25 m	100 000:-
Håltagning för kollektor	15 000:-
Kollektorer, 56 rör a 40 m inkl drivning	225 000:-
Innebrunn, fördelningsrör	30 000:-
Anslutning till värmepump, cirkulationspump m m	25 000:-
Projektering	25 000:-
	<hr/>
	450 000:-

Kollektorbrunn typ pyramid

Etablering, schaktning	25 000:-
Betongringar, h = 1,5 m, o 6000, lock	20 000:-
U-rör o 25, 2 400 m inkl drivning	125 000:-
Fördelningsrör, kopplingar m m	30 000:-
Anslutning till värmepump, cirkulationspump m m	25 000:-
Projektering	25 000:-
	<hr/>
	250 000:-

Solfångare

Solfångare, oglasade, lågtemperatur 1 600 m ²	450 000:-
Stativ, fundament etc	200 000:-
Installationer, montering	250 000:-
Rörledningar, armaturer, pump inkl montering	250 000:-
El, styr- och reglerutrustning	50 000:-
	<hr/>

1 200 000:-

5.2 Kapitalkostnader

Värmepump, installation 475 000:- annuitetsfaktor 0,087	41 000:-
Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer 450 000:-, annuitetsfaktor 0,073	33 000:-
Kollektorbrunn typ pyramid 250 000:-, annuitetsfaktor 0,073	18 000:-
Solfångare 1 200 000:-, annuitetsfaktor 0,087	105 000:-

Summa kapitalkostnader för
värmesystem med kollektor-
brunn typ schaktbrunn med
horisontella kollektorer.

Ca 180 000:-

Summa kapitalkostnader för
värmesystem med kollektor-
brunn typ pyramid

Ca 165 000:-

5.3 Underhållskostnader

Underhållskostnad, värmepumpsinstallation och brineledning

2 % av inventeringen på 500 000:- 10 000:-/år

Underhållskostnad för pannor

I denna utredning har en värmepump på 135 kW antagits vilket medför att återstående effekt upp till maxeffekt (540 kW) kan täckas med den yngre av de två pannorna. Sälunda demonteras den äldre av pannorna d v s den från 1957 vilka sannolikt ändå snart var i behov av byte.

Sälunda är underhållskostnader för den stora pannan lika oavsett om värmepump installeras eller ej medan en underhållskostnad på den mindre pannan här åsätts med: 2 000:-/år

Underhållskostnad för solfångaresystem

1 % av investeringen på 1 200 000:-	1 200:-/år
Underhållskostnader för kollektorbrunn 1 % av investering på 450 000:-	4 500:-/år
Alternativt 250 000:-	Alt 2 500:-/år

5.4 Driftkostnader

För att beräkna driftkostnader för värmepumpalternativ ställs den årliga energibalansen för byggnaden upp:

Värmepump genom kollektorbrunn	550 MWh
Värmepump genom elenergi från kompressor	275 MWh
Spetslast med befintlig oljepanna	355 MWh
	<hr/>
TOTALT	1 180 MWh

Driftkostnad med värmepumpinstallation

355 MWh med olja á 2 500:-/m ³	112 000:-/år
275 MWh med el á 250:-/MWh	69 000:-/år

Pumpkostnader för solfångare - respektive kollektorbrunnens pumpar (antagen effekt 15 kW gångtid 8760 h)	33 000:-/år
	<hr/>

TOTAL DRIFTSKOSTNAD 214 000:-/år

Driftkostnad med oljeeldning enligt nuvarande system.

150 m ³ Eo 3 a 2 500:-/m ³	375 000:-/år
--------------------------------------------------	--------------

5.5 Sammanställning årliga kostnader

	Värmepump Solfångare Kollektorbrunn typ schaktbrunn med horisontella kollektorer	Värmepump Solfångare Kollektor- brunn typ pyramid	Enbart oljeeldning
Kapitalkostnad Värmepump	41 000	41 000	-
Kapitalkostnad Solfångarsystem	105 000	105 000	-
Kapitalkostnad Kollektorbrunn	33 000	18 000	-
Underhåll Värmepump	10 000	10 000	-
Underhåll Solfångarsystem	12 000	12 000	-
Underhåll Kollektorbrunn	4 500	2 500	-
Underhåll pannor			2 000
Driftkostnad	214 000	214 000	375 000
Summa årliga kostnader	420 000	403 000	377 000

Detta innebär att med ovan gjorda förutsättningar och antaganden är den nya installationen ej lönsam. Dock kan faktorer som brist på olja i kristid, kraftigt ökande oljekostnader eller andra ändrade förutsättningar ändå göra projektet intressant.

6. LITTERATURREFERENSER

Hultmark G 1980. Sunclay - projektet. Förprojektering av Lindälvs- skolan, Kungsbacka (statens råd för byggnadsforskning) Rapport 38. Stockholm.

Hellström G 1981. Dimensionering av rörsystem för värmelagring i mark. (Lunds Tekniska Högskola) Lund.

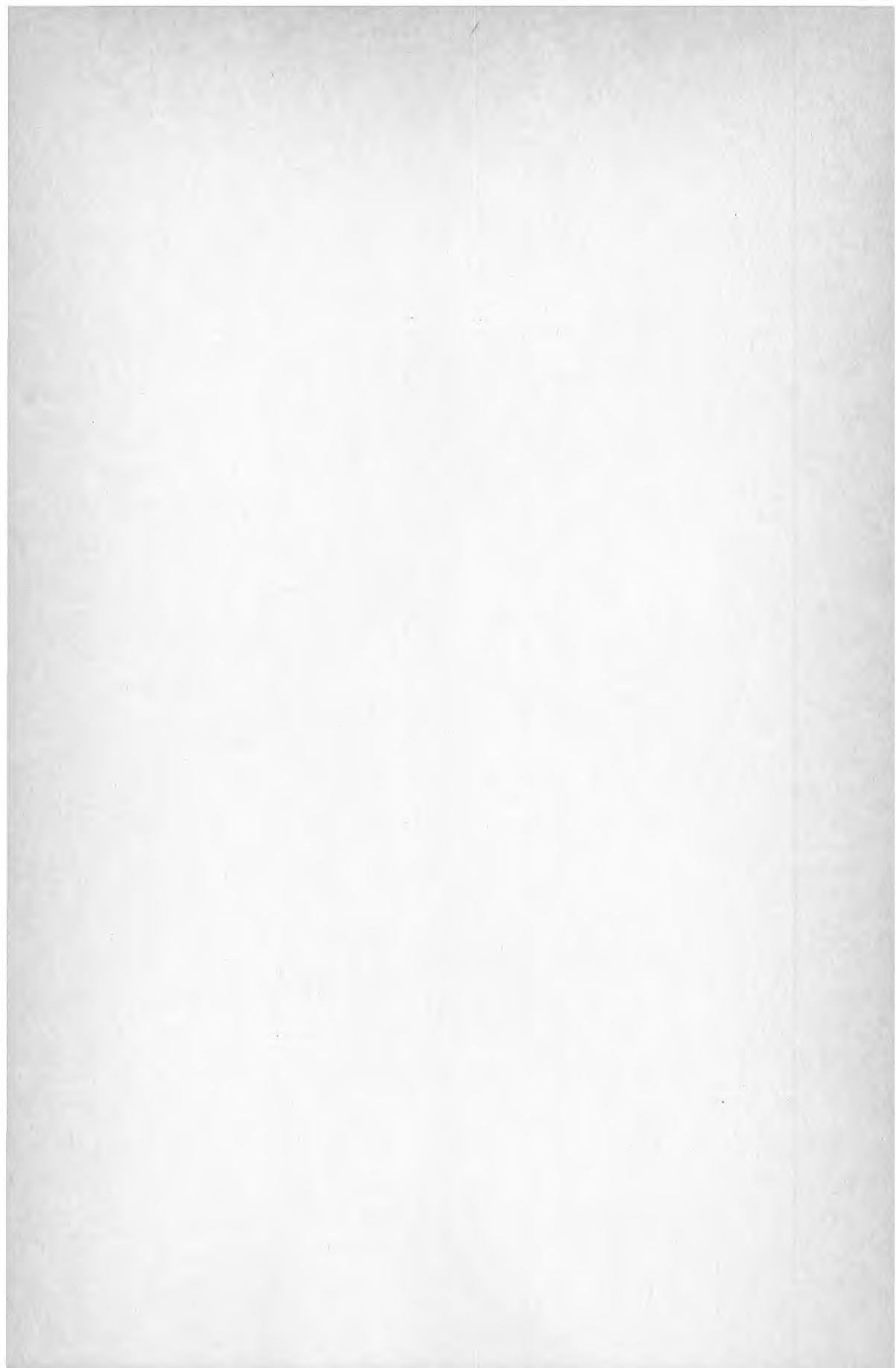
Hellström G 1982. Model of duct storage system. Manual for computer code. (Lunds Tekniska Högskola) Lund.

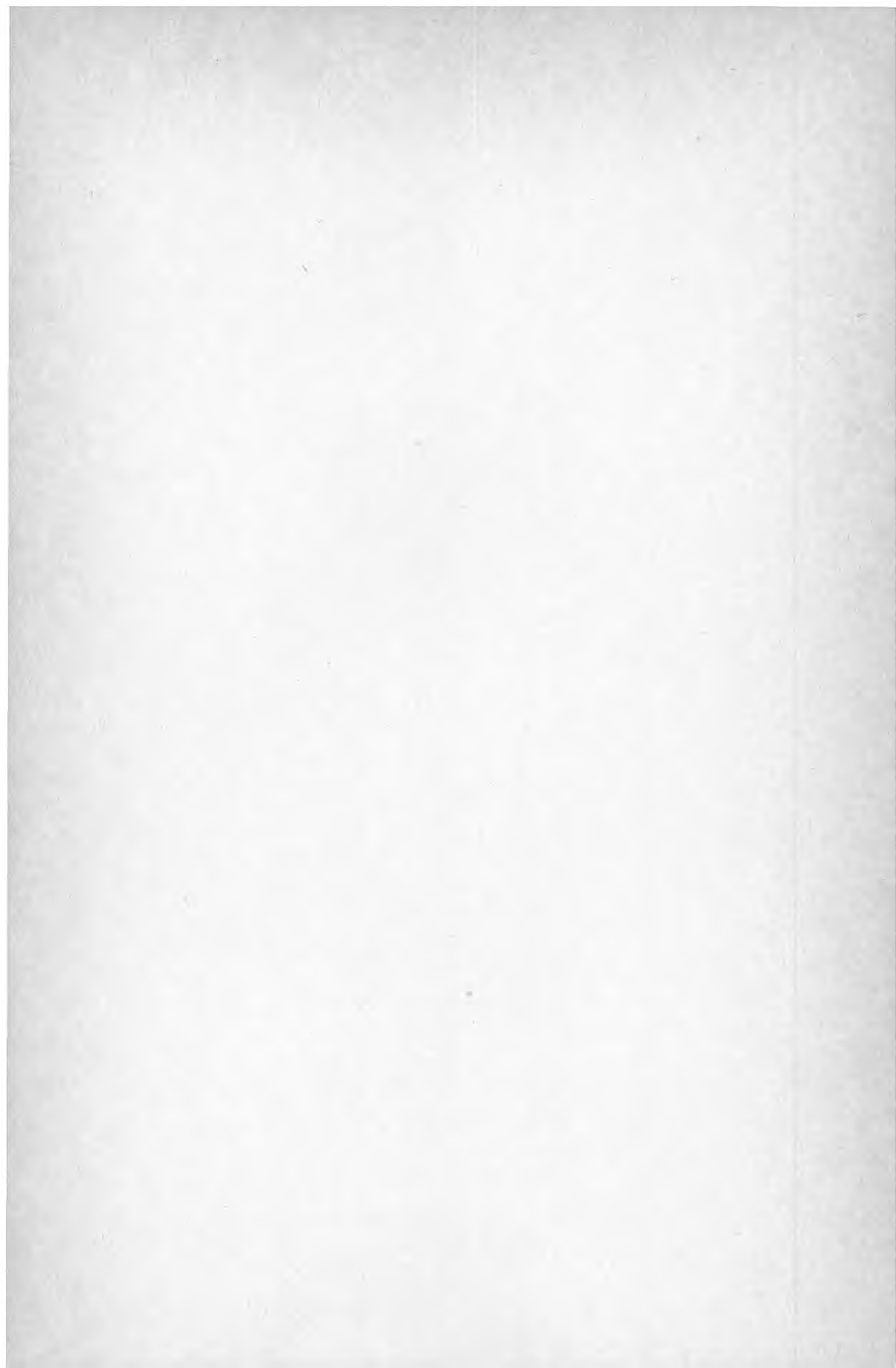
Modin B 1979. Förstudier av byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. Geologiska faktorer. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport 55. Stockholm.

Modin B Wilen P 1980. Byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. Geologiska faktorer för värmelagring i lera inom större tätorter i mellansverige. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport 88. Stockholm.

Pettersson F 1980. VVS-special nr 2.

Solenergi i Sverige. (Nämnden för energiproduktionsforskning 1977.2).





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
820206-6 från Statens råd för byggnadsforskning
till VIAK AB, Vällingby.**

R94: 1983

ISBN 91-540-3973-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700794

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 25 kr exkl moms