



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.



## Akviferlager för solvärme i Bottnaryd

### Förstudie

**Ulf Ervér**  
**Torbjörn Jilar**  
**Bengt W Troedsson**

K  
A/A

INSTITUTET FÖR  
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

lee

R20:1985

AKVIFERLAGER FÖR SOLVÄRME I BOTTNARYD  
Förstudie

Ulf Ervér  
Torbjörn Jilar  
Bengt W Troedsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
830874-0 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Scandiaconsult AB, Göteborg.

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

R20:1985

ISBN 91-540-4342-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

<u>INNEHÅLL</u>	<u>Sida</u>
1. SAMMANFATTNING.....	5
2. BAKGRUND.....	7
3. SYFTE OCH OMFATTNING.....	8
4. SOLVÄRME.....	9
4.1 Solinstrålning.....	9
4.2 Solfångare - teknik och ekonomi.....	13
5. AKVIFEREN.....	15
5.1 Geologi.....	15
5.2 Geohydrologiska förhållanden.....	15
5.2.1 Säsongslagrets utformning och hydrauliska funktion.....	16
5.3 Utförda undersökningar.....	19
5.3.1 Seismiska undersökningar.....	20
6. BEFINTLIGT ENERGISYSTEM.....	20
6.1 Effekt och energibehov.....	20
7. VÄRMESYSTEM.....	23
7.1 Temperaturnivåer - diskussion.....	23
7.2 Värmepump- och solfångarsystem.....	26
7.2.1 Värmepumpsystem.....	30
7.2.2 Solfångarsystem.....	32
7.3 Hela anläggningen.....	35
7.3.1 Beräkningsförutsättningar.....	35
7.3.2 Beräkningsresultat.....	37
7.4 Översiktlig ekonomisk kalkyl.....	39
7.4.1 Beräkningsförutsättningar.....	39
7.4.2 Kalkylresultat.....	43
8. SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER.....	46
8.1 Resultat för Bottnarydsakviferen.....	46
8.2 Systemets nationella potential.....	47
8.3 Rekommenderade fortsatta undersökningar.....	48
REFERENSER .....	49

BILAGEFÖRTECKNING

Nr 1	Plankarta, skala 1:10 000. Seismiska profiler P1 och P2.....	50
Nr 2	Seismiska undersökningar, profil 1, öst - väst .....	52
Nr 3	Seismiska undersökningar, profil 2, nord - syd .....	53
Nr 4	Siktdiagram.....	54
Nr 5	Utfällningstest på grusmaterial från Bottnaryd (CTH) .....	58
Nr 6	Vattenkemisk analys på grundvatten från Bottnaryd .....	61
Nr 7	LTH - akviferlager för solvärme i Bottnaryd .....	62
Nr 8	Utbyte i solfångare vid konstant temperatur .....	70

## 1. SAMMANFATTNING

Ett system för lagring av solvärme i grundvatten består av tre delar nämligen akviferen, solfångaren och värmepump/värmedistributionssystemet.

Akviferen är belägen i ett mäktigt stråk av isälvsavlagringen. Föreslagen plats för akviferen har undersökts med hjälp av refraktionsseismik och analys av jordprover. Akviferen täcks av ett 6 - 10 m mäktigt lager av sand och grus medan akviferen i sig är 10 - 12 m mäktig och vilar direkt på berg. Säsongslagret föreslås få en omfattning av 125 x 250 m. I lagrets bredd är den naturliga grundvattenströmmen ca 8 l/s. Akviferens volym är mer än tillräcklig för ett lager av här studerat slag.

Den naturliga grundvattenströmmen upphävs genom ett pulserande fembrunnssystem med in- och urlagring genom centralbrunnen.

De största problemen vid akviferlagring är förlust- och kantringseffekter av temperaturfronten. Denna effekt styrs av materialets permeabilitet samt temperaturnivå på inlagrat vatten.

Sammanfattningsvis kan förlust- och kantringsproblemen i Bottnarydsakviferen beskrivas enligt följande. Med de värden på genomsläpplighet (k) som gäller i akviferen, bör inlagrad temperatur inte nå över ca + 30 °C om kantringen under lagringsperioden inte skall bli stor. Redan vid + 40 °C halveras kantringstiden. Det kan också konstateras att förlusterna inte blir alltför höga vid temperaturer kring + 30 °C. Efter fem laddningscykler kommer ca 80 % av inlagrad energi vara kvar vid lagringsfasens slut. Detta gäller vid ett uttagsflöde av ca 9 l/s.

Vidare kan konstateras att geokemiska problem, typ jonurlakning, inte kommer att ske vid ovan nämnda temperatur.

### Solfångare

Maximal inlagringstemperatur på 30 °C - 40 °C innebär att urvalet av solfångaretyper blir begränsat. Valet står emellan oglasad lågtemperatursolfångare och glasad medeltemperatursolfångare.

Senare års forskning har visat att solfångare med 60-70 % termisk verkningsgrad i aktuellt temperaturläge även fungerar i fullskaleprojekt.



Beräkningar avseende årligt energiutbyte har gjorts på två typer av plana solfångare samt lågtemperatursolfångare. Beräkningarna gäller för perioden mars-september. Basdata i form av solskenstid har erhållits från SMHI:s mätningar på Jönköpings flygplats.

	Utgående temperatur	30°	Kostnad per m <sup>2</sup>
Plan Solfångare, integrerad typ medeltemperatur 40 - 60 ° C		500 Kwh	1100 - 1300 kr
Plan Solfångare, högtemperatur > 60 ° på ställning		560 Kwh	1700 kr
Låg temperatursolfångare < 40 °		211 Kwh	800 - 1000 kr

Ovanstående beräkningar och kostnader har legat till grund för såväl tekniska som ekonomiska beräkningar som gjorts i studien.

#### Energidistributionssystemet

Vald utgående temperaturnivå från lagret gör att energisystemet måste innehålla en värmepump. De i rapporten studerade energisystemen är samtliga baserade på en värmepump med olika täckningsgrader. Värmepumpar av aktuell storleksklass kräver väsentligt större flöden på förångarsidan än det flöde som kan fås från akviferen. Värmeväxling är därför nödvändig vilket gör att värmepumpen arbetar med lägre temperatur än temperaturen hos urlagringsflödet.

Energisystemet kan principiellt sett byggas på två sätt. I det första fallet ansluts solfångarsystemet och värmepumpsystemet parallellt till akviferlagret. Då kan solfångarsystemet värmeförse både värmepumpsystemet och akviferlagret samtidigt.

I det andra fallet ansluts solfångarsystemet, värmepumpsystemet och akviferlagret alla i serie till varandra. Då kan solfångarsystemet bara värmeförse akviferlager som i sin tur värmeförser värmepumpsystemet.

Slutligen kan man konstatera att Bottnarydskaviferen ur teknisk synvinkel är lämpad för säsongslagring enligt förstudiens intentioner. Flera systemlösningar är möjliga till något varierande kostnader.

Ekonomiskt sett har förstudien visat att energi kan produceras i en akviferanläggning till en kostnad av 0,25-0,30 kr/Kwh. Detta bör jämföras med direkt grundvattenvärme som kan produceras till en kostnad av 0,14 kr/Kwh. Förutsättningen är då att sommarvarmt ytvatten från sjön Stråken infiltreras i akviferen.



## 2.

BAKGRUND

Möjligheten att säsongslagra energi i mark och vatten har studerats alltmer de senaste åren. Naturliga formationer såsom grusåsar, berg och mäktiga leravlagringar har tilldragit sig största intresset. Några pilotanläggningar har även byggts i full skala t ex Lyckebo, Luleå, Kungsbacka och Kullavik.

När det gäller säsongslagring i grundvatten s k akviferlagring har någon anläggning ännu inte byggts. Tekniken har dock studerats i ett antal utredningar. Studierna har främst behandlat hydrauliska och termohydrauliska problem såsom energiförluster, konvektion, temperaturfrontens beteende, system för inlagring och utvinning av vatten samt vattenkemiska frågeställningar.

Laddning av ett grundvattenmagasin kan ske på följande sätt:

1. Infiltration/inlagring av naturligt sommaruppvärmt ytvatten
2. Inlagring av vatten uppvärmt med hjälp av spillvärme
3. Inlagring av vatten uppvärmt av solfångare

Här utförd förstudie har behandlat alternativ 3.

Ett energisystem för säsongslagring av aktiv solvärme består av tre enheter nämligen

- solfångarsystem
- akviferen
- energidistributionssystemet inkl dygnsackumulator

Hittills utförda studier har berört en eller två av energisystemets enheter, medan föreliggande utredning har behandlat samtliga delar av systemet ur såväl teknisk som ekonomisk synvinkel.

För att belysa ovanstående och sikta in studien mot ett framtida fullskaleprojekt har vi valt att utföra förstudien i Bottnaryd samhälle, Jönköpings kommun. Se figur 2.1.

Bottnaryd är beläget vid riksväg 40 ca 2 mil väster om Jönköping. Tätorten har ca 3 000 invånare.

Bebyggelsen består till övervägande delen av enfamiljshus och industrier. Ett fåtal flerfamiljshus finns även i ortens centrum.

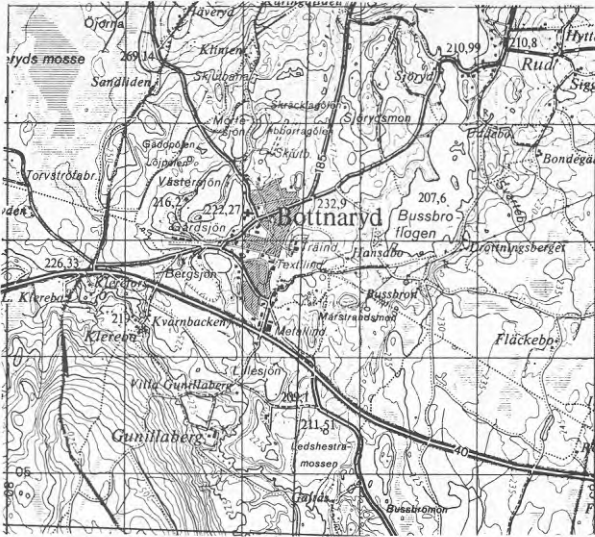


Bild 2.1 Del av topografisk karta, skala 1:50 000

Dagens energisystem består av individuella oljepannor samt direktverkande el. Någon centraliserad uppvärmning i form av gruppcentraler finns ej. I kommunens energiplanering ingår ej framtida närvärme eller fjärrvärme för Bottnaryd, ej heller införandet av alternativa energikällor.

### 3. SYFTE OCH OMFATTNING

Förstudien har två syften. Dels skall geologiska, hydrogeologiska och energisystemmässiga förutsättningar för säsongslagring av aktiv solvärme i Bottnaryd studeras. Detta innebär att akviferens geometri skall utredas. Vidare kornstorleksammansättning, grundvattenytans nivå samt grundvattnets strömmingsbild. Dagens effekt- och energibehov för Bottnaryds samhälle bestäms översiktligt samt möjligheter att i framtiden försörja del av samhället med energi från lagret via värmepump.

Studiens andra syfte är att finna ekonomiskt och tekniskt optimal inlagringstemperatur. Med optimalt menas här en sådan temperatur att solfångarna ger hög verkningsgrad samtidigt som den inlagrade temperaturen ej får vara så hög att energiförlusterna blir för stora. Temperaturfronten skall inte kantra, konvektion eller kemisk utfällning får inte uppstå. För att utvärdera vid vilka temperaturnivåer som ovanstående problem uppstår har Johan Claesson, LTH, tagit fram en termohydraulisk modell för inlagringstemperaturer av  $+30^{\circ}\text{C}$  och  $+40^{\circ}\text{C}$ , se bilaga 7.

Tommy Claesson CTH, har genomfört ett utfällningstest på grusmaterial från Bottnaryd för att studera utfällningsrisker vid olika temperaturer, se bilaga 5.

Slutligen skall även en översiktlig ekonomisk kalkyl för här föreslaget system presenteras.

4. SOLVÄRME4.1 Solinstrålning

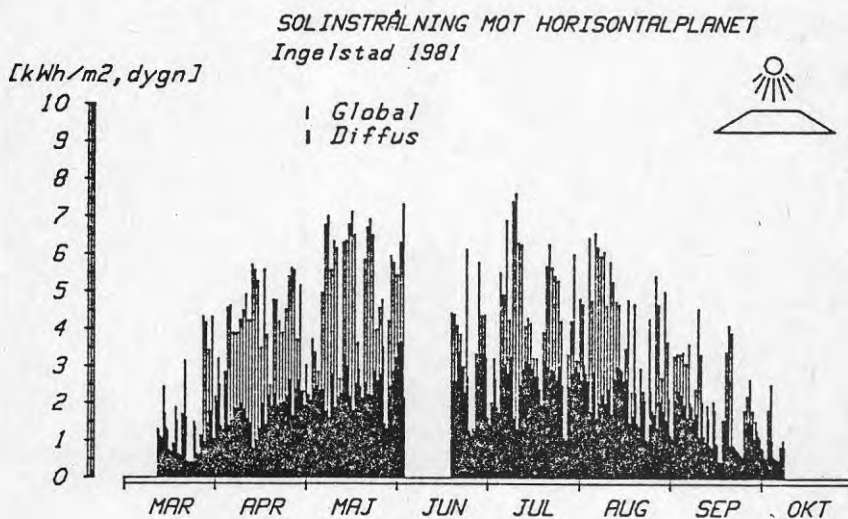
Kunskaper om solförhållandena i Sverige kommer från de observationer som SMHI utför. På ett 30-tal platser i landet mäter SMHI solskenstid. En av dessa platser är Jönköpings flygplats där man mätt i 20-talet år. Bottnaryd är beläget ca 15 km NV om flygplatsen. Uppmätta instrålningsvärden kan därför användas som basdata vid de beräkningar som görs i denna rapport.

Den totala solstrålningen eller globalstrålningen kan delas upp i direkt och diffus strålning.

Tidigare uppfattning (SMHI) om fördelningen mellan diffus och direkt strålning var att 40% skulle vara diffus strålning mot horisontalplanet.

Vid mätningar som utförts vid utvärderingen av solvärmecentralen i Ingelstad, utförda av CTH under ledning av T Jilar, BFR rapport R103:84, har visat att den diffusa strålningen istället är ca 55% av totalstrålningen, se figur 4.1.

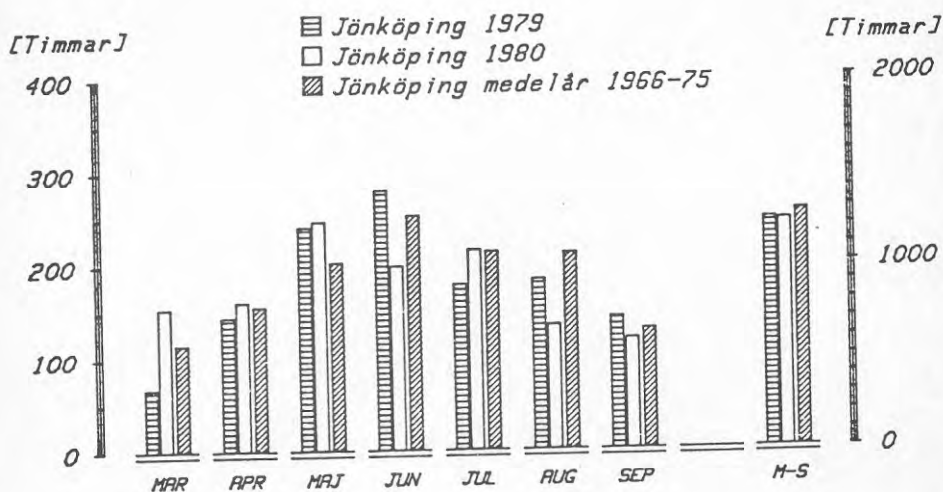
I samband med de beräkningar som utförts i föreliggande studie har dock värdena för totalinstrålning använts. Detta beror på att de temperaturnivåer på inlagrat vatten som ur tekniska skäl anses vara rimliga, se 7.1, kan uppnås med hjälp av plana solfångare. Dessa solfångare tillgodogör sig nämligen såväl direkt som diffus strålning.



Figur 4.1 Solinstrålning mot horisontalplanet

Basdata för beräkning av instrålade energier  $\text{kWh/m}^2$  och år, är den solskenstid som uppmäts under sommarhalvåret mars-sept.

Solskenstiden för Jönköping fördelat per månad under åren 1979 och 1980 samt för medelåret av 1966-1975 redovisas i figur 4.2. Figur 4.2 visar även sammanlagd solskenstid för mars-september.



Figur 4.2 Uppmätt solskenstid SMHI:s mätresultat från Jönköping år 1979, år 1980 och medelåret för tiden 1966-1975

Som tidigare konstateras är de temperaturer på inlagrat vatten av sådan nivå ( $30-40^{\circ}\text{C}$ ) att plana solfångare är det lämpligaste alternativet. Dessa solfångare placeras på en ställning i ett södervänt läge med ett lutande plan av ca  $35^{\circ}$ .

Det värde på solinstrålning som härvid är intressant är alltså den globala instrålningen mot detta plan.

Vid de beräkningar som här utförts har Lui/Jordan metoden använts. För beskrivning av denna metod hänvisas till BFR rapport R103:84.

Följande värden för global instrålning mot söderslänt med 35° lutande plan har beräknats:

<u>Månad</u>	<u>Global instrålning</u> (kwh/m <sup>2</sup> )
Mars	85
April	118
Maj	148
Juni	169
Juli	155
Aug	148
Sept	<u>99</u>
Summa Mars-Sept	923

Beräkningarna har utförts för månaderna mars t o m september eftersom 90-95% av årets totala globalinstrålning erhålls under dessa månader.

För samma period kan även den globala instrålningen för ett horisontellt plan beräknas. I nedanstående tabell har även en uppdelning gjorts mellan direkt och diffus strålning.

<u>Månad</u>	<u>Plan kwh/m<sup>2</sup></u>	<u>Direkt</u>	<u>Diffus</u>
Mars	65	29	36
April	105	50	55
Maj	148	75	73
Juni	180	108	72
Juli	160	83	77
Aug	137	75	62
Sept	81	37	44
SUMMA	876	457	419

Instrålningen mot en horisontell yta under perioden är alltså ca 50 kwh/m<sup>2</sup> mindre jämfört med instrålningen mot ett 35° lutande plan.

Det kan även konstateras att ca 52% av total instrålning är direkt.

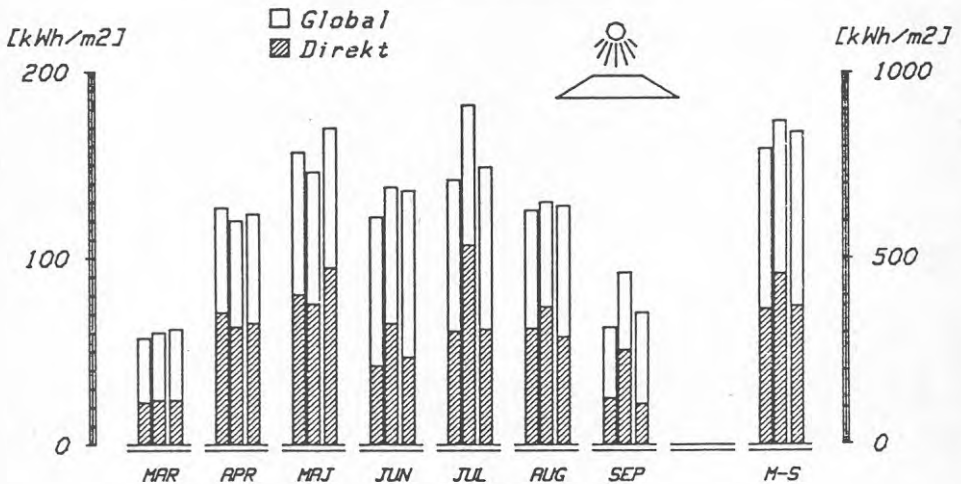
Sammanfattningsvis kan sägas att de beräkningar som utförts visar att global solinstrålning mot ett  $35^\circ$  lutande plan uppgår till drygt  $900 \text{ kWh/m}^2$ .

Som ingångsparametrar för beräkningarna har använts antalet timmar per dygn som solen står över horisonten. Dessa observationer har utförts vid Jönköpings flygplats som är beläget ca 20 km från Bottnaryd.

Nedanstående visar solinstrålning mot horisontalplanet vid mätningar gjorda i Ingelstad (1981, 1982) samt Norrköping 1981. Dessa värden är även representativa för förhållandena i Bottnaryd.

### SOLINSTRÅLNING MOT HORIZONTALPLANET

Ingelstad 81, 82, Norrköping 81



Figur 4.3

Solinstrålning mot horisontalplanet  
Ingelstad 81, 82, Norrköping 81



4.2 Solfångare - teknik och ekonomi

Vid val av solfångare till en anläggning som här studeras är utgående temperaturnivå av avgörande betydelse. Som konstateras under 7.1 och i bilaga 7 är temperaturnivåer på mer än  $30^{\circ}\text{C}$  -  $40^{\circ}\text{C}$  ej möjliga att lagra i den akfiver som här studeras.

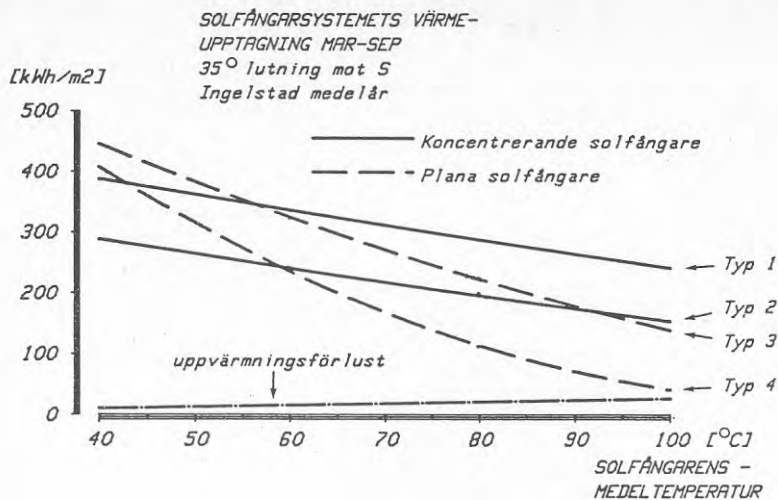
De solfångare som då blir aktuella är plana solfångare av effektiv typ. Senare års forskning har visat att solfångare med en termisk verkningsgrad på 60 - 70 % i aktuell temperaturfält är möjliga. Solfångaren placeras med ca 30 -  $40^{\circ}$  lutning mot söder och tillgodogör sig direkt såväl som diffus strålning.

Nedanstående tabell och diagram visar prestanda för några solfångartyper.

Tabell 4.2.1 Prestandauppgifter för några solfångartyper

Typ av solfångare	$n_0$	$k_0$	$k_1$
1 Linjär parabol (standardprov)	0,70	1,3	$1,7 \cdot 10^{-3}$
2 Linjär parabol (fältprov i Ingelstad)	0,55	1,3	$1,7 \cdot 10^{-3}$
3 Plan l-glas (standardprov)	0,70	2,1	$9,0 \cdot 10^{-3}$
4 Plan l-glas	0,80	3,8	$19,5 \cdot 10^{-3}$

Uppgifterna i tabellen Bör uppfattas som karaktäristiska prestanda vid jämförelser mellan koncentrerande och plana solfångare (1). Uppgifterna 1-2 gäller den i Ingelstadanläggningen använda, koncentrerande typen där 1 refererar till mätningar på en enda solfångarenhet medan 2 refererar till mätningar på hela solfångarfältet med över 400 enheter. Uppgifterna 3 gäller för en plan solfångare av högtemperaturtyp avsedd att användas som ett alternativ till koncentrerande solfångare, dvs vid temperaturer över  $60^{\circ}\text{C}$ . Uppgifterna 4 är typiska för enklare typer av plana solfångare avsedda för användning vid maximalt omkring  $50^{\circ}\text{C}$ .



Figur 4.4. Värmeupptagning som funktion av solfångartemperatur för de solfångare som redovisas i tabell 4.2.1.

Beräkningar avseende årligt energiutbyte har gjorts på två typer av plana solfångare samt lågtemperatursolfångare. Beräkningarna gäller för perioden mars-september.

	Utgående temperatur	30°	Kostnad per m <sup>2</sup>
Plan Solfångare, integrerad typ medeltemperatur 40 - 60°C		500 Kwh	1100 - 1300
Plan Solfångare, högtemperatur >60° på ställning		560 Kwh	1700
Låg temperatursolfångare < 40°		211 Kwh	800 - 1000

Ovanstående beräkningar och kostnader har legat till grund för såväl tekniska som ekonomiska beräkningar som gjorts i studien. Ett exempel på bakgrundsdata för ovanstående beräkningar redovisas i bilagor.

## 5. AKVIFEREN

### 5.1 Geologi

Bottnaryd är belägen i en flera mil lång nord-sydlig gående dalgång. Dalbotten utgörs norr och öster om Bottnaryd av sjön Stråken och söder härom av Nissan.

Vattendragen omgärdas av mäktiga isälvsavlagringar som sträcker sig från Tidaholm i norr till Halmstad i sydväst.

Dalgången var ett betydande dräneringsstråk för smältvatten vid den senaste inlandsisens avsmältning från området. Bildningarna längs dalsidorna har starkt varierande former. I vissa avsnitt bildar avlagringarna flacka slänter och terrasser av olika generationer, medan andra delar består av kullar och utsträckta åsar. Vissa delar har avsatts vid kraftigt strömmande vatten, andra delar har avsatts i lugn sedimentationsmiljö, dvs lugnt strömmande eller stillastående vatten.

De varierande bildningsförhållandena avspeglar sig i materialets kornstorleksfördelning. Avlagringarna byggs till största delen av grus och sand. Linser av silt kan även förekomma. Lera har dock ej påträffats.

Ett flertal stora grustäcker finns i Bottnarydstrakten. Lagerföljdstudier i täkterna visar att avlagringarna till övervägande delen består av stenigt grus och grusig sand. Mindre linser av silt kan ställvis förekomma.

Säsongslagret föreslås få en placering strax öster om Bottnaryd vid riksväg 185. Enligt de seismiska undersökningarna som utförts, se 5.3.1, vilar isälvsavlagringen direkt på berg och underlagras alltså inte av morän. Morän förekommer dock utefter dalsidorna och underlagrar där grusavlagringarna.

Grusavlagringarnas mäktighet är betydande. I mitten av dalgången är mäktigheten ca 25 m. Avlagringen tunnare succesivt ut mot dalsidorna och vid säsongslagret är mäktigheten ca 15 m.

Se vidare bilaga 2 och 3.

### 5.2 Geohydrologiska förhållanden

Vårt lands grundvattentillgångar är till övervägande delen koncentrerade till sand- och grusavlagringar. Så är även fallet med avlagringen i Bottnaryd.

Grundvattenytan är belägen mellan 5 och 10 m under markytan. Akviferens mäktighet varierar mellan 8 m i västra delen av lagret och 12 m i östra delen. Grundvattenytan lutar mot öster. Den naturliga gradienten vid lagret är beräknad till 9 o/oo. Akviferens hydrauliska konduktivitet (permeabilitet) är med ledning av kornstorleksanalyser beräknad till ca  $1 \times 10^{-4}$  m/s.

Lagrets dimensioner har beräknats till 125 x 250 x 10 m, se punkt 7.1. Akviferens naturliga genomströmning i lagrets bredd 125 m är med ledning av ovanstående parametrar beräknad till 8 l/s.

Västersjön, Gårdsjön och Mörtersjön som är belägna Väster och Bottnaryd ligger på nivån +222 m.ö.h.. Sjön Stråken ca 1,5 km öster härom är belägen på nivån +207 m. Det är sannolikt att sjöarna står i hydraulisk kontakt. Grundvattenytan mellan sjöarna har en naturlig gradient av ca 11 o/oo.

### 5.2.1 Säsongslagrets utformning och hydrauliska funktion

Akviferens horisontella och vertikala utbredning medför inga begränsningar för lagrets placering.

Akviferens naturliga flöde i en 125 m bred sektion är beräknad till 8 l/s. För att kunna kontrollera inlagrade vattenvolymer måste det naturliga flödet balanseras. Detta görs med en fembrunnssystem. Se figur 5.2.1 och 5.2.2. Den centrala brunnen fungerar som inlagrings och uttagsbrunn, medan de fyra perifera brunnarna används för kontroll av den naturliga grundvattenströmmen. Avståndet mellan brunnarna tvärs naturlig strömmingsriktning är ca 125 m med avståndet mellan brunnarna längs strömmingsriktningen är ca 250 m.

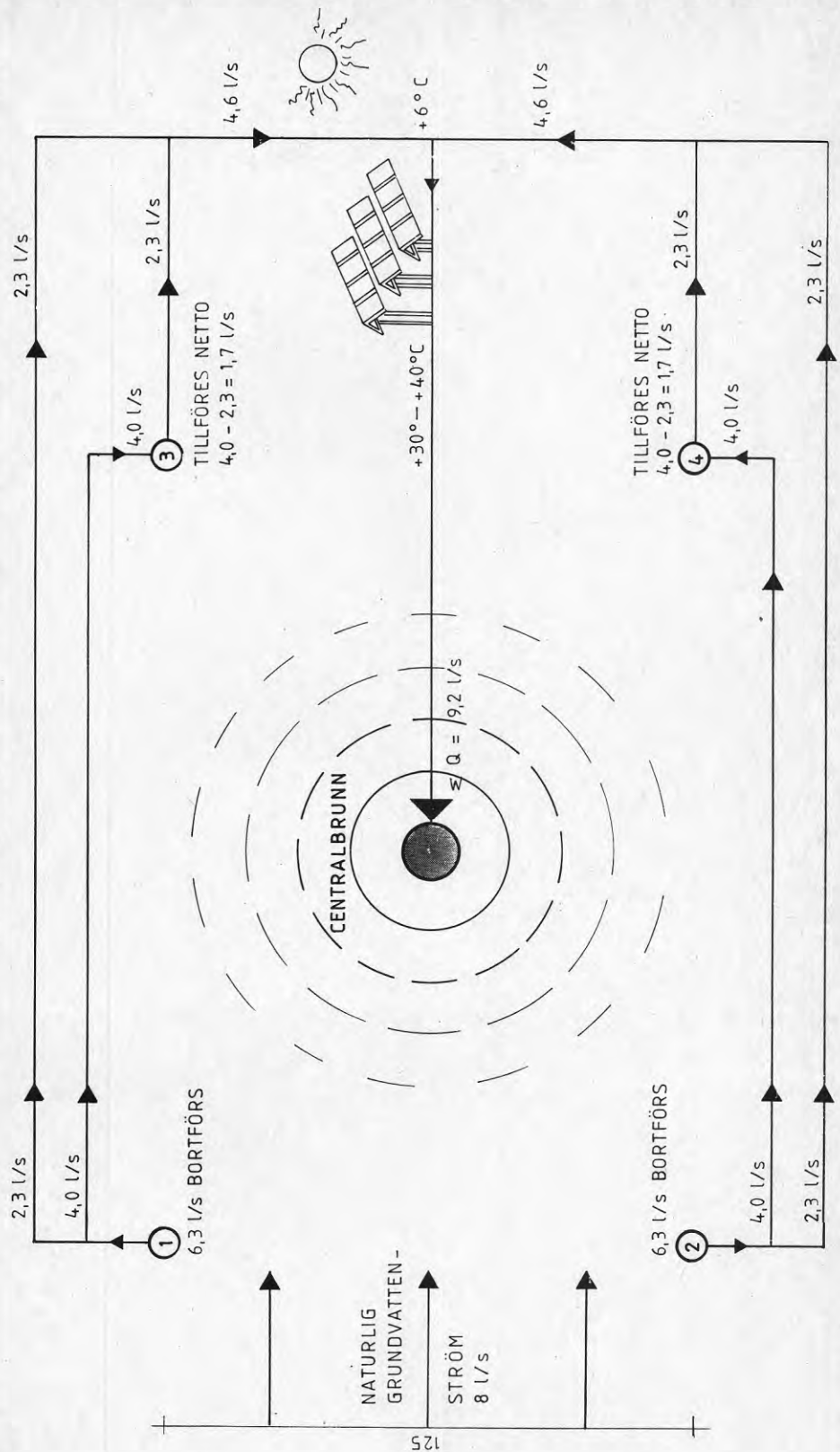
Vid en globalinstrålning på ca  $900 \text{ kWh/m}^2$  under perioden mars till september och en verkningsgrad på solfångarna beräknad till 0,70 blir nettoeffekten  $620 \text{ kWh/m}^2$  under perioden. Detta gäller för en solfångartemperatur av  $+30^\circ\text{C}$ .

Lagrets verkningsgrad har studerats i en termohydraulisk modell, se bilaga 7. Denna visar att vid en inlagrad temperatur av  $+30^\circ\text{C}$  blir temperaturen vid ett uttagsflöde på 9,2 l/s  $+22,5^\circ\text{C}$  efter första laddningsperioden. Vid 5:e året är motsvarande uttagstemperatur  $+24,2^\circ\text{C}$ .

Energibehovet har översiktligt bestämts till 4 200 MWh. Av detta energibehov avses 2 200 MWh säsongslagras. Vid  $+30^\circ\text{C}$  ut från solfångaren erfordras ett flöde av i medeltal 9,2 l/s under laddningsperioden mars - september, vilket motsvarar ett  $t = 25$  till  $30^\circ\text{C}$ .

LADDNING 1/3 - 1/10

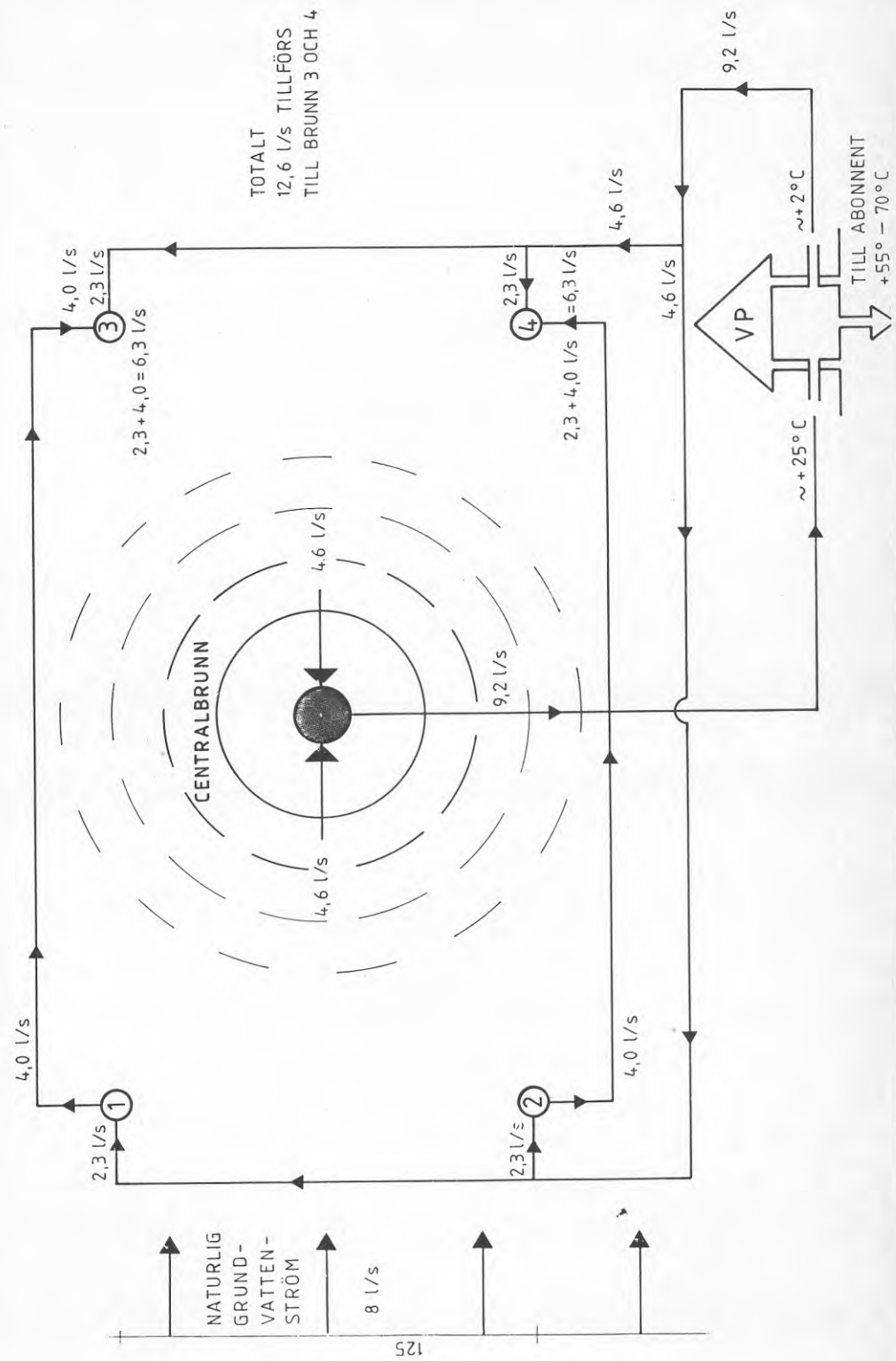
FIG. 5.2.1



URLADDNING 1/10 - 1/3

250

FIG. 5.2.2





### Laddning (figur 5.2.1)

Under laddningsperioden (mars - september) balanseras det naturliga flödet på 8 l/s genom att 4 l/s pumpas från brunn 1 och 2 till brunn 3 och 4. Dessutom pumpas 1/4 av 9.2 l/s från varje brunn till solfångarsystemet. Här uppvärms grundvattnet från dess naturliga temperatur av ca +6°C till 30 - 40°C och infiltreras i centralbrunnen.

### Urladdning (figur 5.2.2)

Under vinterhalvåret vänds riktningen på systemet. Nu pumpas 9.2 l/s till värmepump. Beroende av inlagrad temperatur och förluster kommer lagrat vatten att hålla en temperatur av + 20°C - +30°C. Enligt den termohydrauliska modell som utförts kommer urladdningstemperaturen att variera mellan + 25°C till +21°C vid urladdningsperiodens slut vid inlagrad temperatur av +30°C.

Lagrat vatten pumpas till värmepump där temperaturen sänks till ca + 2°C. Från värmepumpen distribueras ca 45° - 50°C varmvatten till abonnent.

Efter värmepumpen återförs det nu avkylda vattnet till de fyra brunnarna fördelat med 2.3 l/s för varje brunn.

Genom att pumpning av 4 l/s från brunn 1 och 2 till brunn 3 och 4 upprätthålls även under urladdningsperioden är det naturliga grundvattenflödet på 8 l/s balanserat under hela året.

Vid urladdningen innebär detta att 4.6 l/s kommer att tillföras varje periferat brunnspår under hela perioden. På detta sätt upprätthålls ett pulserande system av solfångaruppvärmt vatten som lagras under laddningsperioden och från värmepumpar avkyllt vatten som återförs under urladdningsfasen.

## 5.3

### Utförda undersökningar

Att i detalj utröna en grusavlagrings lagerföljd och kornstorleksfördelning kräver noggranna undersökningar genom borrhningar, sonderingar och seismik. I en förstudie av det slag som här utförts har det ej bedömts nödvändigt att utföra detaljerande jordartsanalyser innan projektets möjligheter till förverkligande bedömts såväl tekniskt som ekonomiskt.

Vi har därför valt att utesluta borrhningar och sonderingar och istället utfört refraktionsseismisk undersökning i två profiler samt enstaka siktanalyser på jordprover från täkter och schakter som ligger ovan akviferen.

### 5.3.1 Seismiska undersökningar

För att bestämma akviferens geometri samt grundvattenytans läge och berggrundens nivå har refraktionsseismisk undersökning utförts i två profiler. Profilernas läge visas på plankartan i skala 1:10 000, se bilaga 1.

Profil 1 i öst-västlig led är 750 m lång. Profilen visar att grundvattenytan ligger mellan 5 och 10 m under markytan och lutar svagt ca 9 o/oo mot öster. Berggrundens nivå varierar från ca 10 m under markytan i västra delen till ca 35 m i den östra. Vid platsen för tänkt lager, mellan 77,5 och 327,5 m från profilens början, ligger bergets överyta mellan 8 och 10 m under grundvattennivån. Täckande skikt ovan grundvattenytan uppgår till ca 6 - 7 m. Berggrundens utseende vid lagret antyder en skålform vilken är hydrauliskt gynnsamt vid det pulserande inlagrings- och uttagssystem som är skisserat ovan.

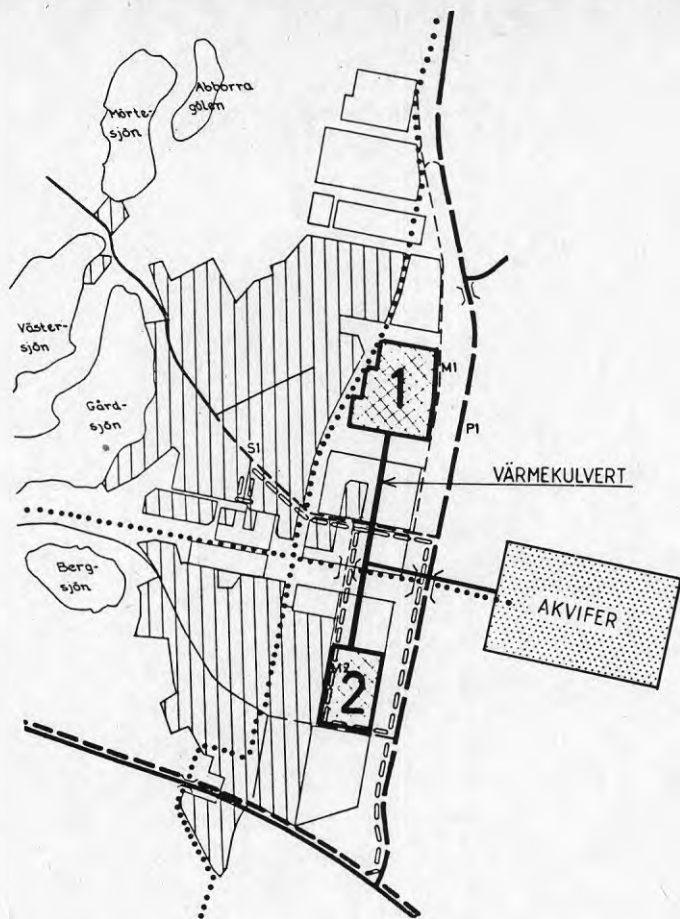
Profil 2 i nord-sydlig riktning är 200 m lång. Profilen utgår från samma 0-punkt som profil 1.

Akviferens höjd är ca 10 m de första 150 meterna och minskar något mot söder. Motsvarande mäktighetsuppgifter gäller även för det täckande skiktet.

## 6. BEFINTLIGT ENERGISYSTEM

### 6.1 Effekt- och energibehov

Vid en inventering av bebyggelseområden i Bottnaryd har två områden med trävaruindustrier valts som lämpliga för anslutning till akviferanläggningen. Med tänkt placering av akviferen får den värmekulvert som måste byggas en längd på ca 800 m (fig 6.1). Energit behovet för lokalvärme i de två områdena är beräknat till 4 200 MWh och betyder att värmekulvertens specifika värmelast ligger på ca 5 MWh/m. Detta kan jämföras med de svenska fjärrvärmenät som finns utbyggda där värmelasten oftast ligger högre än 7 ä 8 MWh/m och där värmeförlusten från kulvertssystemet ligger på i genomsnitt ca 8 % av värmeleveransen. Fler värmeförbrukare behöver alltså anslutas till värmekulverten i Bottnaryd vilket också är möjligt med tanke på industriområdets låga exploatering i dagsläget. På orten finns det f n inget fjärrvärmenät och det finns heller inga planer på anläggning av fjärrvärmenät inom befintliga bostadsområden. Ett fjärrvärmenät inom industriområdena i nära anslutning till akviferen har därför valts som exempel i den här förstudien.

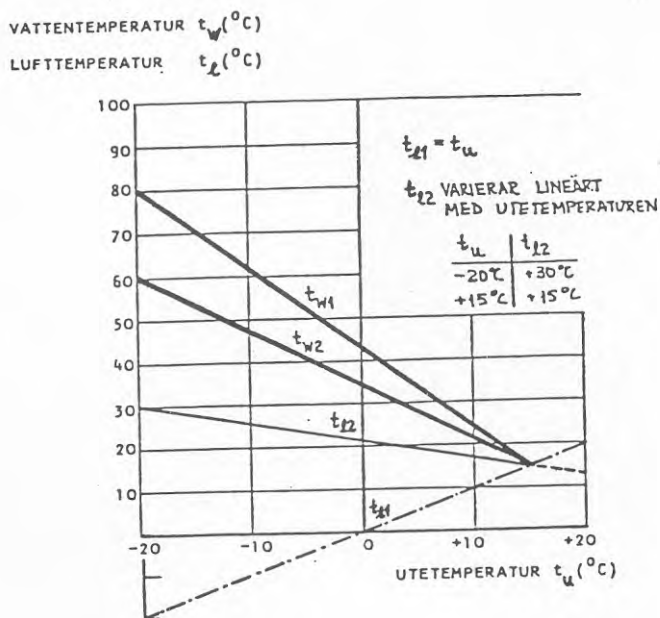


Område	MW	MWh
1	0.3	600
2	1.7	3600

Figur 6.1

Förslag till kommundelsplan för Bottnaryd  
Med tänkt placering av akvifer samt dragning  
av värmekulvert. Energi- och effekt-  
behov för de studerade industriområdena  
anges i figuren.

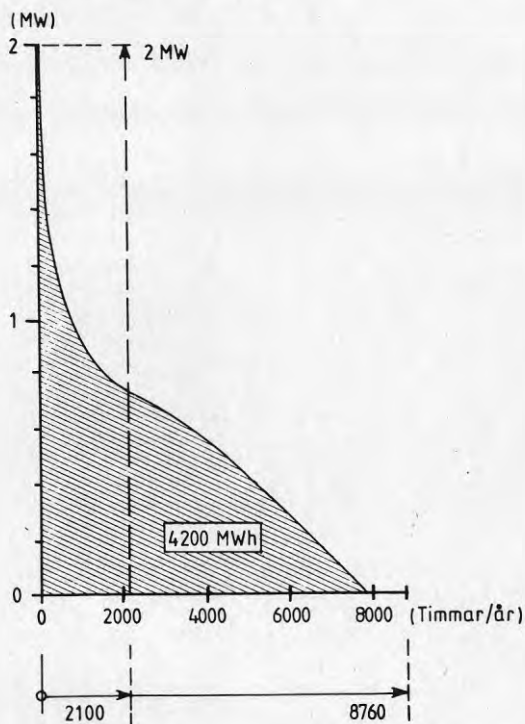
Industrilokalerna antas vara utrustade med luftvärmesystem där vätskebatterierna är dimensionerade för vattentemperaturerna  $80^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$  och utgående lufttemperatur  $30^{\circ}\text{C}$  vid utetemperaturerna  $-20^{\circ}\text{C}$ . Figur 6.2 visar hur vätske- och lufttemperaturerna varierar med utetemperaturen för ett sådant luftvärmesystem.



Figur 6.2 Luftvärmare för värmning av uteluft till en temperatur som varierar linjärt med utetemperaturen. (Från 2 )

Förutsatt att lokalvärmebehovet upp till  $+15^{\circ}\text{C}$  innetemperatur täcks av luftvärmesystemet så ligger dess utnyttjningstid med ortens uteklimat på ca 2 100 timmar (fig 6.3). Ett totalt energibehov på 4 200 MWh motsvarar således ett totalt effektbehov på 2 MW. När värmeproduktionen som i det här fallet antas ske med värmepump där effektkostnaden är relativt hög är det till fördel om den installerade effekten reduceras i förhållande till det totala effektbehovet.

Detta kan göras utan att värmepumpens totala energiproduktion reduceras i nämnvärd grad. Om värmepumpen t ex dimensioneras för 70 % av det totala effektbehovet, d v s 1,4 MW, bortfaller endast ca 3 % av värmebehovet som får täckas på annat sätt, t ex oljeeldad panna. Den tankegången har följts i den här studien när det gäller dimensionering och ekonomisk analys av värmepumpsystem (avsnitt 7.3 och 7.5).



Figur 6.3 Effekt- och energibehov samt utnyttningstid för industriområdets lokalvärme täckt upp till  $+15^{\circ}\text{C}$  innetemperatur.

## 7. VÄRMESYSTEM

### 7.1 Temperaturnivåer - diskussion

De tekniska problem som kan uppkomma vid värmelagring i grundvatten är till avgörande del beroende på temperaturnivåer på inlagrat vatten samt materialets permeabilitet. I det följande diskuteras sådana potentiella problem mot bakgrund av de beräkningar som utförts i samband med föreliggande förstudie.

### Temperaturfrontens kantring och dispersion

Två egenskaper hos vatten som har stor betydelse för dess hydrauliska egenskaper varierar med temperaturen, nämligen dess densitet och viskositet. Detta innebär att en vertikal front mellan en varm och en kall vattenmassa i ett grundvattenmagasin aldrig kan vara stabil.

Det är ett problem att tillföra och uttaga varmvatten i ett grundvattenmagasin och samtidigt sammanhålla en varmvattenmassa som på sidorna omges av kallare vatten. Motsättningarna mellan dessa strävanden tilltar när skillnaden mellan det varma och det kalla vattnets temperatur ökar.

En ursprungligen vertikal värmefront mot en "kall" vattenmassa med normal grundvattentemperatur bedöms således tippa snabbt om grundvattenmagasinet's permeabilitet överstiger ca 10 darcy (storleksordningen  $10^{-4}$  m/s) vid lagringstemperaturen  $60^{\circ}$  och om den överstiger ca 1 darcy (storleksordningen  $10^{-5}$  m/s) vid lagringstemperaturen  $90^{\circ}$ . Vid dessa låga permeabiliteter är det emellertid svårt att utföra brunnar eller andra anordningar som möjliggör tillförsel eller bortförsl av vatten i grundvattenmagasinet i önskad omfattning för ett värmelager.

Vid den termohydrauliska modell som för Bottnarydsakviferen utförts vid LTH har kantringseffekterna med inlagringstemperatur och horisontell permeabilitet som parametrar beräknats enligt följande:

Temp	Horisontell permeabilitet	
	$1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s}$	$4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s}$
$30^{\circ}\text{C}$	119	30
$40^{\circ}\text{C}$	61	15
$80^{\circ}\text{C}$	15	4

Antal dagar innan kantring inträffar på grund av lagringstemperatur och permeabilitet

Beräkningarna visar att permeabiliteter överstigande  $1 \times 10^{-4}$  kraftigt förkortar kantringstiden. Temperaturen är också en kritisk parameter, en höjning från  $+30^{\circ}\text{C}$  till  $+40^{\circ}\text{C}$  halverar kantringstiden.

En konsekvens av dessa resultat är att värmelagring i grundvattenmagasin i relativt högpermeabla sand- och grusavlagringar av det slag man hittills ofta tänkt sig knappast är möjlig över temperaturnivån  $+50^{\circ}\text{C}$ .



Detta gäller även om magasinet avgränsas av tätskärmar eftersom man på grund av densitetsskiktningen i magasinet lätt får kortslutningsströmmar mellan tillförsel- och uttagsanordningarna och därigenom ej effektivt kan utnyttja hela magasinvolymen. Lagring vid höga temperaturnivåer, > ca 30°C, måste således i stället ske i relativt lågpermeabla formationer och då helst i slutna grundvattenmagasin, dvs magasin täckta av täta jordlager, så att övertryck kan erhållas för att möjliggöra skapandet av de stora hydrauliska gradienter som krävs för att det varma vattnet skall kunna tillföras och uttagas.

Den återstående möjligheten att utnyttja relativt högpermeabla grundvattenmagasin, där konstruktion av tillförsel- och uttagsanordningar ej är något avgörande problem, synes vara att sänka temperaturnivån avsevärt och att kombinera utnyttjandet av värmemagasin med värmepumpar.

I ett tidigt skede av här utförd studie förkastades därför idéerna på högtemperaturlagring utan värmepump i energisystemet. Ett beräkningsexempel på detta är att kantringstiden för ett inlagrat vatten på +80°C i en akvifer med permeabiliteten  $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}^2 \text{ s}$  blir endast 4 dagar.

Av detta skäl har huvudvikten i denna studie lagts vid lagringstemperaturen ca 30°C.

#### Värmeförluster

Värmelagring i grundvattenmagasin medför förluster pga värmeledning genom över- och underliggande marklager samt genom blandning mellan lagrat varmvatten och omgivande kallt vatten i en sådan omfattning att en del av den tillförda värmen ej är praktiskt återvinningsbar.

För att undvika mycket stora värmeförluster genom blandning av vatten har i rapporten studerats ett fembrunnssystem med inlagring och uttag i en central brunn. Den naturliga grundvattenströmmen upphävs genom pumpning av vatten från de två brunnarna uppströms till de två brunnarna nedströms. Se kapitel 5.1.

Med detta som bakgrund har en datasimulering gjorts. Se bilaga 7. Beräkningarna visar följande förlustbild vid ett uttagsflöde på 9,2 l/s

Temp	1/10	1/3
1:a året	30°C	21,7°C
3:e året	30°C	22,7°C
5:e året	30°C	24,3°C

Ett uttagsflöde av 12,5 l/s ger följande värden

Temp	1/10	1/3
1:a året	30°C	17,8°C
3:e året	30°C	19,0°C
5:e året	30°C	21,2°C

Största förlusten blir alltså 1:a året vid ett uttag av 12,5 l/s, då 59 % av tillförd energi är kvar efter urlakningsperiodens slut. Förlusterna stabiliserar sig dock vid 70 % 5:e året.

Vid ett uttag av 9,2 l/s blir 72 % kvar efter 1:a året och förlusterna stabiliserar sig vid 81 % det 5:e året. Uttagsflödet är den parameter som starkast påverkar förlusterna. Vid mindre flöden än 9,2 l/s blir förlusterna ändå mindre.

#### Kemiska effekter p g a temeperaturhöjning i grundvatten

Vid kraftigt förhöjda temperaturer på grundvatten kan urladdningsproblem uppkomma. Problemens omfattning och natur styrs av den geologiska miljö akviferen befinner sig i. I här studerad akvifer är problemen små eftersom temperaturen på infiltrerat vatten ej överstiger 30-40°C samt att bergarts materialet inte är sådant att urlakningsproblem uppkommer vid dessa temperaturer.

Jonutlakningstest har utförts av Geologiska institutionen, CTH, på prov från Bottnaryd. Resultatet redovisas i bilaga 5.

## 7.2

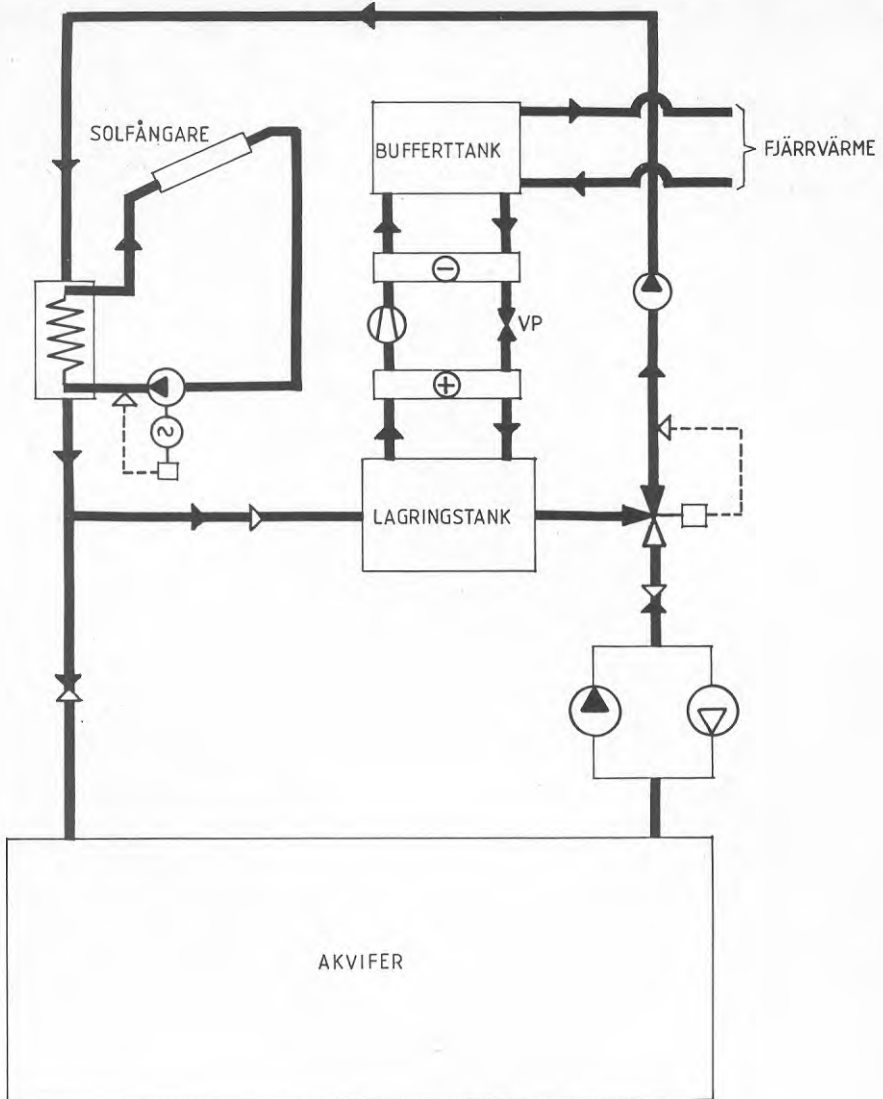
### Värmepump- och solfångarsystem

När det gäller ett akviferlager som ska kombineras med ett värmepump- och solfångarsystem finns det huvudsakligen två systemtekniska principlösningar.

I det första fallet ansluts solfångarsystemet och värmepumpsystemet parallellt till akviferlagret (Fig 7.1). I det fallet kan solfångarsystemet värmeförse både värmepumpsystemet och akviferlagret samtidigt. För att detta ska vara möjligt med tanke på värmepumpens driftförhållanden krävs det dock en betydande lagervolym på förångarsidan, t ex en temperaturskiktad tank av något slag. Det krävs också en ventil med vars hjälp antingen parallell drift av värmepump och solfångare (sommarfallet) eller enbart värmepumpdrift (vinterfallet) kan inställas (Fig 7.1). Eventuellt behövs även reglerutrustning med vars hjälp en låg returtemperatur från värmepumpens lagertank kan hållas för att säkerställa en låg tillloppstemperatur i solfångarkretsen efter inblandning av akvifervatten (sommarfallet).

I det andra fallet ansluts solfångarsystemet, värmepumpsystemet och akviferlagret alla i serie till varandra (Fig 7.2). Solfångarsystemet kan då bara värmeförse akviferlagret som i sin tur värmeförser värmepumpsystemet (vinterfallet). I detta fall blir den systemtekniska lösningen enklare. Det krävs t ex bara en värmeväxlare på värmepumpens förångarsida. Det krävs å andra sidan mer tillskottsvärme i byggnaderna än i det första fallet om laddningen av akviferlagret delvis sker under den tid på året då ett värmebehov föreligger.

Nämnda principlösningar har lagts till grund för den systematiska analysen i den här studien. I det följande presenteras beräkningsförutsättningar och värmetekniska uppgifter för värmepumpsystemet och solfångarsystemet.

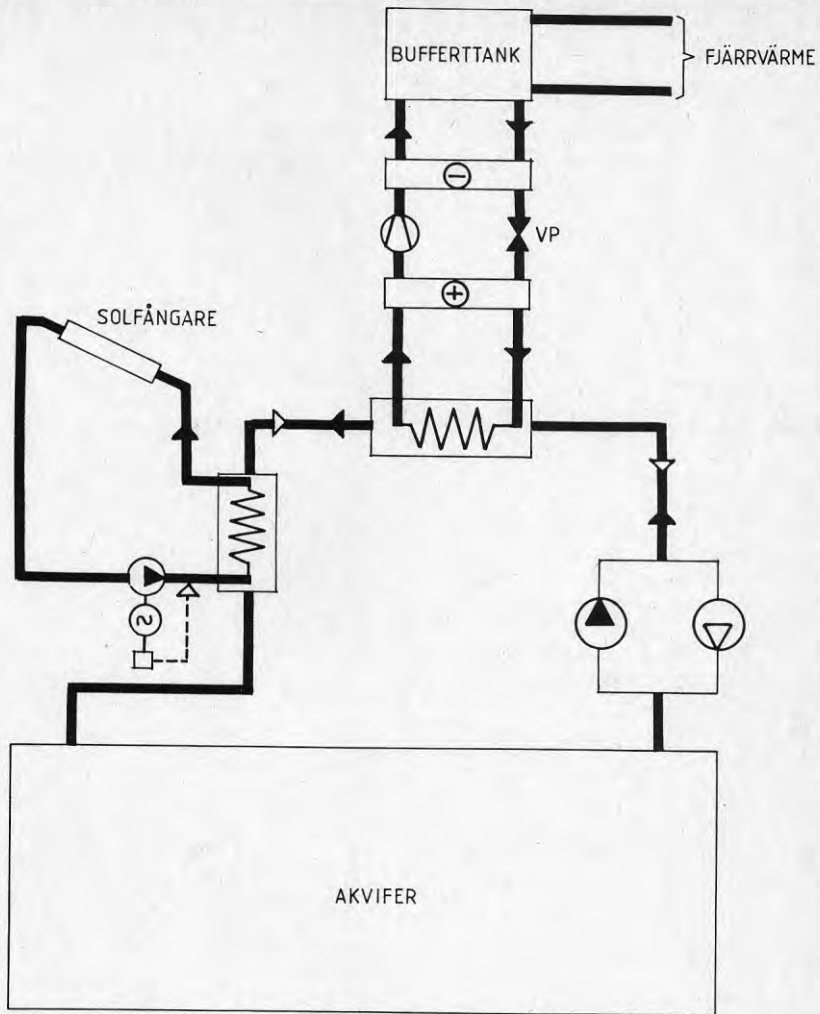


▶ SOMMARDRIFT

▷ VINTERDRIFT

Figur 7.1

Systemteknisk princioplösning med solfångar- och värmepumpsystem parallellt anslutna till akviferlagret.



- SOMMARDRIFT  
 ▷ VINTERDRIFT

Figur 7.2

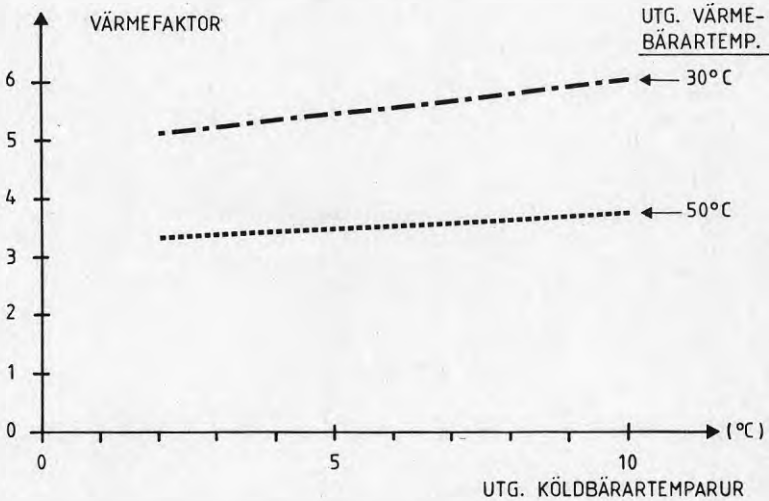
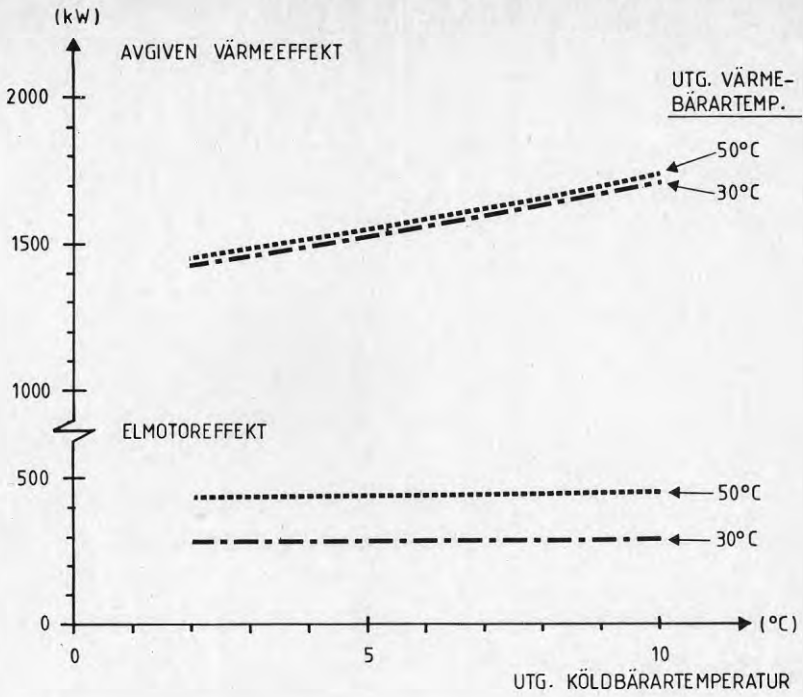
Systemteknisk princioplösning med solfångarsystem, värmepumpsystem och akviferlager anslutna i serie till varandra.

### 7.2.1 Värmepumpsystem

Som värmepumptyp har ett eldrivet aggregat med skruvkompressor valts. Den förutsätts dimensionerad för 1,4 MW avgiven värmeeffekt vid 2°C utgående köldbärartemperatur och 50°C utgående värmebärartemperatur. Högre utgående värmebärartemperatur krävs endast kortvarigt i fjärrvärmenätet. Värmepumpen kräver ett vätskeflöde på förångarsidan som är ca 10 gånger större än det flöde som kan fås från den här aktuella akviferen. Detta leder till att värmeväxling måste ske mellan värmebärar- och akviferkrets (figur 7.2) eller att en tankvolym måste finnas mellan dessa kretsar (figur 7.1). Till följd av detta kommer värmepumpen att på förångarsidan arbeta med lägre temperaturer än temperaturen hos vätskeflödet från akviferen vid urlagring. I fallet med värmeväxlare måste denna utformas som en lågtemperaturförångare, där så pass låg utgående värmebärartemperatur som 2°C tillåts. Värmebärarflödets temperatursänkning ligger vid aktuellt flöde på omkring 3°C.

I figur 7.3 visas värmepumpens avgivna värmeeffekt, tillförda eleffekt samt dess värmefaktor för olika utgående köldbärar- respektive värmebärartemperaturer. Vid alla värmetekniska beräkningar i denna studie har värmepump-prestanda motsvarande 2°C utgående köldbärartemperatur valts. Detta innebär att värmefaktorn underskattats något för fallen med en tankvolym mellan värmebärar- och akviferkrets (figur 7.1). Den underskattningen är dock av underordnad betydelse för slutresultatet.





Figur 7.3

Värmepumpprestanda som funktion av utgående köldbärar- respektive värmebärartemperatur.

För att en god värmepumpdrift skall uppnås krävs ett buffertlager med en viss vattenvolym mellan värmepumpens kondensator och fjärrvärmenätet. En överslagsmässig dimensionering av lagervolymen har gjorts genom följande resonemang. Merparten av fjärrvärmenätets värmeuttag sker vid utomhus-temperaturer mellan omkring  $0^{\circ}\text{C}$  och  $5^{\circ}\text{C}$  (figur 6.3). Fjärrvärmenätets effektbehov ligger då på omkring 700 kW, dvs 50 % av värmepumpens kapacitet på 1 400 kW. Om man förutsätter att värmepumpen alltid går med full effekt, dvs utan kapacitetsreglering, bör den ha en viss, minsta drifttid per start. Detta dels med hänsyn till värmetekniska prestanda och dels med hänsyn till mekanisk förslitning. Här antas tre timmar vara minsta drifttid per start. Vid aktuella utetemperaturer ligger temperaturdifferensen mellan fjärrvärmenätets fram- och returledning på omkring  $10^{\circ}\text{C}$ . Buffertlagrets temperaturvariation blir således  $10^{\circ}\text{C}$ . Detta ger vid 700 kW laddningskapacitet och tre timmars drifttid att drygt  $200\text{ m}^3$  lagervolym krävs. Ett högre värmebehov i fjärrvärmenätet motsvaras av lägre tillgänglig laddningskapacitet för buffertlagret samt längre drifttid per start för värmepumpen och vice versa vid lägre värmebehov i fjärrvärmenätet.

#### 7.2.2 Solfångarsystem

Förutsättningar och beräkningsmetoder för solinstrålning mot lutande solfångarplan har tidigare berörts i avsnitt 4.1. I föreliggande avsnitt behandlas huvudsakligen beräkning av värmeutbyte från solfångarsystem.

Vid framräkning av solinstrålningen mot en solfångare placerad på en viss ort används ortens genomsnittliga solskenstid per månad som ingångsparameter. Vidare ges som indata ortens latitud och longitud, solfångarplanets lutning mot horisontalplanet och dess väderstrecksorientering. Beräkningsresultatet fås i form av instrålningstäthet i solfångarplanet ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) för enskilda timmar under genomsnittsdagens olika månader. Man får således ett antal dagsförlopp som är typiska för den solinstrålning som rent statistiskt kan förväntas varje månad. Det ligger alltså i sakens natur att beräkningsresultatet bäst gäller för ett antal år, säg minst 10, sammantagna och att beräkningen jämfört med verkligheten under ett enstaka år kan visa stora avvikelser. Fleråriga direkta mätningar av solinstrålningen på en del svenska orter tyder på att avvikelsen under ett enstaka år kan uppgå till maximalt - 10 % från genomsnittsvärdet. En variation av samma storleksordning kan förväntas när det gäller de uppgifter om värmeutbyte som presenteras i det följande.

Solfångarsystemet antas anslutet till det övriga systemet via en värmeväxlare. I syfte att konstanthålla temperaturen i utgående vätskeflöde till akviferlagret varierar vätskeflödet i solfångarkretsen alltefter solvärmeupptagningen med hjälp av en varvtalsstyrd pump (figur 7.1, 7.2). Till följd av värmväxlaranslutningen blir solfångarkretsens medeltemperatur något högre än akviferkretsens medeltemperatur. Temperaturskillnaden mellan kretsarna bör vara maximalt  $5^{\circ}\text{C}$  för en normalt dimensionerad värmväxlare. En större försmutsning i den öppna akviferkretsen med dess naturvatten jämfört med helt slutna kretsar i konventionella system kan motivera att  $10^{\circ}\text{C}$  temperaturskillnad mellan solfångar- och akviferkrets väljs vid värmetekniska beräkningar. Med vätsketemperaturerna  $6^{\circ}\text{C}$  respektive  $30^{\circ}\text{C}$  på ömse sidor om värmväxlaren i akviferkretsen fås således vätsketemperaturerna  $16^{\circ}\text{C}$  respektive  $40^{\circ}\text{C}$  i solfångarkretsen. Med det resonemanget som utgångspunkt har solfångartemperaturer mellan  $25^{\circ}\text{C}$  och  $30^{\circ}\text{C}$  valts vid framräkning av solfångarsystemets värmeutbyte. Ett sådant val ger dessutom en viss säkerhet mot ojämn flödesförhållning med pumptröstningen samt ojämn flödesfördelning mellan parallellgrupper i solfångarfältet.

Solvärmeupptagningen har framräknats med hjälp av sambandet:

$$Q_u = A_g \cdot \eta_o \cdot E - A_g \cdot k_o \cdot (\bar{t}_f - t_u) - A_g \cdot k_l \cdot (t_f - t_u)^2 \quad (7:1)$$

Där är

- $Q_u$  = nyttiggjord värmemängd per tidsenhet (W)  
 $A_g$  = solfångarens genomskinliga frontarea ( $\text{m}^2$ )  
 $E$  = global solinstrålning mot solfångarplanet ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  
 $\eta_o$  = solfångarens effektverkningsgrad då solfångartemperaturen = utetemperatur, s k förlustfri verkningsgrad  
 $k_o$  = förlustkoefficient ( $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ )  
 $k_l$  = förlustkoefficient ( $\text{W}/\text{m}^2\text{C}^2$ )  
 $\bar{t}_f$  = värmebärarens medeltemperatur i solfångaren ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $t_u$  = utetemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

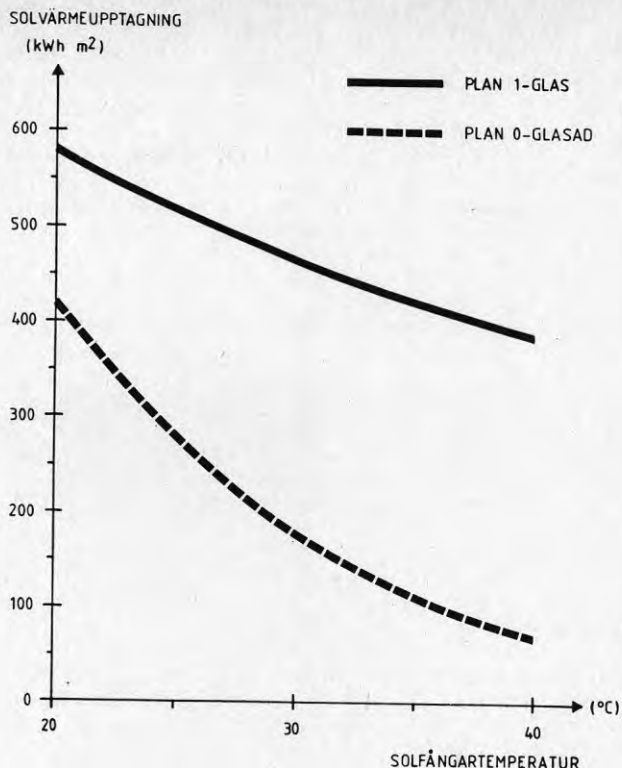
Beräkningar har gjorts för två solfångartyper med parametervärden  $\eta_0$ ,  $k_0$  och  $k_1$  enligt tabell 7.1. Båda solfångartyperna har selektiv absorberbeläggning medan endast en av dem har glastäckning. Solfångartypen med glastäckning används lämpligen vid solfångartemperaturer på maximalt 50°C medan den betydligt enklare oglasade typen knappast används vid temperaturer över 25°C. Den senare är alltså en lågtemperaturtyp och används t ex som takelement i ett system med värmepump och jordvärmelager i Kungsbacka (Lindälvsskolan), där solfångartemperaturerna ligger under 20°C. Den glasade typen används t ex i Lambohovanläggningen med värmepump och värmelager i markgrop. Även här är solfångarna takintegrerade. I fallet tillsammans med akviferlagret i Bottnaryd tänks solfångarna vara uppställda fristående på marken.

Tabell 7.1 Prestandauppgifter för solfångartyper

Typ av solfångare	$\eta_0$	$k_0$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$k_1$ (W/m <sup>2</sup> °C <sup>2</sup> )
1. Plan l-glas selektiv absorbator	0,77	3,36	22 · 10 <sup>-3</sup>
2. Plan oglasad selektiv absorbator	0,68	13	0

För var och en av solfångartyperna har värmeupptagningen mars-september beräknats för ett antal under driftsäsongen konstanta drifttemperaturer. Resultatet framgår av figur 7.4, som visar värmeupptagning som funktion av drifttemperatur. Solfångarnas värmeupptagningskurvor gäller för normalårets solinstrålning i Bottnaryd, beräknad med hjälp av Jönköpings statistik över solskenstid. Solfångarna har förutsatts vara vända mot söder och luta 35° mot horisontalplanet.

Figur 7.4 visar t ex att 30°C drifttemperatur motsvarar en värmeupptagning på omkring 500 kWh/m<sup>2</sup> för solfångartyp 1 (l-glas) och på omkring 200 kWh/m<sup>2</sup> för solfångartyp 2 (oglasad). Vid 25°C drifttemperatur är motsvarande uppgifter ca 530 kWh/m<sup>2</sup> respektive 315 kWh/m<sup>2</sup>. En låg drifttemperatur är alltså speciellt viktig i fallet med solfångartyp 2 för att dennas värmeupptagning skall bli någorlunda god. I det fallet är följaktligen dimensioneringen av solfångarsystemets vätskeflöden och dess värmväxlare av väsentlig betydelse för effektiviteten.



Figur 7.4 Värmeupptagningen mars-september som funktion av solfångartemperaturen för de solfångare som redovisas i tabell 7.1.

### 7.3 Hela anläggningen

I det här avsnittet presenteras beräkningsförutsättningar och resultat för några olika varianter när det gäller hela anläggningens systemtekniska utformning och drift.

#### 7.3.1 Beräkningsförutsättningar

Den systemtekniska analysen omfattar totalt tre olika systemvarianter, vilka har valts utgående från principlösningarna enligt figur 7.1 och 7.2.

##### Systemvariant 1

Solfångar- och värmepumpsystem är parallellt anslutna till akviferlagret (figur 7.1). På värmepumpens förångarsida finns en större, temperaturskiktad tank. Mellan värmepumpens kondensator och fjärrvärmenätet finns en bufferttank med 200 m<sup>3</sup> vattenvolym.

Under akviferlagrets laddningsperiod mars-september överförs solvärme även direkt till fjärrvärmenätet då värmebehov finns (mars, april, maj, september). En överslagsmässig beräkning enligt den s k f-chartmetoden för solvärmesystem visar att ca 1 000 m<sup>3</sup> vattenvolym behövs på värmepumpens förångarsida för att 80 % av fjärrvärmenätets värmebehov nämnda period skall täckas av solvärme. Detta förutsatt att 30°C temperaturvariation utnyttjas i tankvolymen, vilket ungefärligt blir fallet vid 30°C utgående temperatur från solfångarkretsen samt 2°C utgående köldbärartemperatur från värmepumpen.

Enligt den termohydrauliska studien för Bottnarydsakviferen utförd vid LTH (se bilaga 7) ligger den totala värmeförlusten på ca 220 MWh vid aktuell drifttemperatur.

Förutsatt 2°C utgående köldbärartemperatur från värmepumpen samt 6°C grundvattentemperatur ligger det naturliga värmetillskottet på ca 320 MWh. Den värmemängden behöver alltså ej tillföras akviferen från solfångarsystemet.

Akviferlagret urladdas under oktober-februari, då vätskeflödets riktning i akviferkretsen omkastas.

#### Systemvariant 2

Solfångarsystem, värmepumpsystem och akviferlager är anslutna i serie till varandra (figur 7.2). Mellan värmepumpens förångare och akviferkretsen finns en värmeväxlare. På kondensorsidan är utförandet identiskt med systemvariant 1.

Akviferens värmeförlust respektive naturvärmetillskott motsvarar dessa för systemvariant 1. Akviferlagret laddas under mars-september och urladdas resten av året. Under laddningsperioden antas byggnaderna lokalt få tillskottsvärme genom t ex oljeeldning eller el.

#### Systemvariant 3

Solfångarsystem, värmepumpsystem och akviferlager är anslutna i serie till varandra (figur 7.2). På den punkten, liksom i övrigt, är den systemtekniska principlösningen identisk med systemvariant 2.

Akviferlagret laddas från mitten av maj till mitten av september och urladdas resten av året. Akviferens värmeförlust respektive naturvärmetillskott är beräknade med utgångspunkt från dessa för systemvariant 1. En proportionering baserad på urladdningsperiodens längd ger ca 310 MWh värmeförlust samt ca 450 MWh naturvärmetillskott.



7.3.2 Beräkningsresultat

Fjärrvärmenätets totala energibehov på 4 200 MWh har fördelats på respektive månad under uppvärmningssäsongen med hjälp av SMHI:s statistik över utetemperaturen i Jönköping. Energibehoven redovisas i tabell 7.2 tillsammans med erforderlig kylmängd respektive elförsörjning för värmepumpen. De två senare storheterna är framräknade med hjälp av värmefaktorer enl figur 7.3. I samtliga fall har 2°C utgående köldbärartemperatur valts. Utgående värmebärartemperaturer har valts med hänsyn till erforderlig framledningstemperatur i fjärrvärmenätet enligt figur 6.2.

Tabell 7.2 Fjärrvärmenätets energibehov samt erforderlig kylmängd respektive elförsörjning för värmepumpen

MÅNAD	FJÄRRVÄRME		VÄRMEPUMP			
	Energibehov (MWh)	Utg köldbärartemp (°C)	Utg värmebärartemp (°C)	Värmefaktor	Kylmängd (MWh)	Elbehov (MWh)
Sep	160	2	22	5	128	32
Okt	336	2	32	5	269	67
Nov	483	2	40	4	363	120
Dec	584	2	45	3,6	422	162
Jan	689	2	50	3,3	480	209
Feb	693	2	50	3,3	483	210
Mar	601	2	45	3,6	434	167
Apr	412	2	35	4,5	320	92
Maj	239	2	25	5	191	48
Sep-maj	4 200			3,8	3 090	1 110

När det gäller solfångare har systemvariant 1 antagits vara utrustad med solfångartyp 1 (1-glas) medan övriga två systemvarianter antagits vara utrustade antingen med solfångartyp 1 eller med solfångartyp 2 (oglasad). Anledningen är att solfångartyp 2 i systemvariant 1 beräkningsmässigt ger ett alldeles för lågt värmeutbyte vid direkt solvärmeleverans till fjärrvärmenätet.

Erforderlig solvärmeproduktion och motsvarande solfångararea för de olika systemvarianterna redovisas i tabell 7.3. Tabellen upptar även total värmeproduktion och totalt elbehov för värmepumpen samt totalt tillskottsvärmebehov från annan värmeproduktion.

Tabell 7.3 Erforderlig solvärmeproduktion, total värmeproduktion och totalt elbehov för värmepumpen samt tillskottsvärmebehov från annan värmeproduktion (olja, el, etc)

	SYSTEMVARIANT				
	1	2	2a	3	3a
SOLFÅNGARTYP	1-glas	1-glas	Oglasad	1-glas	Oglasad
SOLFÅNGARAREAA (m <sup>2</sup> )	5 560	3 840	6 100	7 110	10 200
SOLVÄRMEPROD (kWh/m <sup>2</sup> )	500	500	315	415	290
(MWh)	2 780	1 920	1 920	2 950	2 950
VP:s VÄRMEPROD (MWh)	3 920	2 790	2 790	4 200	4 200
VP:s ELBEHOV (MWh)	1 040	770	770	1 110	1 110
TILLSKOTTSVÄRME- BEHOV (MWh)	280	1 410	1 410	0	0
(%)	7	34	34	0	0

Det vattenflöde som till- respektive bortförs vid akviferens värmeuppladdning respektive värmeurladdning har sitt intresse främst när det gäller s k kantringseffekter (kapitel 7.1). Beräknat maximalt urlagringsflöde ligger på ca 8 l/s som månadsmedelvärde för alla systemvarianter. Det maximala inlagringsflödet beräknat som högsta månadsmedelvärde varierar däremot systemvarianterna emellan beroende dels på att olika solfångartyper används och dels på att inlagringsperioden är olika lång. Maximalt inlagringsflöde ligger på ca 5, 7, 10 respektive 12 l/s för systemvarianterna 1, 2a, 3 respektive 3a. Enligt den termohydrauliska studien för Bottnarydsakviferen utförd vid LTH (se bilaga 7), ger ett vätskeflöde på ca 9 l/s, i kombination med 30°C inlagringstemperatur, en ganska tillfredsställande säkerhet mot alltför stor frontkantring och därav följande värmeförlust. Observeras bör att ovan angivna maximala inlagringsflöden representerar månadsmedelvärden. Dessa överskrids alltså vid den verkliga inlagringen under dagtid.

## 7.4 Översiktlig ekonomisk kalkyl

Nedan presenteras beräkningsförutsättningar och resultat när det gäller ekonomin för de olika systemvarianterna enligt avsnitt 7.4.

### 7.4.1 Beräkningsförutsättningar

Beräkning av värmeproduktionskostnaden för akviferanläggningen har gjorts med hjälp av en nuvärdesmetod som är principiellt likvärdig med beräkning av den s k besparingskostnaden. Den senare brukar användas som värderingsmått vid statsmaktens prioritering av åtgärdstyper och centrala resursstyrning för energihushållning i byggnadsbeståndet.

Värmeproduktionskostnaden,  $K_{\text{värme}}$ , beräknas enligt följande samband, där skilda brukstider för olika anläggningsdelar tas med i bilden:

$$K_{\text{värme}} = \frac{I_0 + I_1 + P_1' \cdot I_1 + P_1 \cdot U + P_2 \cdot W}{P_3 \cdot Q} \quad (7:2)$$

Där är:

- $I_0$  = investering i anläggningsdelen med lång brukstid (kr)
- $n$  = brukstid för anläggningsdelen med lång brukstid (år)
- $I_1$  = investering i anläggningsdelen med kort brukstid (kr)
- $m$  = brukstid för anläggningsdelen med kort brukstid (år)
- $U$  = årlig underhållskostnad (kr/år)
- $W$  = årlig kostnad för elektrisk drivenergi (kr/år)
- $Q$  = den årligen producerade värmeenergin från akviferanläggningen (kWh/år)
- $P_1' = (1 + r)^{-m}$

$$P_1 = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^n}{\frac{r}{1+r}}$$

$$P_2 = \frac{1 - \left(\frac{1+w}{1+r}\right)^n}{\frac{r-w}{1+r}}$$

$$P_3 = \frac{1 - \left(\frac{1+q}{1+r}\right)^n}{\frac{r-q}{1+r}}$$

r = real kalkylränta (%/100)

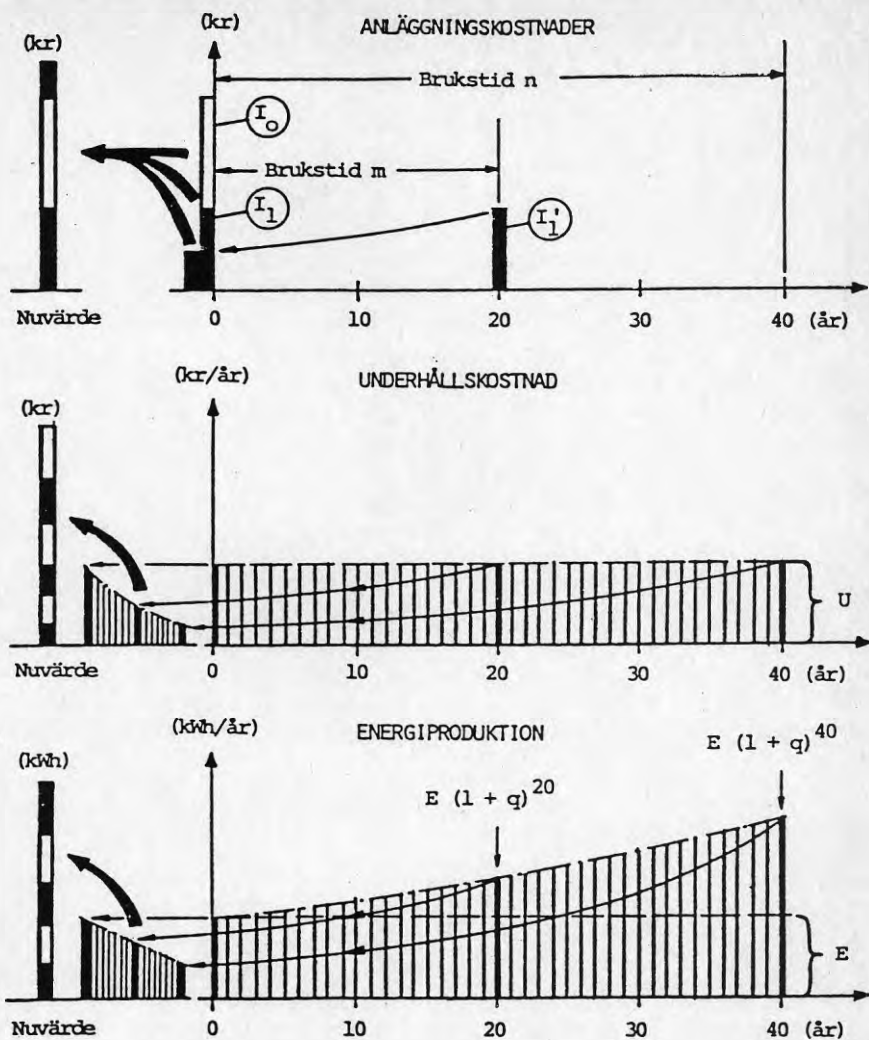
w = real årlig ändring av elpriset (%/100)

q = real årlig ändring av värmepriset (%/100)

Akviferlagrets brukstid har satts till 40 år medan brukstiden för övriga anläggningsdelar har satts till 20 år.

Detta innebär att solfångarsystem och all VVS-utrustning byts mot ny utrustning efter 20 års användning. Vid beräkning av nuvärdesfaktorerna  $P_1$ ,  $P_1'$ ,  $P_2$  och  $P_3$  har den reala kalkylräntan satts till 4 % och den årliga, reala ändringen av värmepriset satts till 2 %. Värmepriset antas här vara kopplat till oljepriset. Den reala, årliga ändringen av elpriset har satts till 0 %, d v s oförändrat svenskt elpris i fast penningvärde räknat.

Beräkning av värmeproduktionskostnaden enligt samband (7:2) åskådliggörs grafiskt i figur 7.5.



Figur 7.5

Beräkning av värmeproduktionskostnaden enligt nuvärdeskriteriet för ett fall med både engångsinvestering ( $I_0$ ) och återkommande investering ( $I_1$  och  $I_1'$ ) samt årliga underhållskostnader ( $U$ ) för en energiproducerande åtgärd. Realvärdet för den årliga energiproduktionen ( $Q$ ) ökar med  $q$  % per år (från (1)).

Som ett alternativ till kalkylen med nuvärdesmetoden har också en kalkyl med pay-off metoden gjorts. Pay-offtiden  $T$  beräknas enligt följande samband:

$$T = \frac{I_{\text{tot}}}{B_0 - W - U} \quad (7:3)$$

Där är:

- $I_{\text{tot}}$  = total investering, d v s investering i solfångarsystem, akvifer, värmepumpsystem och värmelagringstankar (kr)
- $B_0$  = värde av årlig oljebesparing (kr/år)
- $W$  = årlig kostnad för elektrisk drivenergi (kr/år)
- $U$  = årlig underhållskostnad (kr/år)

När det gäller anläggningskostnader är det naturligtvis svårt att få fram helt säkra uppgifter för alla delar i en anläggning av aktuellt slag. En hel del kostnadsbedömningar måste alltså göras där man dock delvis kan grunda sig på hittills gjorda erfarenheter av ny teknik för byggnadsuppvärmning.

Det har t ex under de allra senaste åren byggts en del större solfångaranläggningar anslutna till värmecentraler och även direkt till fjärrvärmenät där kostnaderna successivt sänkts. Detta genom ett allt enklare VVS-tekniskt utförande och billigare solfångare med rationellt montage. För de två solfångartyper som ingår i föreliggande studie, d v s den med glastäckning (typ 1) respektive den oglasade (typ 2), ligger dagens kostnader på omkring 1 250 kr/m<sup>2</sup> respektive 950 kr/m<sup>2</sup>.

Angivna kostnader gäller för en komplett solfångaranläggning färdig att tas i drift. En så pass låg kostnadsnivå kräver att en någorlunda stor solfångaranläggning byggs, säg minst 2 500 à 3 000 m<sup>2</sup> solfångararea.

När det gäller anläggningskostnaden för den typ av större värmelagringstank som ingår i systemvariant 1 kan man stödja sig på en del svenska erfarenheter från projektering och byggande av säsongsvärmelager. Kostnader för t ex värmeisolerande markgropar presenteras i ( 3 ), ( 4 ) och ( 5 ). Kostnadsuppgifterna sammantagna pekar mot att det bör vara möjligt att bygga en 1 000 m<sup>3</sup> stor markgrop i någorlunda lättgrävd mark för omkring 500 kr/m<sup>3</sup>. I dagsläget är en isolerad ståltank i den storleksklassen dyrare, men kan kanske med rationell elementbyggnadsteknik bli ett kokurrenskraftigt alternativ till markgropen.

För den typ av bufferttank som ingår i samtliga systemvarianter ligger det närmast till hands att välja en ståltank. Kostnaden för en eller kanske flera seriekopplade tankar med 200 m<sup>3</sup> sammanlagd volym bör ligga på omkring 4 000 kr/m<sup>3</sup> i dagsläget.



För ett eldrivet värmepumpaggregat med naturvatten som värme-källa kan tämligen säkra marknadspriser fås. Den här aktuella värmepumpen på 1,4 MW avgiven värmeeffekt bör enligt marknads-uppgifterna kosta omkring 2 000 kr/kW.

Totalkostnaden för all i anläggningen ingående VVS-utrustning och elteknisk utrustning har framtagits helt schablonmässigt. Detta har gjorts med stöd av erfarenheter från större svenska solvärmesystem, där den VVS-tekniska utformningen oftast skiljer sig från utformningen i mer konventionella värmear-läggningar. Kostnaden har beräknats som 6 % av den samman-lagda anläggningskostnaden för solfångarsystem, akviferlager, värmepumpsystem och värmelagringstankar. Likaså har den år-liga underhållskostnaden beräknats schablonmässigt. Den har antagits utgöra 2 % av samtliga anläggningskostnader samman-tagna.

Kostnaden för elektrisk drivenergi har satts till 250 kr/MWh. Kostnaden för eldningsolja (Eol) har valts efter prisnivån i april 1984 i mellansverige som var 2 650 kr/m<sup>3</sup>.

#### 7.4.2

##### Kalkylresultat

I tabell 7.5 redovisas alla anläggnings- och driftkostnader för de olika systemvarianterna. Slutliga värmeproduktions-kostnader presenteras i tabell 7.4.

Värmekostnaderna kan t ex jämföras med dagens värmekostnad för oljeeldning med eldningsolja (Eol) som ligger på ca 0,31 kr/kWh vid 85 % pannverkningsgrad. Man kan konstatera att den lägsta värmekostnaden för akviferanläggningen (system-variant 1) ligger ca 15 % under värmekostnaden för olje-eldning). Vidare ligger den högsta värmekostnaden (system-variant 2a) helt i nivå med värmekostnaden för oljeeldning. Förutsatt en 2 %-ig real, årlig ökning av oljepriset, blir värmekostnaden för oljeeldning ca 0,38 kr/kWh om 10 år, vilket gör akviferanläggningens dyrare varianter mer intres-santa.

Som framgår av tabell 7.4 skiljer sig värmeproduktionskost-naderna relativt lite åt mellan de olika systemvarianterna. Ett val av den lämpligaste varianten kan därför göras med lika stor hänsyn till system- och funktionstekniska som till ekonomiska aspekter. Det är troligt att valet faller på någon av de dyrare systemvarianterna 2 och 3 vid en eventuell projektering. Detta med tanke på den enklare systemtekniska lösningen för dessa varianter jämfört med variant 1. Vad som ytterligare talar för systemvarianterna 2 och 3 är den större säkerhet varmed solvärmesystemet kan förberäknas och solfångaranläggningen kan dimensioneras för dessa varianter jämfört med variant 1. Liknande aspekter kan läggas på lämpligast val av solfångartyp. Val av sol-fångartyp 1 (glasad) ställer jämfört med ett val av sol-fångartyp 2 (oglasad) mindre krav på precision vid dimen-sionering av solfångarsystemets VVS-tekniska utrustning.

Tabell 7.4 Värmeproduktionskostnader och pay-offtider  
(systemvarianter, se tabell 7.3)

	SYSTEMVARIANT				
	1	2	2a	3	3a
VÄRMEPRODUKTIONS- KOSTNAD (kr/kWh)	0,26	0,28	0,31	0,27	0,29

Som jämförelse till systemvarianterna, där solfångare används för akviferlagring kan det allra enklast tänkbara systemet studeras. I det fallet sker akvifervärmelagringen med hjälp av sommarvarmt ytvatten från sjön Stråken ca 1 km från akviferen. Där finns god tillgång på vatten för inpumpning i akviferen, vilket ej förutsätts för systemvarianterna behandlade i den här studien. Rent ekonomiskt bortfaller alltså kostnaden för solfångare medan akviferen bör bli något dyrare, säg 1 500 kkr istället för 1 000 kkr. Tekniskt beror kostnadsfördyringen dels på att större vattenmängder måste pumpas till och från akviferen vars temperatur varierar mellan ca 2°C och 15°C, vilket kräver större brunnar, rör, etc, och dels på att långa rörledningar kan krävas mellan sjö och akvifer. För ett fall med 100 % av fjärrvärmenätets värmeförsörjning från akviferanläggningen bör anläggnings- och driftkostnaderna i övrigt överensstämma med dessa för systemvariant 3 enligt tabell 7.5 Underhållskostnaden minskar dock till ca 120 kkr och 2 %-schablonen enligt tidigare används.

Som slutresultat fås en värmeproduktionskostnad på 0,14 kr/kkWh att jämföra med här studerad anläggning med värmeproduktionskostnader på mellan 0,26 och 0,31 kr.

Tabell 7.5 Anläggnings- och driftkostnader (system-  
varianter, se tabell 7.3)

	SYSTEMVARIANT				
	1	2	2a	3	3a
SOLFÅNGARSYSTEM (kkr)	6 950	4 800	5 800	8 890	9 690
AKVIFER (kkr)	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
VÄRMEPUMPSYSTEM INKL LAGRINGS- TANKAR (kkr)	4 100	3 600	3 600	3 600	3 600
VVS- OCH EL- UTRUSTNING (kkr)	720	560	620	800	860
TOTAL ANLÄGGNINGS- KOSTNAD (kkr)	12 770	9 960	11 020	14 290	15 150
UNDERHÅLLS- KOSTNAD (kkr/år)	255	200	220	290	300
ELKOSTNAD (kkr/år)	260	190	190	280	280

## 8. SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER

### 8.1 Resultat för Bottnarydsakviferen

Den undersökta akviferen är flera mil lång och ca 1 km bred. Området där lagret föreslås placeras är undersökt med hjälp av refraktionsseismik.

Akviferen är ca 10 m mäktig. Ovan grundvattenytan är jordmäktigheten 5-10 m. Genomsläppligheten  $k$  varierar mellan  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s och  $4 \cdot 10^{-4}$  m/s i den övervägande delen av akviferen. Enstaka linser av finkornigt material förekommer ställvis. Genomsläppligheten är i dessa ca  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s. Den naturliga grundvattenströmmen är ca 8 l/s i lagrets bredd (125 m).

Vid infiltration/injektering av uppvärmt vatten till en akvifer är förlusterna till omgivande grundvatten, till underlagrande jord/berg samt mot markytan ett stort problem. Ett annat avgörande problem för förlustbildningen är temperaturfrontens kantring. Denna kantring beror på inlagrad temperatur samt jordmaterialets genomsläpplighet. Ju högre temperatur och genomsläpplighet desto större och snabbare kantring.

Sammanfattningsvis kan förlust- och kantringsproblemen i Bottnarydsakviferen beskrivas enligt följande. Med de värden på genomsläpplighet ( $k$ ) som gäller i akviferen, bör inlagrad temperatur inte nå över ca  $+30^{\circ}\text{C}$  om kantringen under lagringsperioden inte skall bli stor. Redan vid  $+40^{\circ}\text{C}$  halveras kantringstiden. Det kan också konstateras att förlusterna inte blir alltför höga vid temperaturer kring  $+30^{\circ}\text{C}$ . Efter fem laddningscykler kommer ca 80 % av inlagrad energi vara kvar vid lagringsfasens slut. Detta gäller vid ett uttagsflöde av ca 9 l/s. Se vidare bilaga Nr 7.

Den naturliga grundvattenströmmens effekt upphävs med ett pulserande fembrunnssystem med inlagring och uttag i centralbrunnen. Vidare kan konstateras att geokemiska problem, typ jonurlakning, inte kommer att ske vid ovan nämnda temperaturer.

Maximal inlagringstemperatur på  $30^{\circ}\text{C}$ - $40^{\circ}\text{C}$  innebär att urvalet av solfångaretyper blir begränsat. Valet står emellan oglasad lågtemperatursolfångare och glasad medeltemperatur-solfångare. Se vidare punkt 7.2

Vald temperaturnivå gör också att ett energisystem måste bestå av en värmepump. Här föreslagna energisystem är samtliga baserade på en värmepump med olika täckningsgrader. Värmepumpar av aktuell storleksklass kräver väsentligt större flöden på förångarsidan än det flöde som kan fås från akviferen. Värmeväxling är därför nödvändig vilket gör att värmepumpen arbetar med lägre temperatur än temperaturen hos urlagringsflödet.

Slutligen kan man konstatera att Bottnarydsakviferen ur teknisk synvinkel är lämpad för säsongslagring enligt förstudiens intentioner. Flera systemlösningar är möjliga till något varierande kostnader.

Ekonomiskt sett har förstudien visat att energi kan produceras i en akviferanläggning till en kostnad av 0,25-0,30 kr/kWh. Detta bör jämföras med direkt grundvattenvärme som kan produceras till en kostnad av 0,14 kr/kWh. Förutsättningen är då att sommarvarmt ytvatten från sjön Stråken infiltreras i akviferen. Se vidare 7.4 och 8.3.

## 8.2

### Systemets nationella potential

Vårt lands grundvattentillgångar är till stor del koncentrerade till grus- och sandavlagringar. En del av dessa avlagringar är dessutom belägna i närheten av ytvattendrag. Därvid kan grundvattentillgången förstärkas med infiltration av ytvatten. Potentialen för denna typ av system har beräknats i BFR-rapporten R66:1983.

Det system som studerats i föreliggande rapport riktar sig mot avlagringar med begränsad grundvattentillgång som inte kan förstärkas med annan vattentillgång. Enda sättet att öka en sådan avlagrings kapacitet är alltså att höja temperaturen på vattenmassan, exempelvis via solfångare.

Temperaturnivån måste i detta fall nå 25-30°C för att uppnå önskvärda värden på t. Det är därför inte tillräckligt med temperaturer på naturligt grundvatten (ca 5-8°C) eller ytvatten (max ca 15°C). Även andra lösningar, såsom vindkonvektorer (ca 15°C), ger i detta fall för låga temperaturer.

Genom att kombinera laddning med hjälp av solfångare och maximalt utnyttjande av grundvattentillgången (pumpa ur magasinet vintertid) kan även mycket små grundvattentillgångar ge sådana effekter att de är intressanta som värmekälla för exempelvis en mindre gruppcentral.

Ur teknisk synvinkel är i denna rapport studerat system intressant för små samhällen och industrier som är belägna på isälvsavlagringar utan närhet till annat vattendrag med tillräcklig uttagbar värmekapacitet.

Ur ekonomisk synvinkel är systemet med dagens prisbild mera tveksamt. För att solfångare och akvifer skall kunna kombineras med lönsamhet krävs i första hand att priset på solfångarna kraftigt reduceras. Av kapitel 7.4 framgår att solfångarkostnaden är helt avgörande för systemets lönsamhet. Direkt grundvattenvärme kan exempelvis produceras till en kWh-kostnad som är hälften så stor som i här studerat system.

### 8.3 Rekommenderade fortsatta undersökningar

#### Bottnarydsakviferen

Som tidigare konstaterats har Bottnarydsakviferen goda förutsättningar att fungera som ett säsongslager för solvärme. Akviferen är dock inte undersökt med den detaljeringsgrad som krävs för att kunna projektera en anläggning.

I kapitel 7.4 redovisas en ekonomisk kalkyl. Denna visar att energi kan produceras ur ett säsongslager till en kostnad av 0,25-0,30 kr/kWh.

Värmesänkan i Bottnaryd har vid den översiktliga beräkning som här utförts något för låg värmetäthet för att bygga ett fjärrvärmenät ansluten till en gruppcentral med akviferlagret som värmekälla.

Nästa steg i utredningsarbetet bör därför bli analys av värmesänkan samt detaljerad undersökning av akviferen samt att söka upp en akvifer där värmesänkan har hög värmetäthet och ett utbyggt värmedistributionssystem, samt jämföra detta med Bottnaryd.

#### Solvärmelagring i akvifer - allmänt

Det energisystem som studerats består av akvifer, solfångarsystem och värmepump.

I Sverige är idag kunskapen god vad gäller värmepumpar och energisystems uppbyggnad och funktion. Även solfångares prestanda har de senaste åren väsentligen förbättrats. Där vi nu behöver mer kunskap är främst inom akviferens termohydrauliska beteende i full skala. En akvifer är aldrig eller nästa aldrig så homogent uppbyggd som förutsätts i de kalkyler och datasimuleringar som utförs. En fullskaleanläggning enligt det system som här studerats är därför nödvändig för att helt förstå en akvifers termohydrauliska beteende.

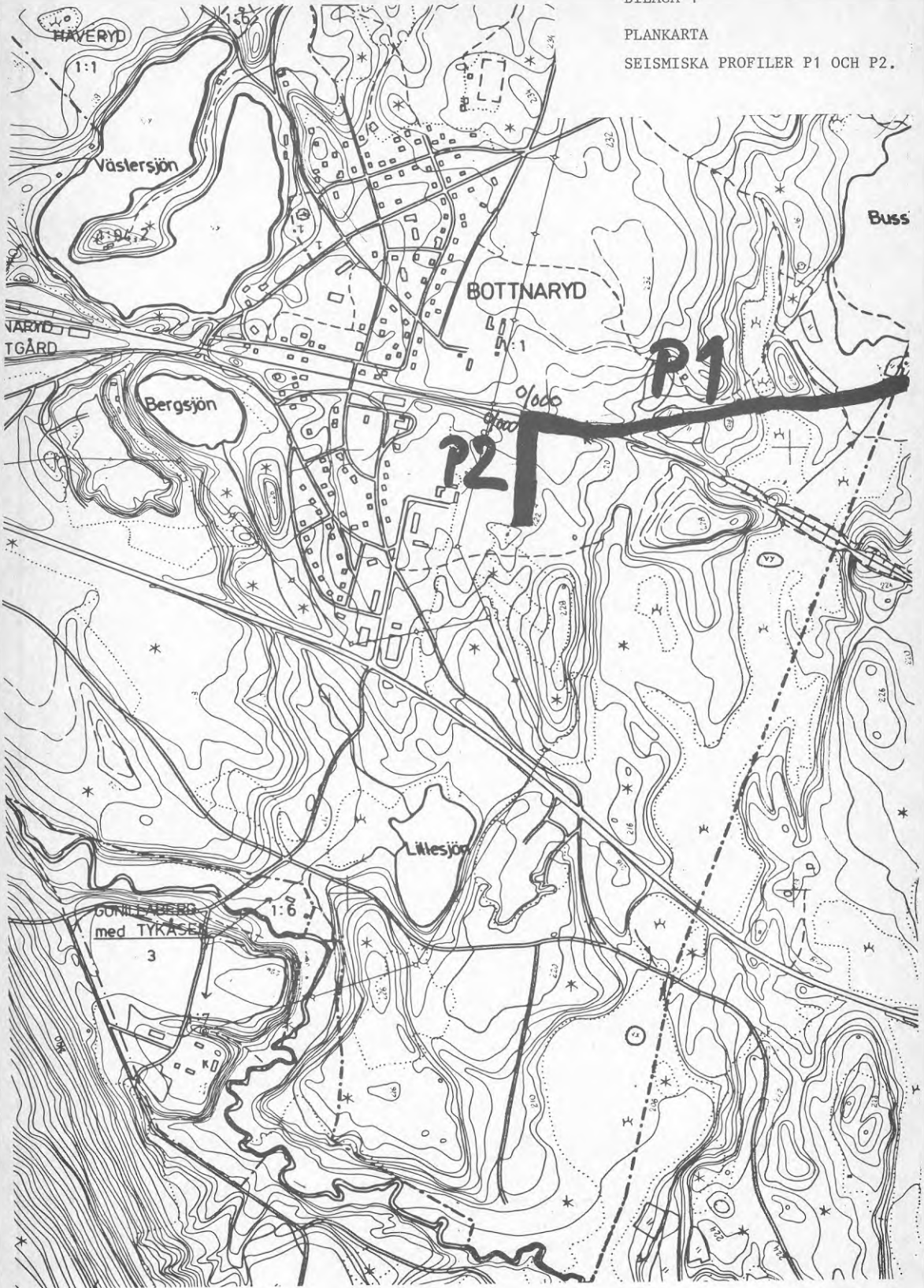
Vad gäller ekonomi och lönsamhet är avgörande parametrar främst solfångarkostnad och elprisutveckling.

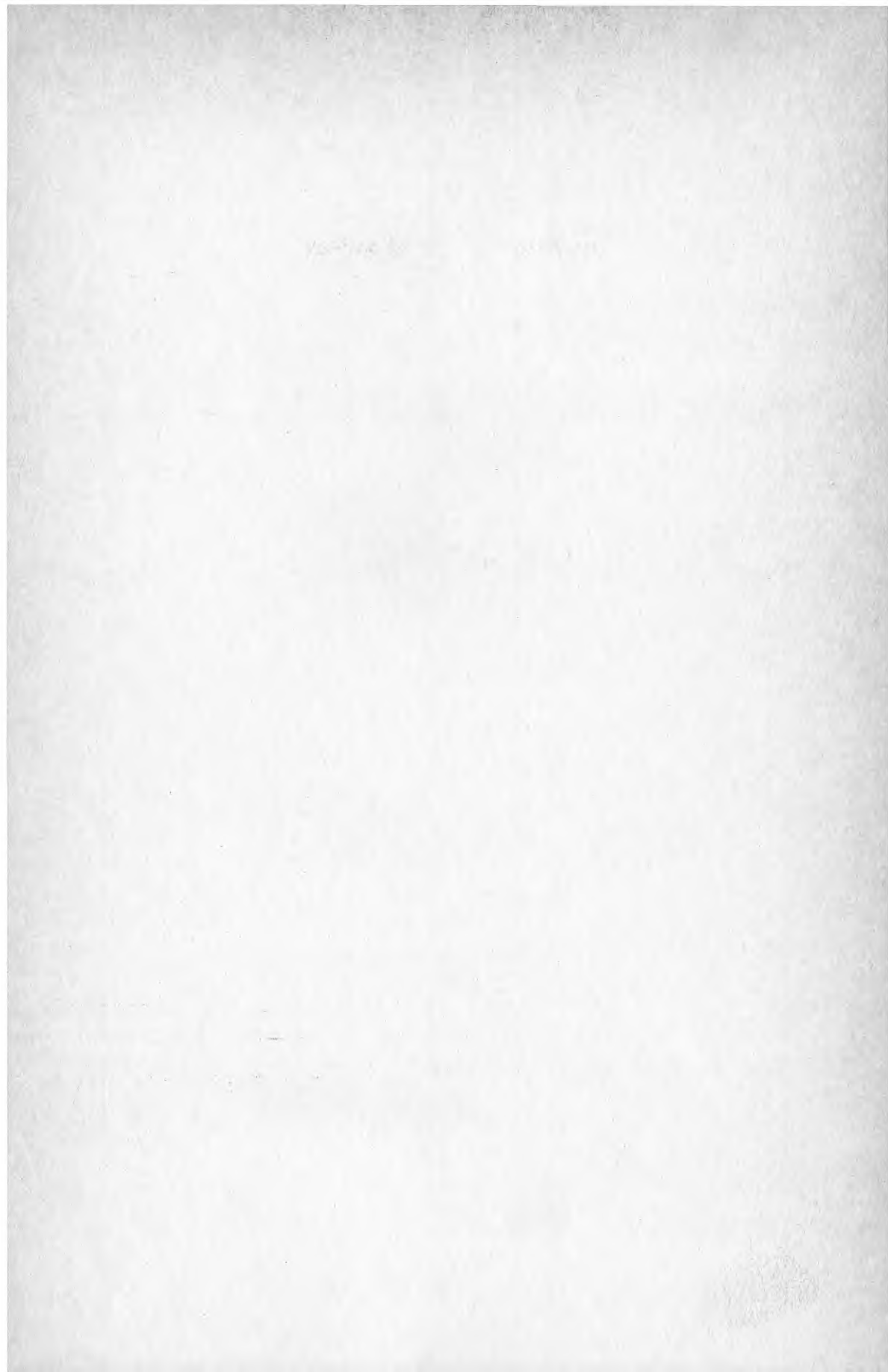
För att nå ett tekniskt och ekonomiskt optimum bör dessutom akviferlagringstekniken tillämpas i extrema lågtemperatursystem, där energisystem och byggnader projekteras och byggs samtidigt.

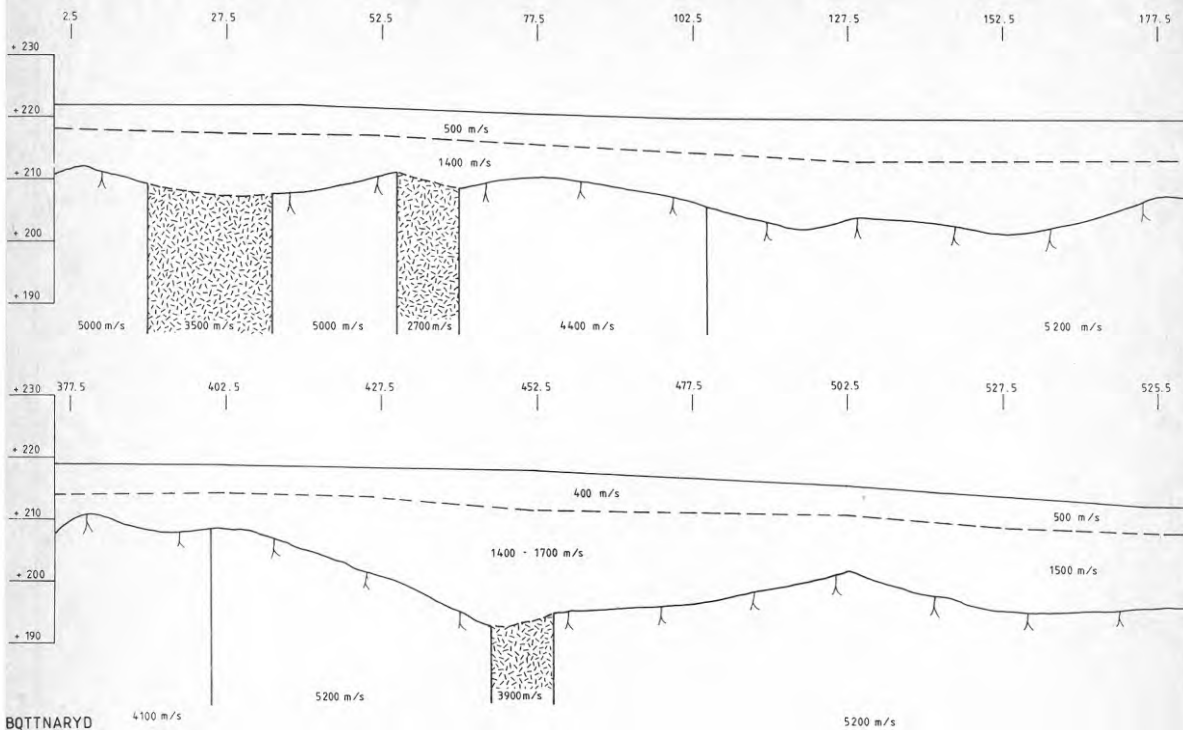


## REFERENSER

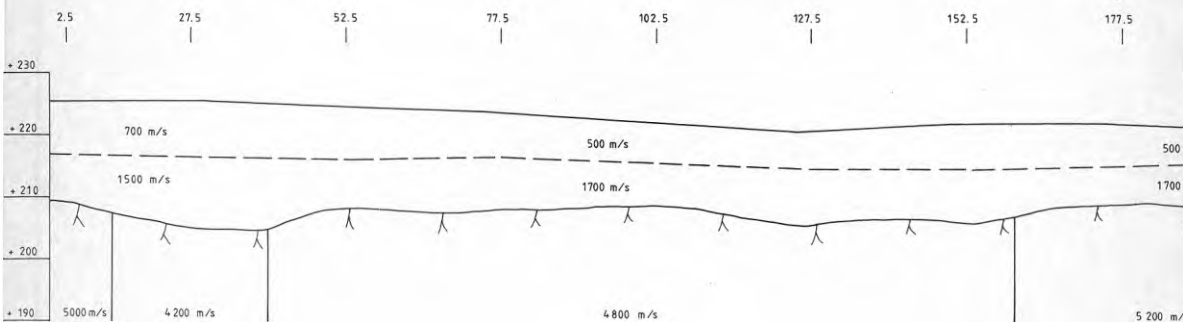
1. Jilar, T, Solvärmeteknik i stor skala, Ingelstad-en värme central utan värmepump. Byggeforskningen, rapport R103:1984.
2. Installationsteknik, Fortsättningskurs M4, V4, Del 1 luft-behandlingsteknik. Avdelningen för installationsteknik CTH Kompendium 1978:5. Göteborg 1978
3. Gabrielsson, Olsson, Solvärmesystem i befintlig bebyggelse Förstudie HSB Vänersborg. Byggeforskningsrådet R114:1982.
4. Margen, P Seasonal thermal storage, Swedish practice, Development and cost projects. Swedish council for building research D4:1981
5. Margen, P m.fl. Stora solvärmesystem, Geoteknik, Områdesplanering Ekonomi. Byggeforskningsrådet R20:1982.



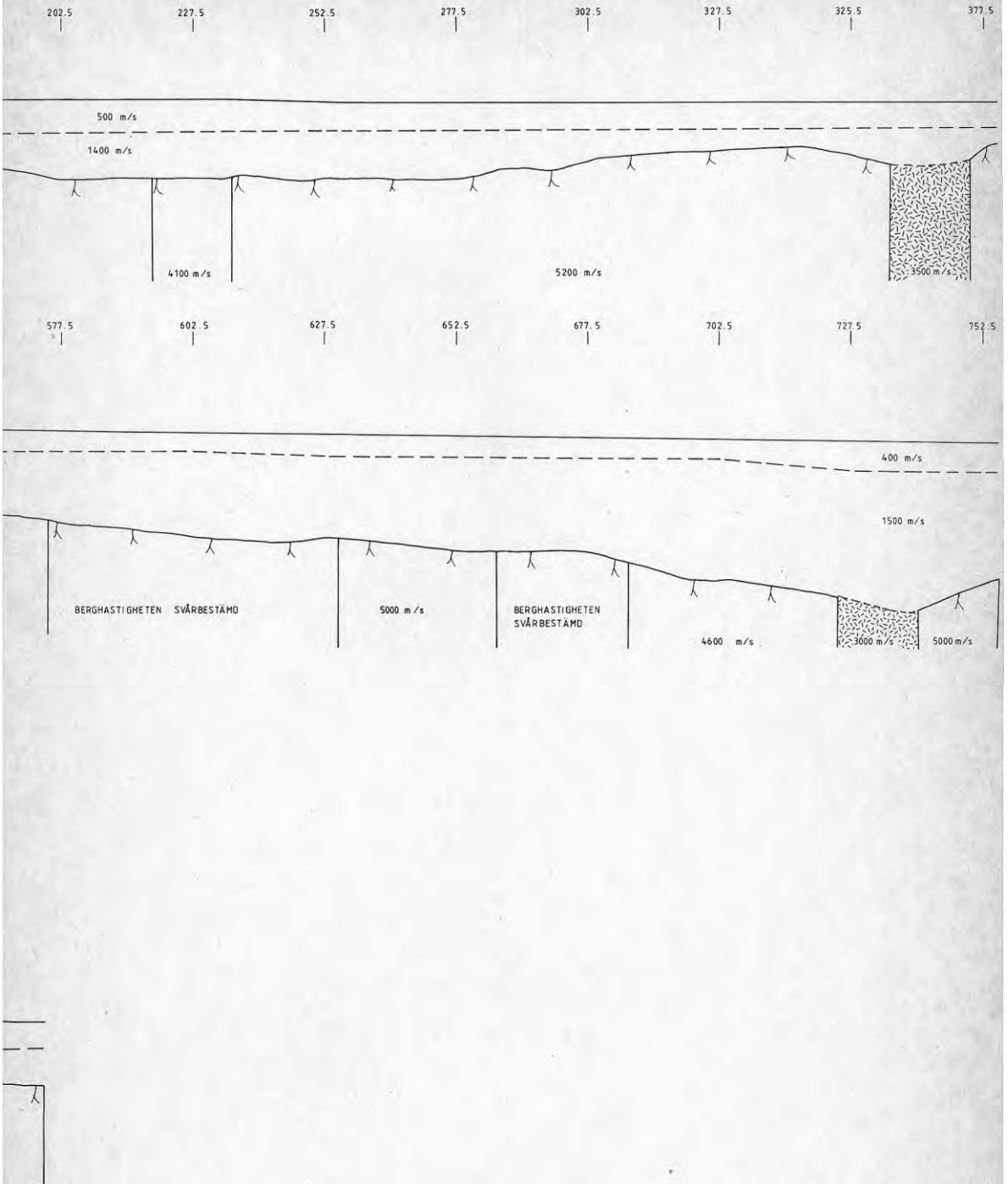




BOTTNARYD  
SEISMISK UNDERSÖKNING  
BILAGA 2  
PROFIL 1/83



BOTTNARYD  
SEISMISK UNDERSÖKNING  
BILAGA 3  
PROFIL 2/83

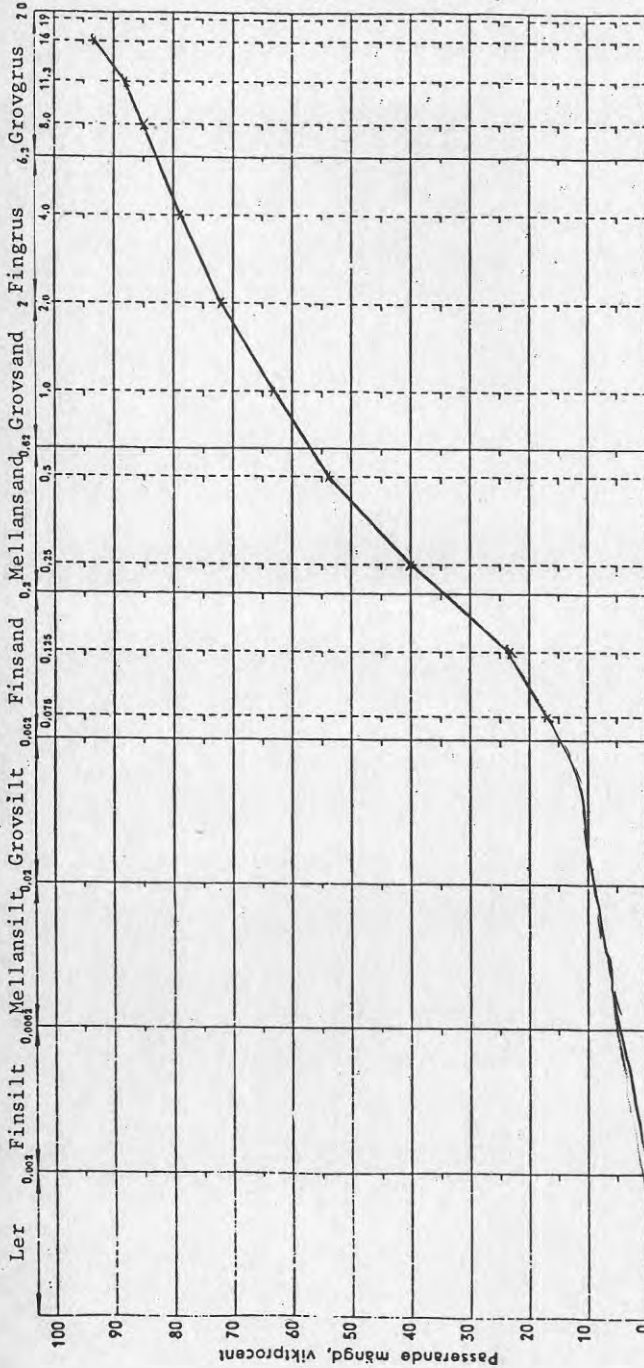


## SIKTDIAGRAM

Tre siktanalyser utförda på representativa jordartstyper från Bottnarydsakviferen.



PROTOKOLL ÖVER SIKT- OCH SLAMNINGSANALYS



BORRPLATS .....  
**BOTTNARID**  
 LITT. ....  
 BORRHAL .....  
 Profil 1 - 60m  
 DJUP U. M. Y. ....  
 1,5  
 ANM. ....  
 M<sub>1+1</sub> > 19mm = 12%  
 K = 4 · 10<sup>-6</sup>

Sikt m.m.	Stannar gram	%	Passerar %
16			
11,3			
8			
4			
2			
1			
0,5			
0,25			
0,125			
0,075			
< 0,075			

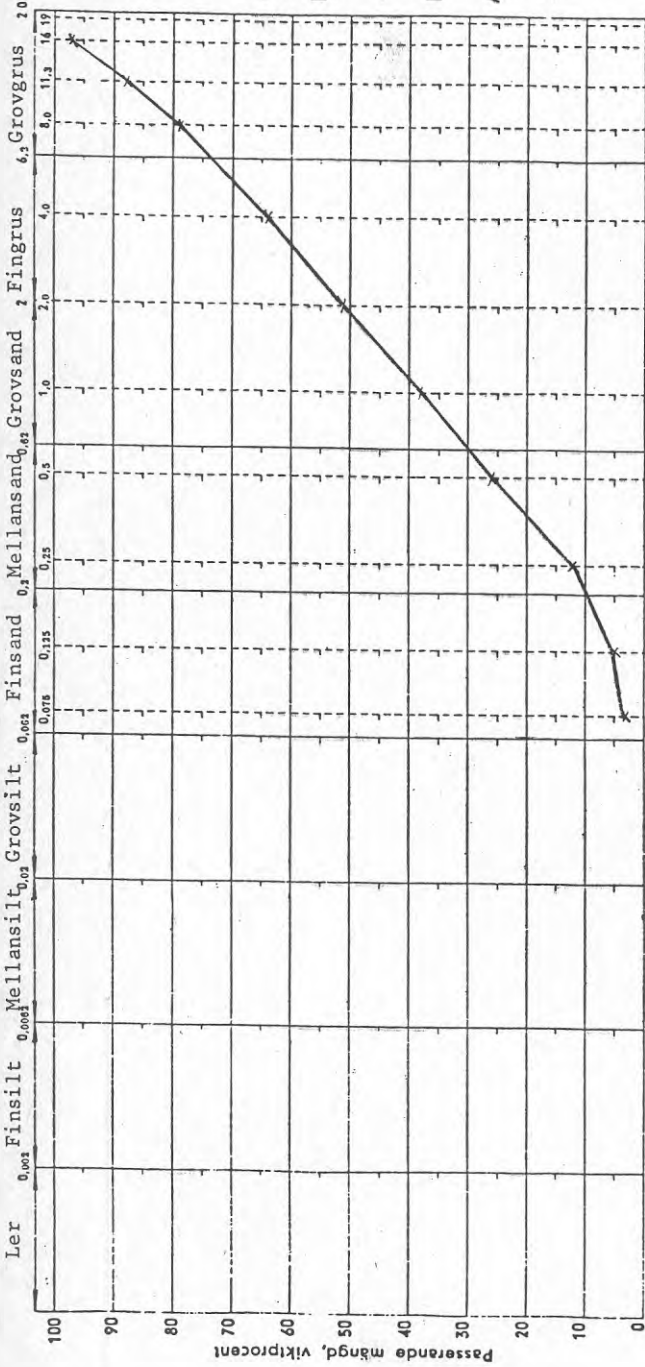
JORDART: Grusig SAND  
 TJÄLFÄRLIGHETSGRUPP: II  
 Humushalt ..... Humusborttagning med H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>   
 Järnuttagning finnes ej  
 Borttagning av järn med oxalatlösning   
 Invägd mängd < 2 mm ..... gram  
 Material < 2 mm enligt siktanalys ..... %  
 Temp. .... Spec. v. ....  
 Diverse prov: .....  
 Kapillaritet ..... m  
 Hygroskopicitet .....  
 Skakprov  Utrullningsprov   
 Tvättning: .....  
 Vikt före ..... g  
 " efter ..... g  
 Borttvättat ..... g

Cyl. nr	% av mat < 16	
	Avläsn. g/l	% av mat < 16
0		
1		
2		
4		
10		
20		
50		
100		
200		
400		

**SCANDIACONSULT**  
 GEOTEKNISKA AVDELNINGEN  
 FORENINGSGATAN 14 · TEL. 031-1775 80  
 BOX 3051, 400 10 GÖTEBORG

28/10 83  
 Leonard Nilsson

PROTOKOLL ÖVER SIKT- OCH SLAMNINGSANALYS



BORRPLATS

BOTTNARYD

LITT.

BORRHÅL 2

-340

DJUP U. M. Y. 1,5

ANM: R=4·10<sup>-4</sup>

M<sub>1</sub> > 19<sub>w</sub> = 12%

Sikt m.m.	Slamm gram	%	Passerar %
16			
11.3			
8			
4			
2			
1			
0.5			
0.25			
0.125			
0.075			
< 0.075			

JORDART: Sandig GRUS

TJÄLFÄRLIGHETSGRUPP I

Ler 0.003 Finsilt 0.003 Mellansilt 0.003 Grovsilt 0.003 Finsand 0.062 Mellansand 0.63 Grovsand 2 Fingrus 6.3 Grovgrus 20

Humushalt ..... Humusborttagning med H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Järnutfällning finnes  finnes

Borttagning av järn med oxalatlösning

Invägd mängd < 2 mm ..... gram

Material < 2 mm enligt siktenalys ..... %

Temp. .... Spec. v. ....

Diverse prov: .....

Kapillaritet ..... m

Hygroskopicitet .....

Skakprov  Utrullningsprov

Tvättning: .....

Vikt före ..... g

" efter ..... g

Borttvättat ..... g

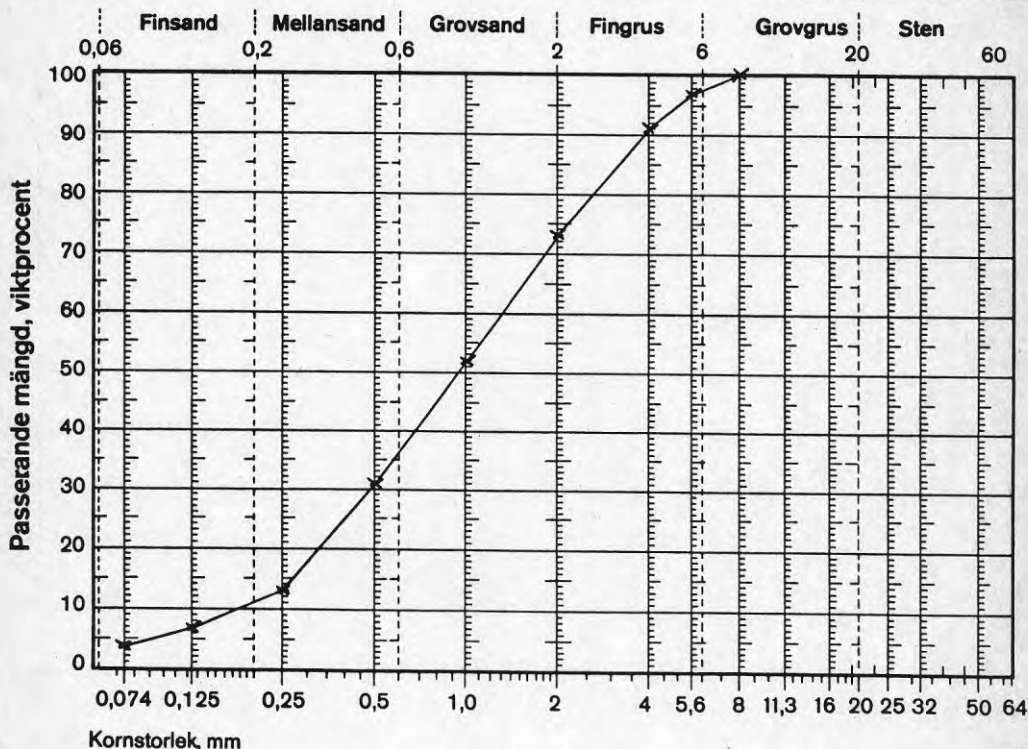
Cyl. nr	Avläsn. g/l	% av mat < 2	% av mat < 16
0			
1			
2			
4			
10			
20			
50			
100			
200			
400			

JÖNKÖPINGS KOMMUNS GATUKONTOR

JORDARTER, STENMATERIAL

A1

Objekt <i>RAGNARS BOTTNARYD</i>		Väg nr	Län
Provtagningsplats/sektion <i>(15)</i>		Djup under ytan <i>10</i>	
Beställare (enhet)	Provtagare <i>U.E</i>	Provtagningsdatum <i>830706</i>	
Entreprenör		Leverantör	
Material	Märkning <i>K = 3.2 · 10<sup>-4</sup> m/A</i>	Registreringsnr	
Färg och jordart	<i>gr S</i>		
Kapillaritet cm	Tjälfarlighetsgrupp <i>I</i>	Materialgrupp <i>B</i>	
Grovkornhalt 16–50 mm viktprocent		Fraktion mm	
Största kornstorlek av insänt prov passerar sikt mm		Kompaktdensitet g/cm <sup>3</sup>	
Finkornhalt < 0,074 av materialet < 50 mm viktprocent		Flisighetstal	
Finkornhalt < 0,074 mm av material < 18 mm viktprocent	<i>3,9</i>	Sprödhetsstal	
Vattenkvot viktprocent		Styrkegrad	
Humus färg nr		Skrymdensitet g/cm <sup>3</sup>	
Glödningsförlust viktprocent		Krossytegrad helt krossat/okrossat	



GK:s laboratorium

Datum

*831005*

Sign

*J.J.*

Beställarens anteckningar

Bild

Bilaga 5. Utfällningstest på grusmaterial från Bottnaryd.

UTFÄLLNINGSTEST "BOTTNARYDS AKVIFEREN"

Bakgrund

De vanligaste systemlösningarna för värmelagring i grundvattensystem bygger på utnyttjande av brunnar för in- och utlagring av vattnet.

Grundvattnets kemiska sammansättning är välkänd för olika geologiska miljöer genom bla data från tusentals vattentäkter. Så länge normala grundvattentemperaturer existerar kan erfarenheterna från vattentäkterna användas för att förutsäga den vattenkemiska utvecklingen.

Vid värmelagring i grundvattenmagasin kommer emellertid temperaturen för både grundvatten och akvifermaterial att höjas, vilket orsakar en ökad utlakning av joner från grusmaterialet till vattenfasen. På grund av temperatur- och tryckförändringar har de utlakade jonerna möjlighet att åter falla ut i brunnar och värmeväxlare. Detta kan skapa igensättningar som kan äventyra anläggningens drift.

Från två omfattande laboratorieförsök avseende kristallina bergarters- och grusmaterials jonutlakning i hett vatten, vilka utförts vid Geologiska institutionen CTH/Göteborgs universitet av undertecknad, finns ett stort referensmaterial tillgängligt.

Utförande

På akvifermaterial från Bottnaryd har jonutlakningstest utförts och resultatet har ställts i relation till ovan nämnda referensmaterial. Av fraktionen 4-8 mm togs prov ut med en beräknad yta av  $150 \text{ cm}^2$ . Aktiva provytan för ett grusmaterial beräknas enligt följande:

$$\text{Mediankornets yta} = \pi D_u \times D_ö$$

$D_u$  = undre fraktion

$D_ö$  = övre fraktion

$$\text{Mediankornets volym } V_s = \frac{\pi}{6} (D_u \times D_ö)^2$$

$$\text{Antalet korn } n = W/V_s \times \rho$$

W = provets vikt

$\rho$  = materialets densitet

$$\text{Provets yta } A = n \times A_s = 6 \times W / \rho \times (D_u \times D_ö)$$



De två proven (undersökningen har utförts på dubbelprov) har upphettats tillsammans med vatten under två 4-veckors perioder med mellannliggande vattenbyte. Reaktionstemperaturen under undersökningen har varit  $150^{\circ}\text{C}$ , vilket är högre än vad som är tänkt i detta lagringssammanhanget. Orsaken till att en så hög laboratorietemperatur har använts, är att reaktionsförloppet på detta sätt påskyndas.

Följande två tabeller visar utlakade halter sedan vattnets ursprungliga innehåll subtraherats.

Tabell 1. Prov 1

Reaktions- tid.Veckor.	Analyserade joner i ppm							
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	MgO	FeO	CaO	pH
5	227.9	0.10	41.23	2.22	-2.78	0	-14.9	7.29
10	175.8	0.23	24.49	1.33	-3.03	0	-17.5	6.87

Tabell 2. Prov 2

Reaktions- tid.Veckor.	Analyserade joner i ppm							
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	MgO	FeO	CaO	pH
5	214.1	0.08	38.24	2.35	-2.96	0	-15.6	7.24
10	142.7	0.28	24.76	1.33	-3.03	0	-16.2	6.95

Start pH var för båda fallen 7.50

Av tabellerna ovan framgår att det endast är utlakningen av kisel och natrium som är av noterbar mängd. Natriumutlakningen kan dock anses normal för ett grus av denna sammansättningen medan kiselhalterna är något förhöjda. Då utlakningen av kisel är kraftigt temperaturberoende kommer de utlakade halterna endast att nå upp till ca 50 ppm vid en vattentemperatur av  $70^{\circ}\text{C}$ . Halterna utlakat kalium och natrium är endast mycket lite beroende av vattentemperaturen. De uppmätta värdena på aluminium och kalium får anses som låga. Adsorptionen av kalcium och magnesium var väntad och förväntas även fortsätta vid sänkt reaktionstemperatur om än med en lägre hastighet.

#### Slutsats

Någon större fara för att det skall uppstå igensättningsproblem orsakade av jonutlakning från det undersökta grusmaterialet från Bottnaryd är det inte. Beroende på adsorptionen av kal-

cium och magnesium från vattenfasen till grusmaterialet kan risk för porositetsminskning uppstå av denna orsak. Ett vatten innehållande höga primära halter av kalcium och magnesium är därför olämpligt som lagringsmedia. Erfarenhetsmässigt vet vi att även järn adsorberas på stenmaterialet om primärvattnet innehåller järn. Adsorptionsprodukten består av järnhydroxid, vilken också kan bidra till en eventuell igensättning och porositetsminskning.

Göteborg den 7/2 1984



Tommy Claesson



BILAGA 6.  
 VATTENKEMISK UNDERSÖKNING PÅ GRUNDVATTEN FRÅN KÄRINGALIDEN 2 KM  
 NORR OM BOTTNARYD

Djup till vattenytan	1,0 m	grävd	
Djup till botten	2,5 m		
pH	6,3	SO <sub>4</sub>	14
pH luftat	8,4	Fe	< 0,05
Lf	7	Mn	< 0,05
Färg	< 5	Cu	< 0,05
HCO <sub>3</sub>	0,14	AL	0,14
T-H	9		

BILAGA 7

AKVIFERLAGER FÖR SOLVÄRME  
I BOTTNARYD

Johan Bennet  
April 1984

Avd för matematisk fysik, LTH

Utredning i samarbete med  
Ulf Ervér, Scandiaconsult AB  
Göteborg

## AKVIFERLAGER FÖR SOLVÄRME I BOTTNARYD

## 1. LAGRING AV SOLVÄRME

En akvifer skall utnyttjas för lagring av solvärme. Under sommaren injicieras uppvärmt vatten via en brunn till akviferen. Direkt efter injiceringen påbörjas uttagsperioden. Processen upprepas periodiskt år från år.

På grund av värmeledningsförluster kommer inte uttagstemperaturen att vara lika hög som den ursprungliga injektionstemperaturen.

Viskositets- och densitetsskillanden mellan varmt och kallt vatten kan medföra att det varma vattnet under inlagringsperioden inte fördelas jämnt över akviferen. Detta medför att den termiska fronten kommer att bilda en vinkel mot vertikalkplanet, s k frontkantring. Om denna kantringsvinkel blir för stor kommer det varma vattnets exponeringsyta mot den kallare omgivningen att bli mycket stor. Detta kan medföra alltför stora värmeförluster. Med datormodellen från avdelningen för matematisk fysik och LTH har temperaturförloppet beräknats utan hänsyn tagen till dessa frontkantringseffekter. Med en speciell modell har frontkantringen beräknats. Denna modell baserar sig på den teori som redovisas i Hellström, Tsang, Claesson - Heat Storage in Aquifers. Bougarey Flow and Thermal Stratification Problems. (Dep. of mathematic physics, Lund 1979).

## 2. INDATA FÖR BERÄKNING AV TEMPERATURFÖRLOPP

Följande indata har använts för solvärmelagringsprojektet i Bottnaryd.

Lagerföljd:

Täckande skikt	7 m
Akviferhöjd	10 m

Värmeledningstal:

Täckande skikt	1,0 W/mK
Akvifer parallellt med grundvattenströmningen	5,0 W/mK
Akvifer vinkelrätt mot grundvattenströmningen	2,5 W/mK
Underliggande lager	3,5 W/mK

## Värme kapaciteter:

Täckande skikt	$1,1 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$
Akvifer	$2,5 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$
Underliggande lager	$2,2 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$
Vattnets värmekapacitet	$4,2 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$
Inlagringstemperatur	$30^\circ\text{C}$
Geotermisk gradient (utgående från $10^\circ\text{C}$ vid markyt nivån)	$0,02^\circ\text{C/m}$

## Lufttemperatur (Sinusformad)

Medelvärde	$10^\circ\text{C}$
Amplitud	$10^\circ\text{C}$
Maximum inträder	20 juni

## Simuleringstid

5 år

## Begynnelse tidpunkt

1 mars

## Flödesstrategier

Två olika fall har simulerats. Dessa visas i tabell 1.

Tabell 1 Två olika flödesstrategier

Månad	I N L A G R I N G						U T T A G					
	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Jan	Feb
Flöde	5,9	8,2	10,2	11,7	11,7	10,2	6,8	-9,3	-9,3	-9,3	-9,3	-9,3
(l/s)	5,9	8,2	10,2	11,7	11,7	10,2	6,8	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5

## 3. RESULTAT AV BERÄKNING AV TEMPERATURFÖRLOPP

I diagram 1 och 2 visas uttagstemperaturer för ett utmatningsflöde av 9,3 resp 12,5 l/s.

De något vågiga kurvorna beror på att inlagringsflödena varierar språngvis.

## 4. KOMPLETTERANDE INDATA FÖR BERÄKNING AV KANTRINGSEFFEKTER

Tre inloppstemperaturer och två permeabiliteter har simulerats.

Inloppstemperaturer

30°C

40°C

80°C

Permeabiliteter

Horisontell  $4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$

Vertikal  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$

Horisontell  $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$

Vertikal  $0,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$

## 5. RESULTAT AV KANTRINGSBERÄKNINGAR

För kantringseffekterna har endast fallet med en uttagsmängd på 9,3 l/s simulerats.

Diagrammen 3 och 4 visar, hur den termiska frontens vinkel mot vertikalkplanet förändras under första årsnykeln.

Man ser att även för det ur kantringssynpunkt gynnsammaste fallet,

( $T_{un} = 30^\circ\text{C}$ ,  $K_{hor} = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ ,  $K_{vert} = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ ),

kommer den termiska fronten efter inlagringens slut att bredda en vinkel på ca  $80^\circ$  mot vertikalkplanet. Detta kommer att medföra värmeledningsförluster till omgivningen.

Tabell 2 visar den karakteristiska kantringstiden för de olika fallen, dvs storleksordningen på den inlagringstid, som kan accepteras utan att frontkantringen blir för kraftig.

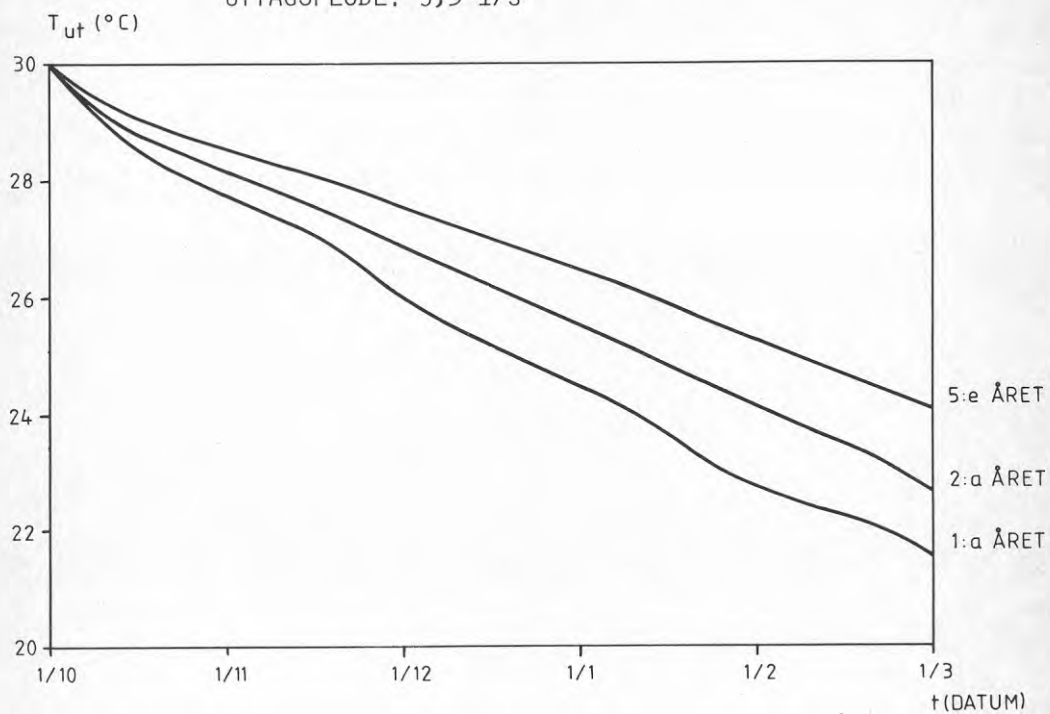
Tabell 2 Karakteristisk kantringstid i dagar

Inloppstemp (°C)	Horisontell permeabilitet ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$ )	
	$1 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-4}$
30	119	30
40	61	15
80	15	4

DIAGRAM 1

SOLVÄRMELAGRINGSPROJEKT, BOTTNARYD

UTTAGSFLÖDE: 9,3 l/s





## DIAGRAM 2

SOLVÄRMELAGRINGSPROJEKT, BOTTNARYD

UTTAGSFLÖDE: 12,5 l/s

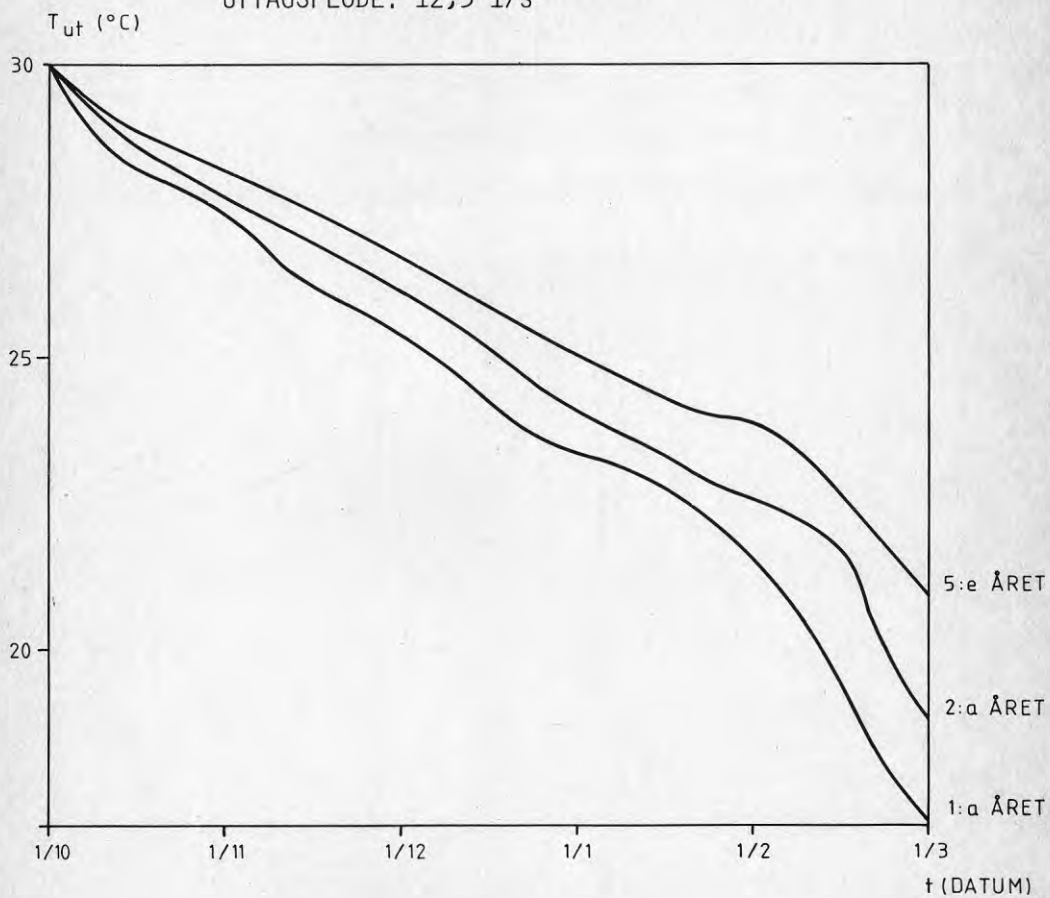


DIAGRAM 3

SOLVÄRMELAGRINGSPROJEKT, BOTTNARYD

$K_{\text{HOR}} = 1 \times 10^{-4} \text{ M}^2/\text{M}^2\text{S}$

$K_{\text{VERT}} = 5 \times 10^{-5} \text{ M}^3/\text{M}^2\text{S}$

$T_{\text{OMGIVANDE}} = 10^{\circ}\text{C}$

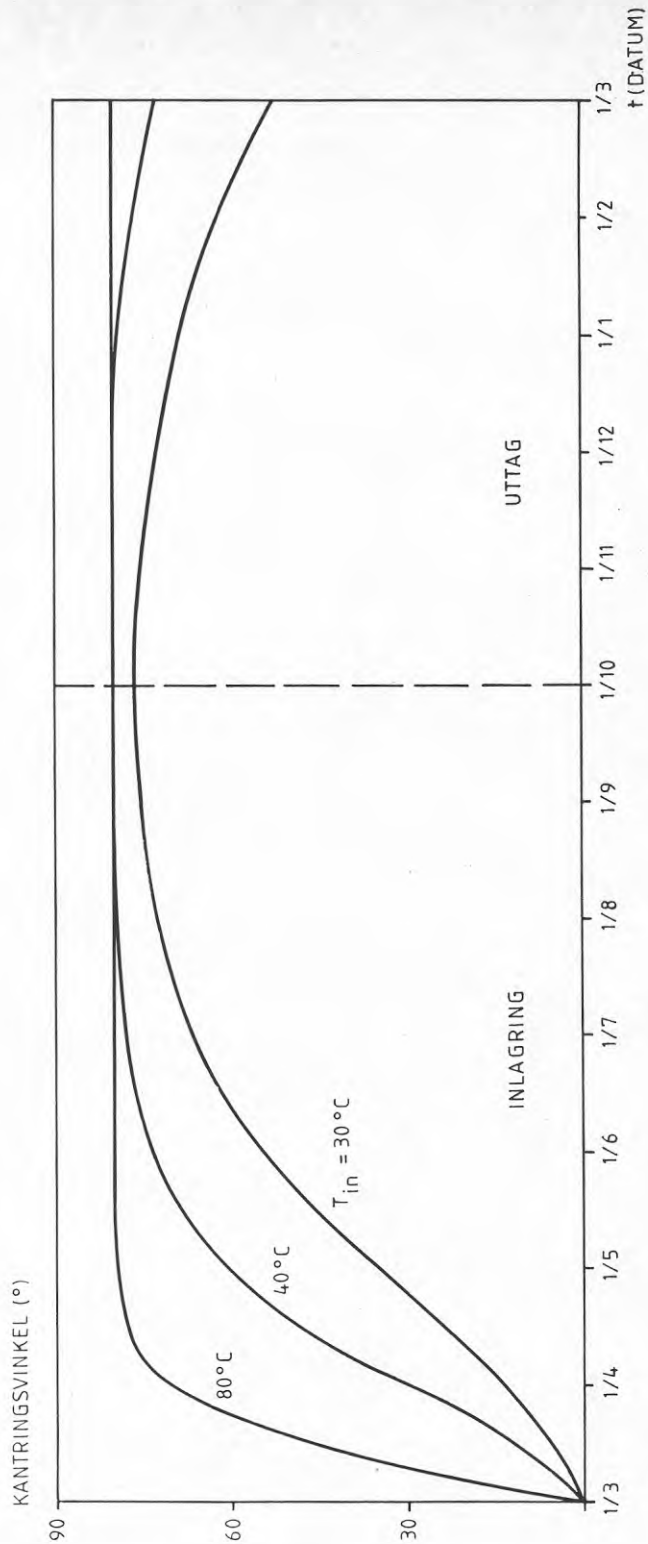
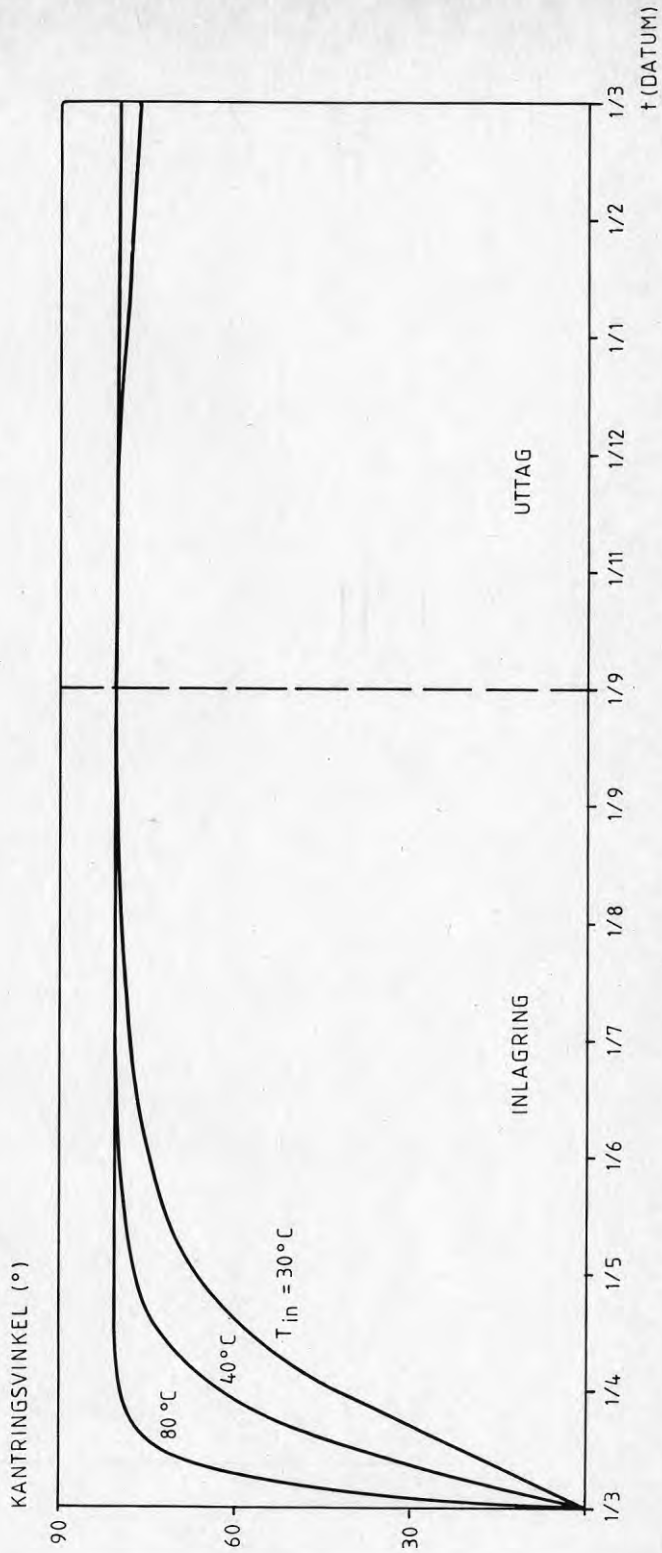


DIAGRAM 4

SOLVÄRMELAGRINGSPROJEKT, BOTTNARYD

$$K_{\text{HOR}} = 4 \times 10^{-4} \text{ M}^2/\text{M}^2\text{S}$$

$$K_{\text{VERT}} = 2 \times 10^{-4} \text{ M}^3/\text{M}^2\text{S}$$



## BILAGA 8 Bakgrundsdata för energiutbyte av integrerad plan solfångare vid 30°C

UTBYTET I SOLFJÄNGARE VID KONSTANT VATTENTEMP.  
-----

JRETS NORMALTEMPERATUR: 7.90 Celsiusgrader  
 LATITUD : 57.30 Grader  
 SOLFJÄNGARENS AZIMUT : .00 Grader  
 SOLFJÄNGARENS LUTNING : 42.00 Grader  
 ANTAL BERÄKNINGSDAGAR : 303 Styck  
 FÖRSTA BERÄKNINGSDAGEN : 32  
 VATTNETS MEDELTEMPERATUR : 30.000 Celsiusgrader

ANTAL TÄCKSKIVOR : 1. Styck  
 TÄCKSKIVANS BRYTNINGSINDEX : 1.49 Dim.l/s  
 TÄCKSKIVANS TJOCKLEK : .0030 Meter  
 AVSTÄND MELLAN PLÅT OCH TÄCKSKIVA : .040 Meter  
 AVSTÄND MELLAN TÄCKSKIVORNA : .010 Meter  
 TÄCKSKIVANS ABSORPTIONSKOEFF. : 16.80 per Meter  
 ABS. ÅKOEFF VID INFALLSVINK=0 : .90 Dim.l/s

ABSORBATORNS EMISSIONSKOEFF. : .15 Dim.l/s  
 TÄCKSKIVANS EMISSIONSKOEFF. : .150 Dim.l/s  
 TÄCKSKIVANS GENOMSLÄPPLIGHET AV VÄRMESTRÅLNING: .00 %  
 SOLFJÄNGARTUBERNAS DIAMETER : .01 Meter  
 SOLFJÄNGARTUBERNAS C-C AVSTÄND : .15 Meter  
 VÄRMEVÄRIGSTAL TUB-MEDIUM : 1700. W/m<sup>2</sup>\*C  
 ABSORBATORNS TJOCKLEK : .0005 Meter  
 ABSORBATORNS VÄRMELEDNINGSTAL : 180.0 W/m\*C

K-V[RDE P] SOLF]NGARENS BAKSIDA :1.00 W/m2\*C  
 D. U. T. :-14.0 Celsiusgrader  
 MOLNKORREKTIONSFAKTOR :1.00 Dim.l|s  
 VINDKORREKTIONSFAKTOR : .40 Dim.l|s  
 SUMMA SOL UNDER DAGARNA 32-334: 1160.840 kWh/kvadratmeter

PK	PKD	PM	PMD	PT
674.555	134.726	226.508	125.045	1160.840
P	PD	PE	PTM	PU
1631.640	350.376	1982.010	872.604	626.919

DAG: 334 SUMMA SOLENERGI IDAG: .384 kWh/kvadratmeter  
 SUMMA SOLENERGI ABSORBERAD I PLJTEN IDAG: .283  
 SUMMA SOLENERGI UPPTAGEN I VATTNET IDAG: .000

TID	ANOLL	H\JD	T[TA	PT
1.	-156.488	-53.012	164.313	.000
2.	-135.614	-48.479	150.855	.000
3.	-118.071	-41.997	136.990	.000
4.	-103.180	-34.425	123.091	.000
5.	-90.020	-26.391	109.301	.000
6.	-77.705	-18.350	95.665	.000
7.	-65.719	-10.670	82.369	.000
8.	-53.591	-3.688	69.602	.000
9.	-41.016	2.260	57.738	.003
10.	-27.841	6.838	47.472	.027
11.	-14.095	9.736	40.065	.054
12.	.000	10.730	37.270	.065
13.	14.095	9.736	40.065	.054
14.	27.841	6.838	47.472	.129
15.	41.016	2.260	57.738	.053
16.	53.591	-3.688	69.602	.000
17.	65.719	-10.670	82.369	.000
18.	77.705	-18.350	95.665	.000
19.	89.980	-26.391	109.276	.000
20.	103.180	-34.425	123.091	.000
21.	118.071	-41.997	136.990	.000
22.	135.614	-48.479	150.855	.000
23.	156.488	-53.012	164.313	.000
24.	180.000	-54.670	173.330	.000

TID	TPM	FLGRAD	U	PTM	PU
1.	29.554	.923	4.682	.000	.000
2.	29.552	.923	4.686	.000	.000

3. Fortsättning nästa sida

3.	29.552	.923	4.687	.000	.000
4.	29.552	.923	4.686	.000	.000
5.	29.534	.923	4.682	.000	.000
6.	29.558	.923	4.676	.000	.000
7.	29.562	.923	4.668	.000	.000
8.	29.567	.923	4.658	.000	.000
9.	29.577	.923	4.648	.002	.000
10.	29.627	.924	4.639	.019	.000
11.	29.685	.924	4.631	.040	.000
12.	29.711	.924	4.623	.048	.000
13.	29.693	.924	4.616	.040	.000
14.	29.842	.924	4.616	.097	.000
15.	29.687	.924	4.610	.037	.000
16.	29.592	.924	4.609	.000	.000
17.	29.590	.924	4.613	.000	.000
18.	29.587	.924	4.620	.000	.000
19.	29.582	.924	4.628	.000	.000
20.	29.577	.924	4.638	.000	.000
21.	29.572	.923	4.648	.000	.000
22.	29.567	.923	4.658	.000	.000
23.	29.562	.923	4.668	.000	.000
24.	29.558	.923	4.676	.000	.000

MANAD	PUSUM	PTSUM	PTMSUM
1	.0	.0	.0
2	17.7	53.4	40.4
3	35.1	87.3	66.2
4	75.9	145.5	109.9
5	94.7	166.1	124.3
6	102.7	171.6	128.1
7	99.0	161.4	120.4
8	100.1	161.8	121.9
9	59.8	106.2	81.8
10	31.9	71.2	53.9
11	9.9	33.8	25.6
12	.0	.0	.0

626.9

↓  
eigenen  
Fächelaset

↓  
matteget:  
plättchen (abrombarm)



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830874-0  
från Statens råd för byggnadsforskning till Scandiaconsult  
AB, Göteborg.**

**R20: 1985**

**ISBN 91-540-4342-5**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6705020**

**Ingår ej i abonnemang**

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

**Cirka pris: 35 kr exkl moms**