



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.



Erfarenheter från några stora ytjordvärmesystem

Jan Sundberg

K/A

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac
L. 1000	Ser

Byggforskningsrådet

R98:1987

ERFARENHETER FRÅN NAGRA STORA YTJORDVÄRMESYSTEM

Jan Sundberg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840553-2 från Statens råd för byggnadsforskning till Geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

REFERAT

De studerade värmepumpanläggningarna försörjer följande objekt med värme: Folkhögskola i Östra Greve, Cykelfabrik i Vansbro, Småhus i Surte samt Småhus i Sandhedsområdet, Orsa. Vid samtliga fyra studerade objekt har värmepumpanläggningarna fungerat förhållandevis bra. Anläggningarna är funktionsmässigt av monovalent typ och med lågtemperatursystem. Östra Greveanläggningen har visserligen en oljepanna för vinterdrift i en äldre del av skolan, men någon samkörning mellan oljepanna och värmepump sker inte. En elpanna finns också vid Vansbroanläggningen men behöver i praktiken ej nyttjas. Anläggningarna har därför inte drabbats av annars relativt vanliga samkörningsproblem i bivalenta system.

De totala energi- och effektbehoven är vanligen överskattade. Detta har inneburit att värmepumpen relativt sett blivit större än vad som ursprungligen avsetts.

Markvärmeuttagen kan rent fysikaliskt ökas med 100-700% räknat i kWh/m² och år för de olika anläggningarna men värmeuttaget bör dock anpassas till den tänkta markanvändningen. Det är emellertid klart att högre uttag kan göras i de undersökta anläggningarna.

Vid byggnation av redovisade anläggningar idag skulle det med en optimal anläggningsutformning vara möjligt att sänka investeringskostnaderna med 10-35%. Det finns inget som tyder på några generella kostnadsminskningar per m slang för stora yttjordvärme-kollektorer. Avgörande är markförhållandena och avståndet mellan kollektor och värmepump i det enskilda fallet.

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

R98:1987

ISBN 91-540-4797-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLL

sid

FÖRORD

SAMMANFATTNING

1	INLEDNING	1
2	VÄRMEPUMPANLÄGGNING VID ÖSTRA GREVIE FOLKHÖGSKOLA	2
2.1	Systemutformning och driftresultat	2
2.2	Simuleringar av markkollektorn	9
2.3	Kostnadsanalys och slutsatser	14
3	YTJORDVÄRMESYSTEM FÖR CYKELFABRIK I VANSBRO	18
3.1	Systemutformning och driftresultat	18
3.2	Simulering av markkollektorn	21
3.3	Kostnadsanalys	25
3.4	Slutsatser	26
4	YTJORDVÄRME FÖR 88 SMAHUS I SURTE	27
5	YTJORDVÄRME FÖR 40 SMAHUS I SANDHEDSOMRÅDET, ORSA	30
6	SAMMANSTÄLLNING	33
	REFERENSER	35

FÖRORD

Denna rapport hänför sig till BFR-projekt 840553-2 och behandlar erfarenheter av större ytjordvärmesystem.

Geologiska institutionen, CTH, har varit inblandad vid samtliga valda anläggningar inom framför allt uppföljning av markkolek-
torerna.

Rapporten grundar sig i de flesta fall på befintliga forsknings-
rapporter. I fallet Östra Grevie utvärderas dock ytjordvärmedelen
av anläggningen för första gången. Av tids- och resursskäl har
det inte varit möjligt att intervjua driftspersonalen vid de oli-
ka anläggningarna.

Björn Modin initierade mätningarna och har tagit vissa markprover
på ytjordvärmedelen vid Östra Grevie folkhögskola. Utskriften har
gjorts av Ann-Marie Hellgren och vissa av figurerna har ritats av
Marianne Johnson.

Lerum i april 1987

Jan Sundberg

SAMMANFATTNING

De studerade värmepumpanläggningarna försörjer följande objekt med värme: Folkhögskola i Östra Greve, Cykelfabrik i Vansbro, Småhus i Surte samt Småhus i Sandhedsområdet, Orsa. Vid samtliga fyra studerade objekt har värmepumpanläggningarna fungerat förhållandevis bra. Anläggningarna är funktionsmässigt av monovalent typ och med lågtemperatursystem. Östra Greveanläggningen har visserligen en oljepanna för vinterdrift i en äldre del av skolan, men någon samkörning mellan oljepanna och värmepump sker inte. En elpanna finns också vid Vansbroanläggningen men behöver i praktiken ej nyttjas. Anläggningarna har därför inte drabbats av annars relativt vanliga samkörningsproblem i bivalenta system.

Energi- och effektbehov

De totala energi- och effektbehoven är vanligen överskattade. Detta har inneburit att värmepumpen relativt sett blivit större än vad som ursprungligen avsetts. Detta i sin tur får konsekvenser för värmepumpens driftsätt och ekonomiska resultat. Överskattningen av effektbehovet är på mellan 0 och 100% som framgår av tabell 6.1.

Värmefaktor

Årsvärmefaktorerna har varierat från 2.2 för enbostadsanläggningarna till 2.7 för de större systemen. I årsvärmefaktorn ingår även elenergi för nödvändiga hjälpapparatur.

Markvärmeuttag - Miljökonsekvenser

Markvärmeuttagen kan rent fysikaliskt ökas med 100-700% räknat i kWh/m² och år för de olika anläggningarna. Markvärmeuttag påverkar de biologiska processerna och maskfrekvensen i marken negativt. Markvärmeuttagen bör därför anpassas till den tänkta markanvändningen. Det är dock klart att högre uttag kan göras i de undersökta anläggningarna.

Kostnader

De redovisade anläggningskostnaderna ligger i intervallet 6500-9500 kr/kW i 1986 års penningvärde. Vid byggnation av redovisade anläggningar idag skulle det med en optimal anläggningsutformning vara möjligt att sänka investeringskostnaderna med 10-35%. Det finns inget som tyder på några generella kostnadsminskningar per m slang för stora ytjordvärmekollektorer. Avgörande är markförhållandena och avståndet mellan kollektor och värmepump i det enskilda fallet.

1 INLEDNING

Ytjordvärmekollektorer har under många år använts som värmekälla till värmepumpar. Ett flertal anläggningar av olika storlek har följts upp av BFR, som även i vissa fall beviljat experimentbyggnadslån. Syftet med denna rapport är att sammanfatta resultaten från några anläggningar. Ytjordvärmedelen av värmeanläggningen vid Östra Greve folkhögskola har för övrigt ej tidigare avrapporterats. Syftet har dock framför allt varit att från verkliga anläggningar försöka dra generella slutsatser om dimensionering och kostnader.

2 VÄRMEPUMPANLÄGGNING VID ÖSTRA GREVIE FOLKHÖGSKOLA

I samband med utbyggnad av den i Skåne belägna Östra Gevie folkhögskola, 1981, installerades ett värmepumpsystem med jord och sjösediment som värmekälla.

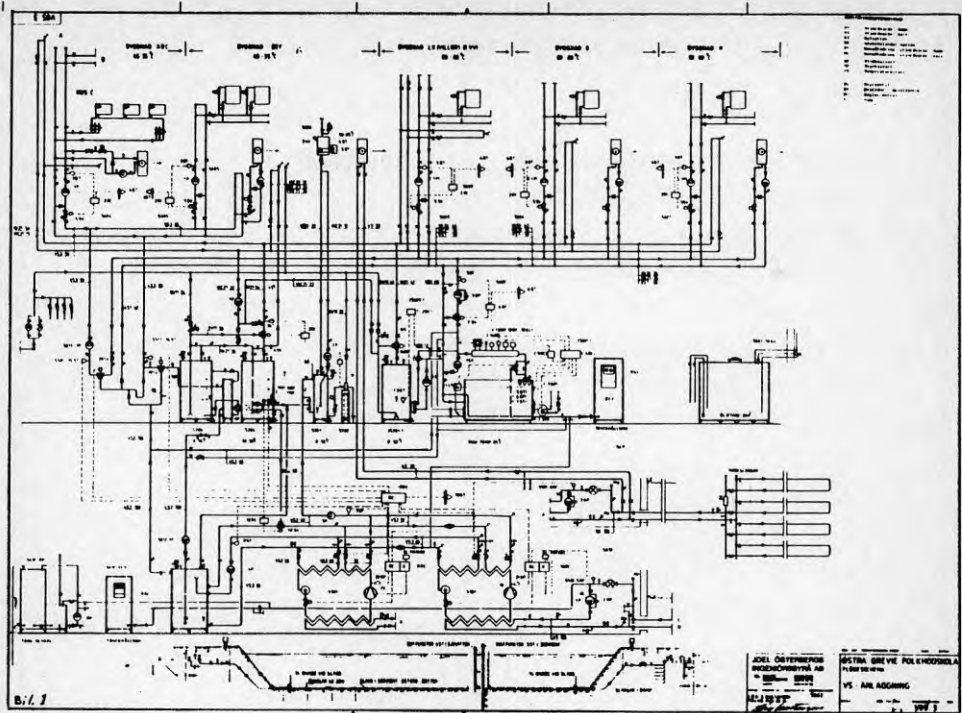
Sjövärmedelen av värmepumpanläggningen har följts upp av Institutionen för vattenbyggnad vid CTH. För att vinna erfarenheter även från ytjordvärmedelen inleddes 1981 ett samarbete mellan Geologiska institutionen och Institutionen för vattenbyggnad. Samarbetet innebar att mätningar på sjövärmekollektorn kompletterades med mätningar på ytjordvärmekollektorn. Mätningarna utfördes av Institutionen för vattenbyggnad. Mätresultaten har därefter ställts till Geologiska institutionens förfogande där utvärdering har skett. Sjövärmedelen och mätningar på värmepumparna finns avrapporterat i Svensson et al (1984), från vilken visst faktamaterial använts här.

2.1 Systemutformning och driftresultat

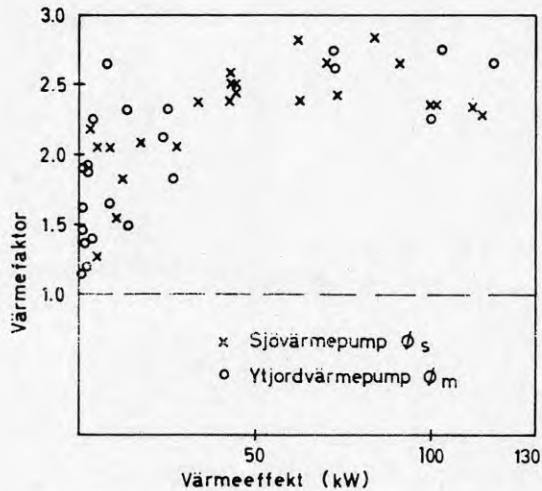
VVS-systemet

Värmepumpanläggningen är dimensionerad för att täcka effektbehovet för uppvärmning av nybyggnadsdelen samt täcka tappvarmvattenbehovet för hela skolan. Överkapaciteten vid utetemperaturer över -1°C , utnyttjas för uppvärmning av den äldre delen av skolan. Den äldre delen kräver högre temperaturer på radiatorvattnet, vid lägre temperaturer än -1°C , än vad värmepumpen kan producera och uppvärms därför helt med olja vid sådana temperaturer.

Värmepumparna är två stycken STAL Refrigeration VMV8 och avger 134 kW vardera vid 45°C utgående värmebärartemperatur och -5°C utgående köldbärartemperatur. Köldmedium är R22 och värmefaktorn uppges till 2.8 utan hjälpapparatur. Värmepumparna kan kapacitetregleras i tre steg (100%, 70%, 40%) och styrs av temperaturgivare i ackumulatortanken via reglercentral. Flödesschema över anläggningen visas i figur 2.1



Figur 2.1 Flödesschema över VVS-anläggning. Svensson et al (1984).



Figur 2.2 Systemvärmefaktorn som funktion av värmeeffekt. Mätvärden från perioden 820302-821008. Svensson et al (1984).

Värmepumparna går var för sig på ytjordvärmekollektor resp sjövärmekollektor. Manuell prioritering sker mellan dessa. Inkoppling av oljepannan för den äldre skoldelen sker också manuellt.

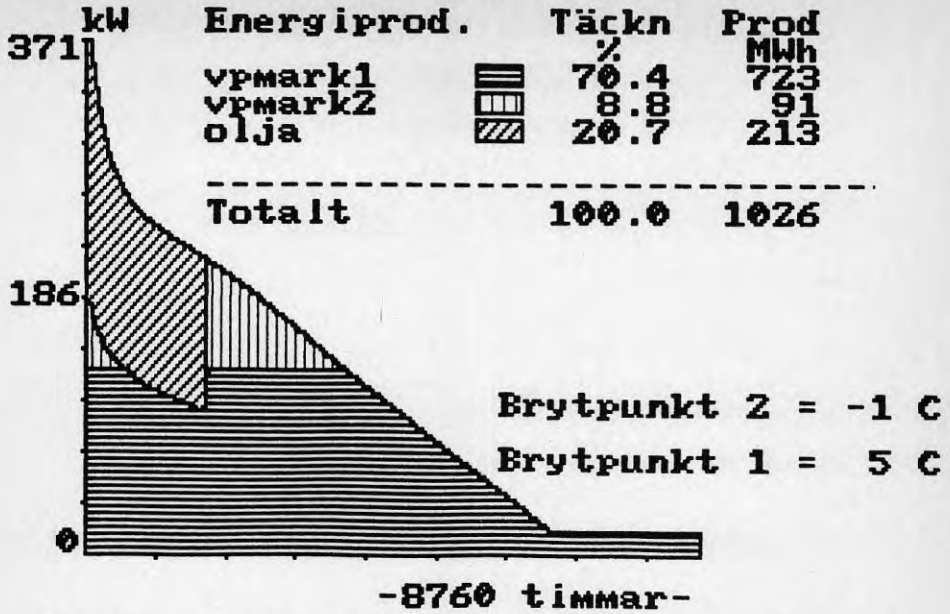
Arsvärmefaktorerna för värmepumparna inkl hjälppumpar ligger i intervallet 2.4-2.5. De är beräknade från energiuttag ur mark samt från elåtgång. Sjövärmepumpen har genomgående en högre värmefaktor än jordvärmepumpen vilket delvis kan förklaras med att jordvärmepumpen varit lågt prioriterad under mätperioden. Perioder med lågt utnyttjande av endera värmepumpen leder nämligen till låga värmefaktorer för denna (figur 2.2).

I tabell 2.1 visas de projekterade effekt- och energibehoven.

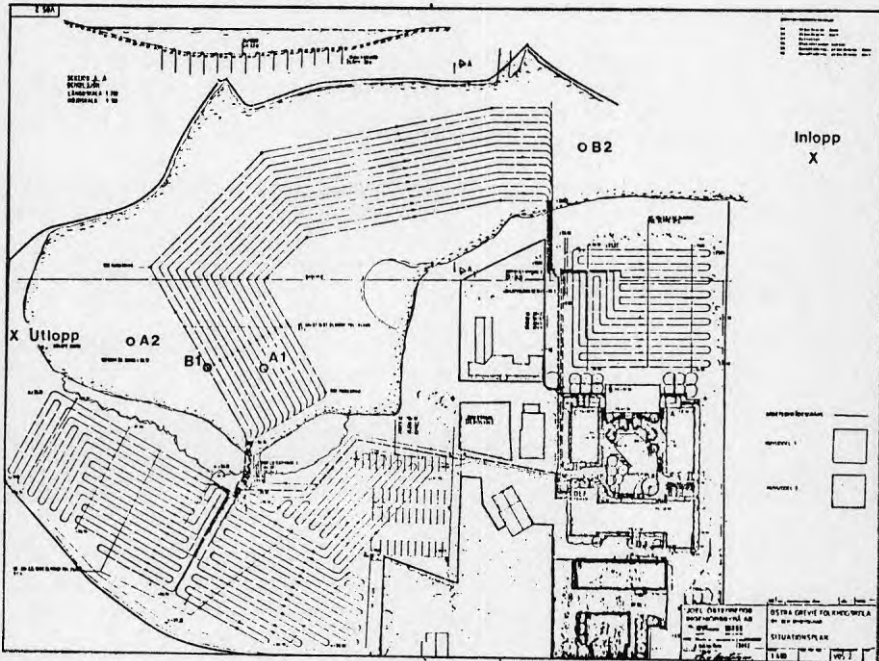
Tabell 2.1 Projekterat effekt- och energibehov.

	Effektbehov, kW, vid		Årligt energi- behov, MWh
	-14°C (DUT)	-1°C	
Tappvarmvatten	45	45	104
Nybyggnaden			
Transmission	60	37	132
Ventilation	142	89	282
Äldre byggnader vid utetemp. >-1°C	-	160	<u>310</u>
Täckt av värmepumpar			828
Äldre byggnader vid -1°C > utetemp > -14°C (olja)	<u>254</u>		<u>198</u>
	501		1026

Vid ett i efterhand konstruerat varaktighetsdiagram för anläggningen har de projekterade effektbehoven reducerats med en faktor ca 0.8 för att uppnå en rimlig balans med energibehovet. Ur varaktighetsdiagrammet i figur 2.3 framgår att drifttiden för den ena värmepumpen är låg. Från ekonomisk synpunkt är därför anläggningen för närvarande överdimensionerad.



Figur 2.3 Konstruerat varaktighetsdiagram. Brytpunkterna avser den temperatur då endera av värmepumparna ej står för hela energitäckningen.



Figur 2.4 Värmekollektorernas placering i sjö och jord. Sjö-kollektorn är den övre vänstra av de tre. Svensson et al (1984)

Ytjordvärmekollektor

3500-4000 m PEL-slang (Ø40) är förlagd på 2 områden enligt figur 2.4 (3500 m har använts i beräkningarna nedan). Förläggningsdjupet för slangen är 1.5 m med ett inbördes avstånd av 2.5 m. Köldbäraren går i samlingsledning till och från en fördelningsanordning på respektive yta. Från denna är sedan ett antal slangar parallellkopplade.

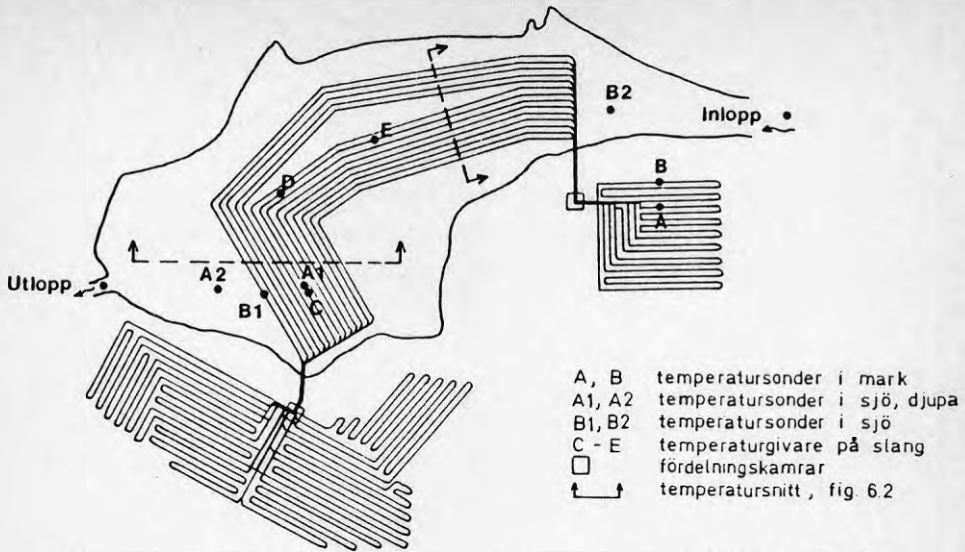
Två provgropar har grävts vid den mindre av kollektorerna enligt figur 2.5 (A och B). Jordarten är moränlera och tagna prover har en densitet på ca 2000-2200 kg/m³. Moränlerans värmekonduktivitet har uppmätts och övriga värmeöverförande egenskaper beräknats.

Som framgår av tabell 2.2 ligger värmekonduktiviteten inom intervallet 1.4 till 2.5 W/m⁰C. 2.1 har valts till ett typiskt värde för moränleran. I figur 2.8 redovisas teoretiskt beräknade värden för övriga värmeöverförande egenskaper. Sådana beräkningar kan göras utifrån Sundberg (1986).

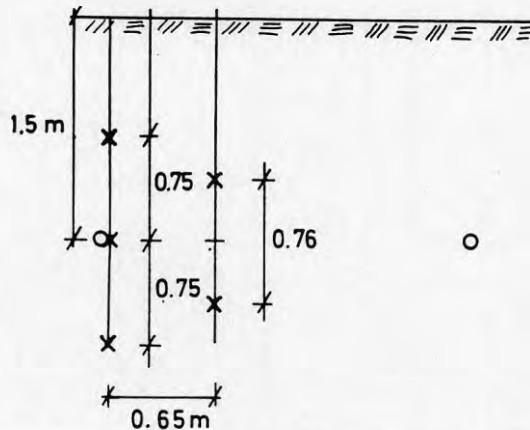
Tabell 2.2 Uppmätt värmekonduktivitet, vattenmättnadsgrad och skrymdensitet för moränlera vid plats A och B. Två värmekonduktivitetmätningar per prov är vanligen utförda.

Plats	Nivå m	Värmekonduktivitet $\pm \text{dev}$ W/m ⁰ C	Vattenmättnadsgrad %	Skrymdensitet kg/m ³
A	0.55	2.17±0.01	78	2200
A	1.05	1.79±0.03	71	2110
A	1.05	2.17±0.01	61	1950
A	1.05	1.82±0.01	57	1940
B	0.6	2.36±0.07	72	2220
B	1.05	2.46	-	2200
B	1.45	2.45±0.02	-	2240
B	1.5	1.40±0.18	-	2120
B	1.5	2.26±0.03	-	2050
		mv 2.10		

Temperaturen mäts på in- och utgående köldbärare samt i marken vid A och B (se figur 2.5, mindre kollektorn). 5 marktemperaturgivare än placerade vid varje mätprofil enligt figur 2.6.



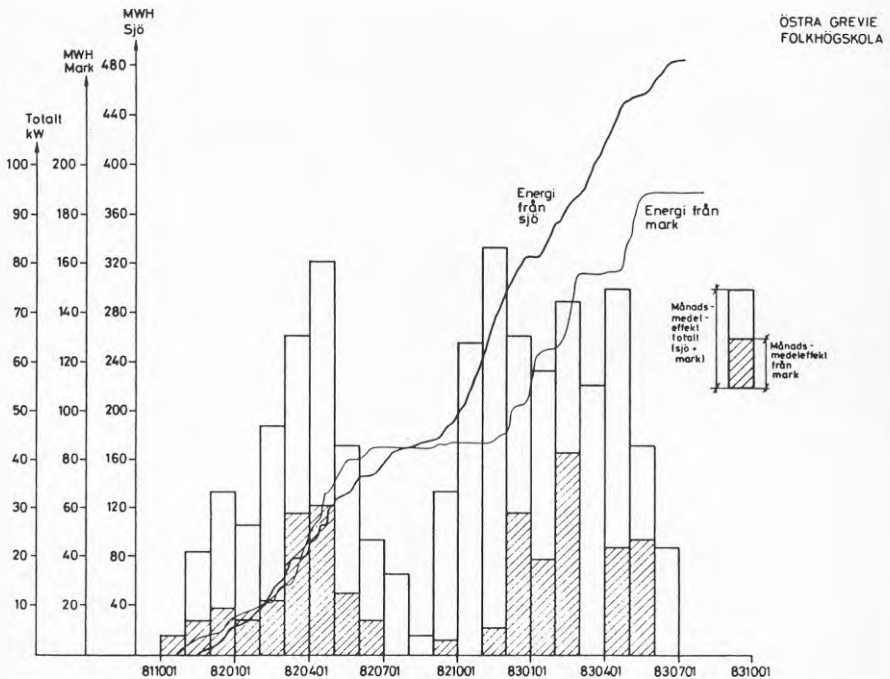
Figur 2.5 Lokalisering av provgropar och temperatursonder. (A och B vid den mindre ytjordvärmekollektorn). Svensson et al (1984).



Figur 2.6 Lokalisering av temperaturgivarnas placering i förhållande till slang och markyta.

Temperaturmätningarna har utförts manuellt med ca 1-2 veckors mellanrum. Detta är tillräckligt för marktemperaturmätningarna men otillräckligt för köldbärartemperaturerna då kännedom saknas om hur lång tid värmepumpen gått från start vid mättillfället.

Energiuttag och månadsmedelvärden av effektuttag från sjö- och ytjordvärmekollektorn för perioden 811101-831001 framgår av figur 2.7. Värdena är ej korrigerade för glykolinblandning. Ett genomsnitt av ytjordvärmeuttaget för de två åren är ca 11 kWh/m^2 och år. Den låga belastningen på markkollektorn har medfört att köldbärartemperaturen endast under kortare perioder varit under 0°C . Detta diskuteras närmare i kapitel 2.2, figur 2.9.

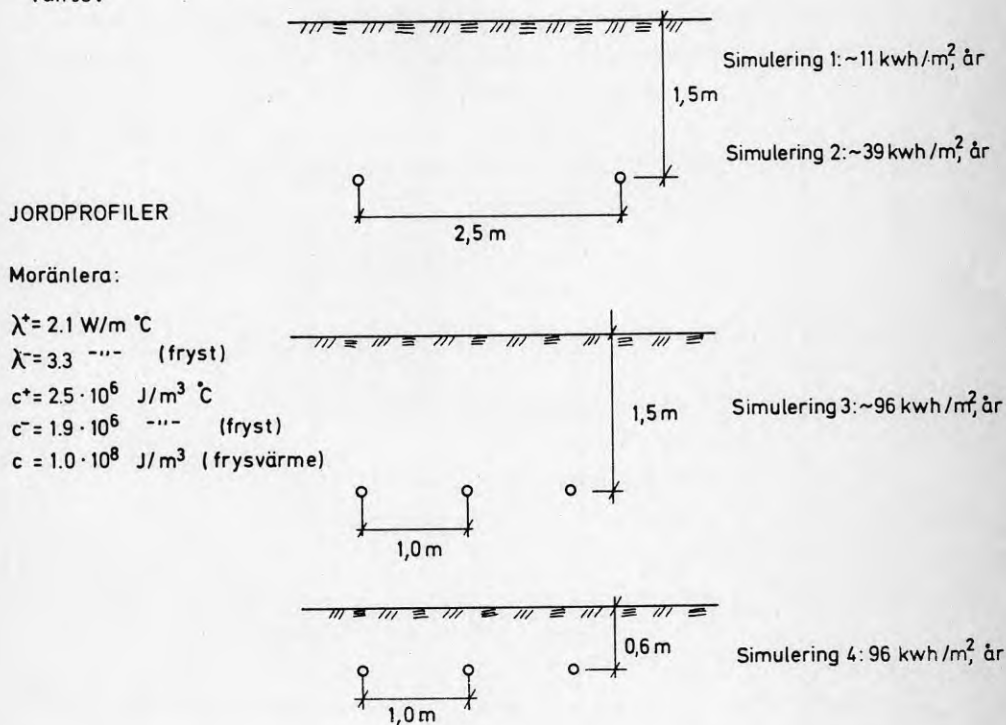


Figur 2.7 Kontinuerligt energiuttag och månadsmedelvärden av effektuttag från sjö- och ytjordvärmekollektorn. Observera att värdena ej är korrigerade för glykolinblandning.

Korrektionsfaktor för sjövärmeuttag: 0.94 (21% glykol)
Dito för ytjordvärmeuttag: 0.89 (28% glykol).

2.2 Simulering av markkollektorn

Kollektorns funktion har simulerats med hjälp av ett finit-differensprogram, utvecklat vid Matematisk fysik vid LTH och modifierat vid CTH. För beskrivning se Rhen et al, 1986. Syftet har varit att undersöka kollektorns funktion vid en hårdare belastning. Fyra simuleringar av ytjordvärmekollektorns uppförande har utförts (figur 2.8). Simulering 1 har använt sig av uppmätta energiuttag från markkollektorn (ca 190 MWh under 2 år) omvandlade till månadsmedelvärden (se figur 2.7). Månadsmedelvärde av lufttemperatur och snötäcke från Sturup har använts. Sturupdata fanns vid simuleringstillfället endast tillgängligt för perioden 811015-830430. Resterande månader 1983 har 1982 års värden använts.



Figur 2.8 Moränlerans värmeöverförande egenskaper samt slangkonfiguration och värmeuttag vid de fyra utförda simuleringarna.

Simulering 1: Verkligt uttag från ytjordvärmekollektorn, 11 kWh/m², år.

Simulering 2: Totala uttaget från sjö och jord belastar befintlig ytjordvärmekollektor, 39 kWh/m², år.

Simulering 3: Som 2 men cc-avståndet minskat till 1.0 m, 96 kWh/m², år.

Simulering 4: Som 3 men förläggingsdjupet minskat till 0.6 m, 96 kWh/m², år.

Vid simulering 2-4 har det totala energiuttaget från mark- och sjövärmekollektorn (ca 670 MWh) fått belasta markkollektorn, vilket innebär ett ca 3.5 ggr större energiuttag.

Köldbärartemperaturens variation över perioden 811015-831015 (simulering 1) framgår av figur 2.9. Under perioden 830702-831005 stod värmepumparna i stort sett stilla och simuleringresultat från denna period och framåt är ej relevanta.

Eftersom den simulerade köldbärartemperaturen (simulering 1) är ett resultat av månadsmedelvärden på effekten, medan den uppmätta är en punktmätning när värmepumpen går, kan ej direkt jämförelse göras. (Ur temperaturdata har borttagits sådana värden som troligtvis härrör från tidpunkter då värmepumpen ej varit i drift.) En tilläggsköldbärartemperatur har därför uträknats på grundval av skillnaden mellan månadsmedeleffekt och den medeleffekt som framräknats mellan tidpunkterna för två på varandra följande avläsningar. Nedanstående ekvation har använts:

$$T = - \frac{q}{4\pi\lambda} \cdot \left(\ln \left(\frac{4\kappa t}{R_0} \right) - 0.5772 \right) - q \cdot m_p \quad (1)$$

där

T = tilläggsköldbärartemperatur = $T_{\text{verklig}} - T_{\text{simulerad}}$, °C

q = effekt/m slang, W/m

λ = markens värmeledningsförmåga, W/m°C

κ = markens diffusivitet, ($\kappa = \lambda/c$), m²/s

t = tid, s

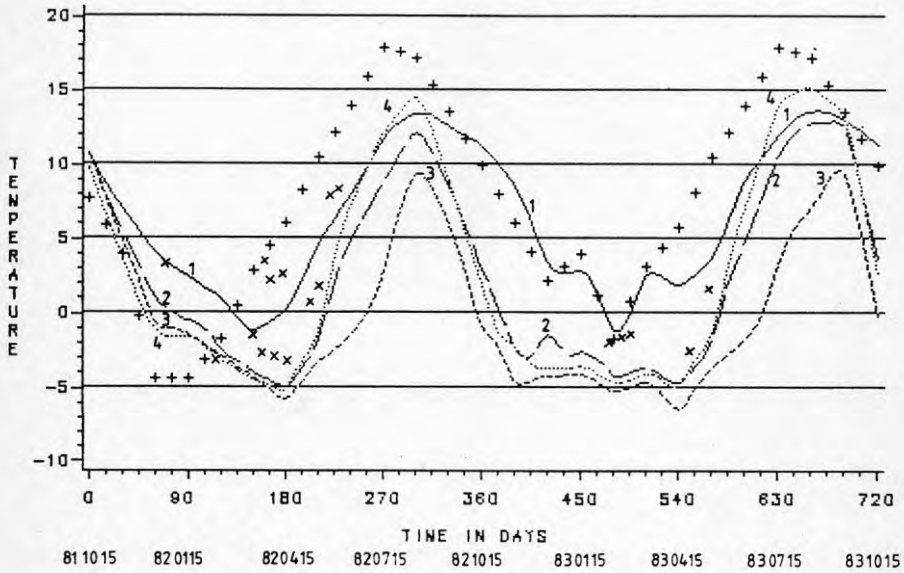
R_0 = slangradie, m

m_p = motstånd slang - köldbärare, °C/(W/m) (0.06 °C/(W/m))

Nedan redovisas några sådana tilläggstemperaturer för en effekt-puls om 6 dagar.

Tidpunkt	Tilläggs effekt	Frusna/ofrusna egenskaper	Tilläggs köldbärartemperatur
811227	7 kW	ofrusna	-0.7°C
820217	32 kW	frusna (?)	-2.4°C
820405	26 kW	frusna	-2 °C
820419	32 kW	frusna	-2.4°C
830428	34 kW	frusna (?)	-2.6°C

ÖSTRA GREVIE FOLKHÖGSKOLA BRINE- OCH LUFTTEMPERATUR



Figur 2.9 Simulerad och uppmätt köldbärartemperatur (brinetemperatur).
 1: Djup 1.4 m; cc-avst. 2.5 m; markv. uttag 11 kWh/m², år
 2: 1.4 2.5 39
 3: 1.4 1.0 96
 4: 0.6 1.0 96
 +++ Månadsmedelvärden av lufttemperaturen.
 xxx Uppmätt köldbärartemperatur.

Om de simulerade värdena korrigeras med tilläggs köldbärartemperatur fås betydligt bättre överensstämmelse med de uppmätta värdena i figur 2.9. En viss osäkerhet finns emellertid angående till-

läggseffektens storlek, pulsationens längd samt i vissa fall om frusna eller ofrusna värmeöverförande data skall användas vid beräkningen. Ekvation (1) förutsätter dessutom kontinuerliga förlopp, dvs att marken är helt frusen eller helt ofrusen inom pulsationens räckvidd.

Av de två marktemperaturprofilerna enligt ovan har endast A använts eftersom slangen vid punkt B ligger på ett grundare djup än vad som troligtvis är relevant för anläggningen som helhet. Temperaturdata från punkt A under den första tidsperioden är ej medtagna eftersom de då synbarligen är störda. En god överensstämmelse fås mellan marktemperaturmätningen och simulerade marktemperaturer enligt figur 2.10 och 2.11.

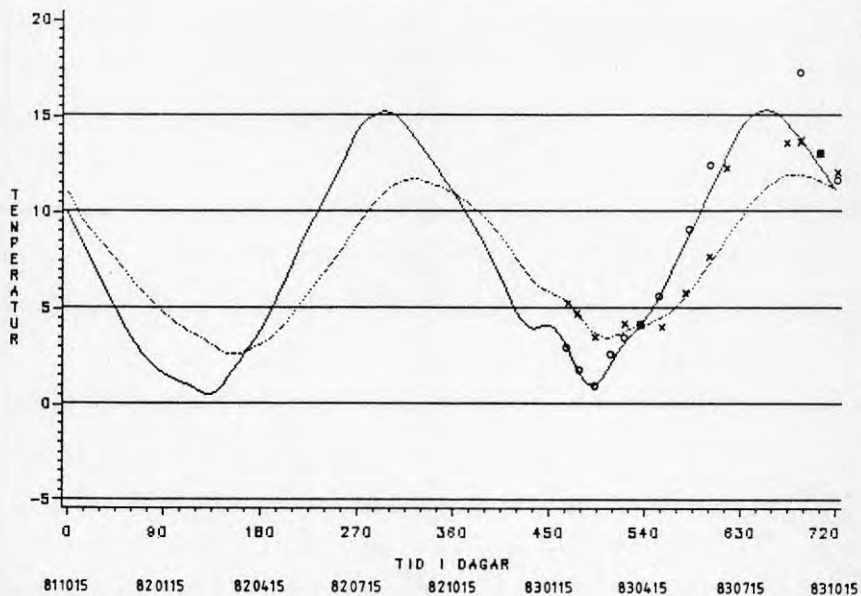
Det faktum att relativt god överensstämmelse erhållits mellan simulerade och uppmätta värden styrker att de i simuleringen använda förutsättningarna är relevanta. Tre simuleringar (2-4) har, som tidigare nämnts, gjorts för att undersöka om det totala energiuttaget från ytjord- och sjövärmekollektorn endast skulle kunna belasta ytjordvärmekollektorn med ett acceptabelt resultat. Forsök gjordes även med betydligt grundare förläggningsdjup och minskat cc-avstånd för slang.

Resultaten visar att ytjordvärmekollektorn ensam klarar hela skolans belastning. Köldbärartemperaturen blir dock tidvis väl låg varför en viss ökning av slanglängden är önskvärd. Resultaten visar också att en minskning av cc-avståndet är fullt möjlig med ett minst halverat ytbehov som följd. En grundare förläggning är gynnsammare för anläggningen eftersom regenereringen av värme sommartid underlättas och den negativa inverkan vintertid är liten.

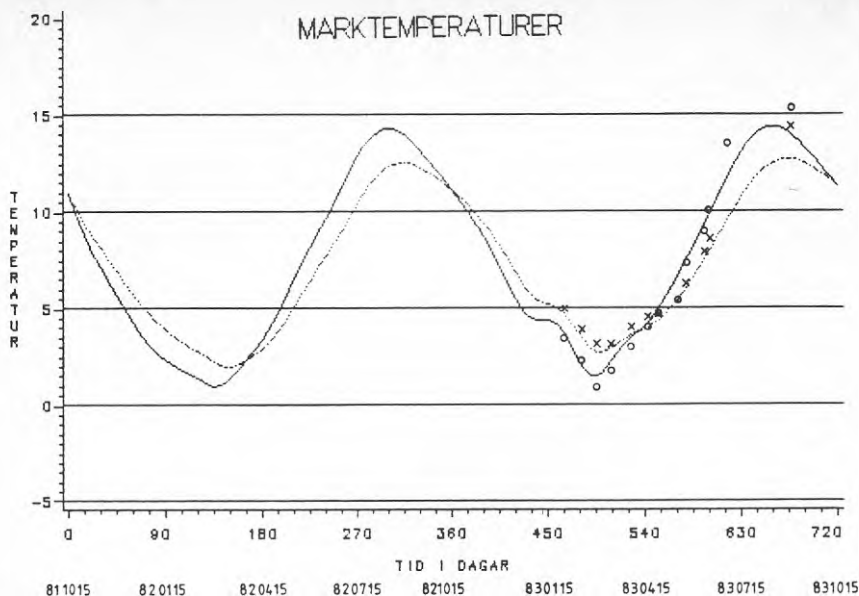
De energiviktade medelköldbärartemperaturerna för de två simulerade åren och för de olika simuleringarna framgår nedan. Det är den viktade köldbärartemperaturen som är relevant vid bestämning av värmefaktorn. Den relativa förändringen av en teoretiskt bestämd värmefaktor framgår nedan. Den hårdast dimensionerade kollektorn har teoretiskt drygt 10% sämre värmefaktor än ursprungsfallet. Denna reducering måste ställas mot den minskade investeringskostnaden.

Simulering	Viktad köldbärartemperatur	Relativ värmefaktorförändring
1	2.4°C	1
2	-0.8°C	0.93
3	-2.8°C	0.88
4	-1.2°C	0.92

MARKTEMPERATURER



Figur 2.10 Uppmätt och simulerad marktemperatur. Mätpunkter i slangens lodlinje, se figur 2.6.
o 0.75 m under markyta. x 2.3 m under markyta



Figur 2.11 Uppmätt och simulerad marktemperatur. 0.65 m horisontellt från slang, se figur 2.6.
o ca 1.1 m under markyta. x ca 1.9 m under markyta.

2.3 Kostnadsanalys

Investeringskostnad

Den slutliga investeringskostnaden för hela anläggningen uppgår till 1 824 kkr i 1981 års penningvärde fördelat på följande:

	1981	(inkl)
Anläggningsarbeten	640 865 kr	(mark- och sjökoll.)
Värmepumpinstallation	821 490 kr	(samlingsledning)
El-anläggning	39 946 kr	
Konsultkostnader	<u>322 118 kr</u>	
	Summa 1 824 419 kr	
	inkl mervärdesskatt	

Investeringskostnaden per installerad värmepumpeffekt blir i 1986 års penningvärde 9 600 kr/kW. Uppräkning har skett med ett medeltal av entreprenadprisindex för mark- och vvs-arbeten. Av investeringen är 1 070 kkr (1986) att hänföra till värmekällor i mark och sjö. Kostnaden blir 139 kr/m (7 700 m) vilket är en hög kostnad. 30% av denna kostnad är dock att hänföra till samlingsled-

ning m m. Kostnad för markkolektor för villa är idag 25-30 kr/m slang. Den stora kostnadsdifferensen beror sannolikt på bristande erfarenhet av stora ytjord- och sjövärmesystem, djupt förlagd slang, samt möjligen höga kostnader för samlingsledning och svår-schaktad jord. Någon uppdelning mellan mark- och sjökollektorn finns ej redovisad men möjligen är tyngdpunkten förskjuten åt sjökollektorn då denna var en av de första i sitt slag. Några större skalfördelar anses det inte generellt ligga i stor markkolektor då kostnadsminskning för själva kollektorn ofta äts upp av kostnader för samlingsledningar och fördelningsanordningar. Då förutsättningarna för olika anläggningar varierar kraftigt får dock en bedömning göras från fall till fall. Nedan förs ett resonemang om hur ändrad dimensionering i olika avseenden påverkar kostnaderna. Resonemanget är i vissa avseenden hypotetiskt, eftersom det görs i efterhand med facit i hand och utan hänsyn tagen till markanvändning etc. Resonemanget ger ändå en grov bild av hur ändrad dimensionering kan påverka kostnaderna för en verklig anläggning.

Ändrad markkolektordimensionering

I kapitel 2.2 visas att markkolektorn ensamt klarar hela markvärmeuttaget från värmepumparna. Ytbehovet kan genom detta och minskat cc-avstånd till 1 m reduceras från $15\,300\text{ m}^2$ ($8\,800 + 6\,500\text{ m}^2$) till ca $4\,000\text{ m}^2$ eller ca 25% av det ursprungliga behovet. I och med detta är markområdet närmast skolan tillräckligt. En förändring av läggningsdjupet från 1.5 m till 0.6 m ger också lägre läggningskostnader.

Kostnadsfördelningen mellan sjö- och ytjordkolektorn är ej känd, varför 50% av totalkostnaden för mark- och sjökollektorn läggs på ytjordvärmedelen. Antag sedan en kostnadsreducering med 30% för ytligare förlagd slang, mindre återställningsarbete samt mindre samlingsledning. Detta ger en kostnad på ca 95 kr/m slang (4 000 m) eller totalt ca 375 kkr (ca 35% av ursprunglig kostnad). Kostnaden är dock fortfarande drygt en faktor 3 högre än normalfallet. Värmefaktorn kan minska på grund av något lägre inkommande genomsnittlig köldbärartemperatur över året. Investeringskostnaden/kW minskar dock med ca 2 600 kr/kW (1986 års penningvärde) till 7 000 kr/kW.

Minskad värmepumpeffekt

Som framgår av figur 2.3 har den oprioriterade värmepumpen en mycket liten energitäckning, ca 10%. Om en värmepump tas bort reduceras investeringskostnaden.

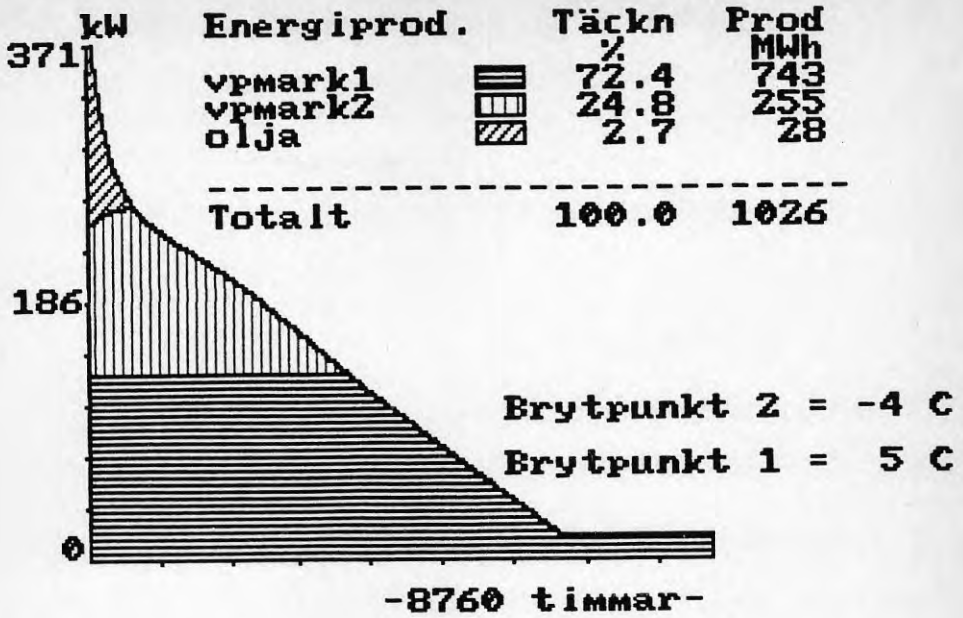
Antag en 35%-ig kostnadsminskning för värmepump och ackumulator på grund av halverad värmepumpeffekt och minskad ackumulatortankvolym. Detta skulle ge en kostnadsminskning med ca 280 kkr. 6% realränta och en avskrivningstid på 15 år ger en annuitet på 0.103. Den årliga kapitalkostnaden minskar då med ca 29 kkr. Ersättandet av de 90 MWh som värmepumpen täckte med olja kostar $((2500/(0.75 \cdot 10)) - 290/2.5) \cdot 90 \text{ MWh} = 19\,500 \text{ kr}$ vid ett oljepris av 2500 kr/m^3 , ett elpris av 290 kr/MWh, 75% verkningsgrad för oljepannan samt värmefaktorn 2.5 (13 500 kr vid 2000 kr/m^3). Den fasta årliga elabonnemangsavgiften kan också minskas.

Bibehållen värmepumpeffekt men ökad energitäckningsgrad

Den speciella formen för värmepumparnas energitäckning i figur 2.3 beror på den äldre byggnadsdelens höga temperaturkrav på radiatorvattnet. När värmepumpens maximala framledningstemperatur inte längre är tillräcklig för den äldre byggnaden (-1°C) sker manuell omkoppling till full oljedrift för densamma. Med ett förfinat reglersystem och annan driftstrategi vore det idag möjligt att öka energitäckningen något.

Om radiatorvattentemperaturen kan sänkas till en sådan nivå att begränsande faktor för värmepumpens energitäckningsgrad i stället blir värmepumpens avgivna effekt erhålls en varaktighetskurva enligt figur 2.12. Energitäckningsgraden blir då ca 95%. Driftkostnadsbesparingen för dessa 180 MWh vid oljepriset $2\,500 \text{ kr/m}^3$ blir ca 39 kkr (27 kkr vid $2\,000 \text{ kr/m}^3$).

Vid oljepriset $2\,000 \text{ kr/m}^3$ finns det därför upp till $27\,000/0.087 = 310 \text{ kkr}$ (vid 20 års avskrivning och 6% realränta) att lägga på VVS- och byggnadstekniska åtgärder som sänker radiatorvattnets framledningstemperatur till drygt 50°C . Det optimala ligger troligen i att med enklare åtgärder minska temperaturkravet i den äldre byggnadsdelen med $5\text{--}10^{\circ}\text{C}$ så att värmepumpen kan arbeta ner till ca -5°C och därigenom öka energitäckningen till ca 90%.



Figur 2.12 Varaktighetskurva vid optimalt utnyttjande av värmepumparna utan hänsyn tagen till begränsningar i form av högre framlednings- och returtemperatur.

3 YTJORDVÄRMESYSTEM FÖR CYKELFABRIK I VANSBRO

I november 1981 färdigställde AB Ch Kroon, numera Monark-Crescent AB, en cykelfabrik i Vansbro, Dalarna. Totalt omfattar byggnaden ca 3500 m² varav 3000 m² är verkstadsyta och resterande kontor och personalutrymmen.

Värmeproduktionsanläggningen består av en värmepump med ytjord som värmekälla samt en elpanna. Anläggningen följdes upp under 1 års tid (1982/83) av AIB med stöd av BFR. Projektet är avrapporterat i Sandqvist och Åbyhammar (1984) från vilken merparten av grundmaterialet till detta avsnitt är hämtat.

3.1 Systemutformning och driftresultat

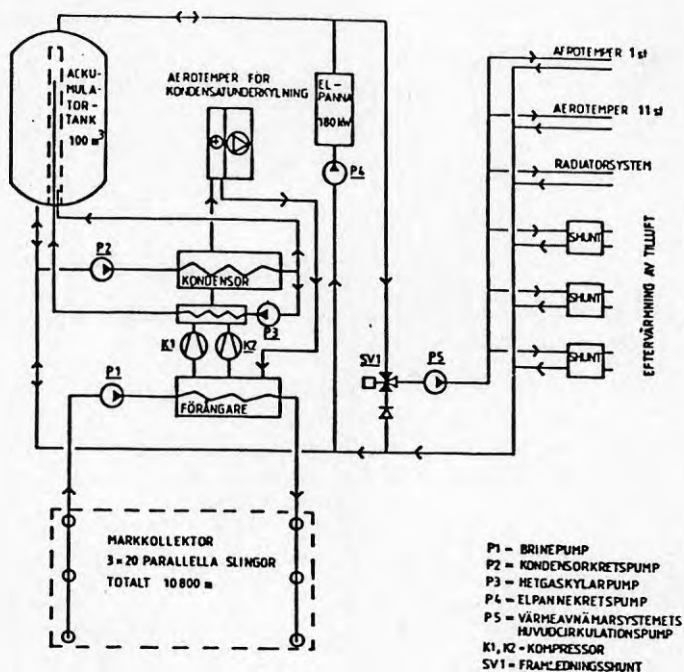
VVS-systemet

Värmepumpen är avsedd att ha en nominell värmeeffekt av 220 kW. Den är försedd med 2 kompressorer om vardera 30 kW. Effektreglering saknas varför värmepumpen vid drift går med full effekt. Värmepumpen är dimensionerad för att täcka effektbehovet ner till -15°C. Vid lägre utetemperatur är en elpanna på 180 kW tänkt att nyttjas. Fabriken har höga eleffektuttag i produktionen under dagtid och därtill mycket olika värmeeffektbehov under dag och natt. Därför installerades en ackumulatortank om 100 m³ för effektutjämning. Elpannan var tänkt att vid behov endast nyttjas vardagsnätter för att ej kräva högre eleffektbonnemang.

Värmepumpens hetgaskylare och kondensor arbetar mot ackumulatortanken på en mellannivå resp lågnivå för att uppnå optimal skiktning. Utetemperaturen samt temperaturgivare på olika nivåer i tanken styr via reglercentral in- och urkoppling av värmepump och elpanna. En kondensatunderkylare är utplacerad som luftvärmare i en lokal och verkar effekt- och värmefaktorhöjande. Distributionssystemet är dimensionerat för 45/35°C. Tappvarmvattnet värms separat via elberedare.

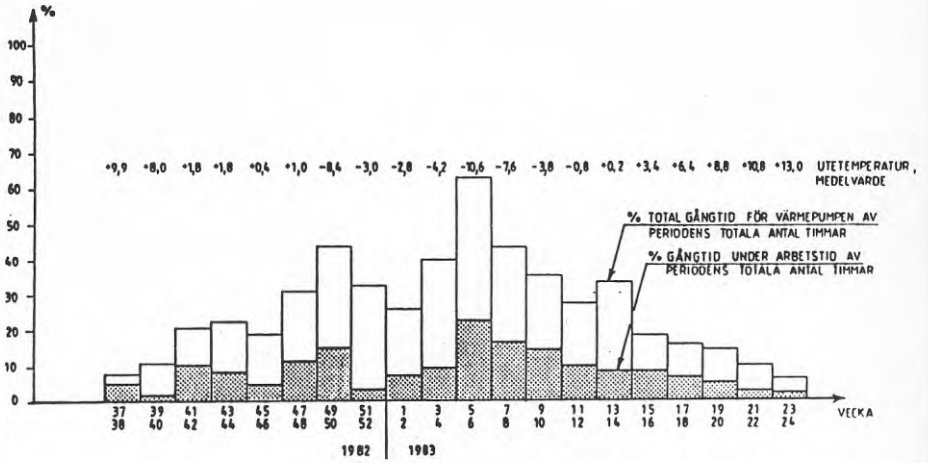
I praktiken har det emellertid visat sig att redan vid -6°C krävs det närmare 50°C framledningstemperatur. Orsaken till detta är ej

utredd. Detta i kombination med att värmebehovet visat sig vara mindre än väntat har inneburit att elpannan ej varit nödvändig att nyttja samt att ackumulatortanken ej fått den avsedda funktionen, att lagra vatten med en viss övertemperatur i relation till behovet.

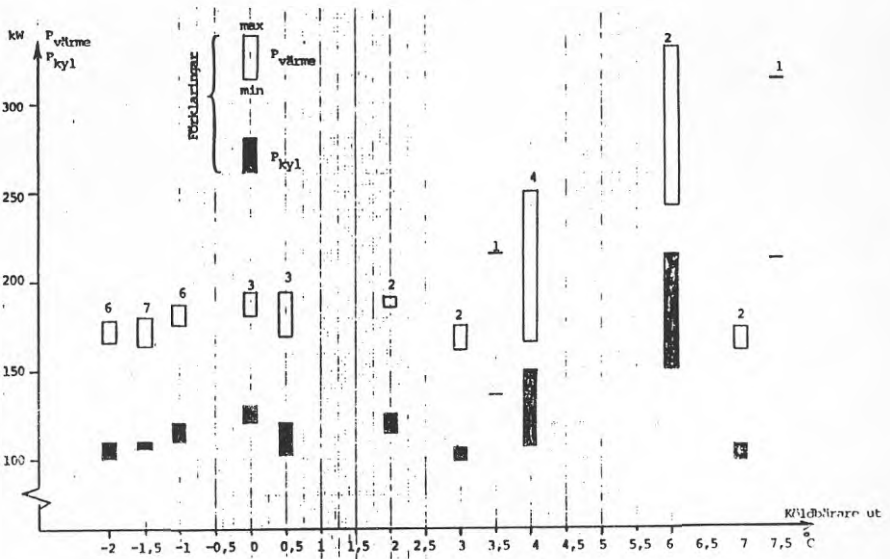


Figur 3.1 VVS-systemet. Sandqvist & Abyhammar (1984).

Värmepumpen har en uppmätt värmeeffekt av ca 170 kW vid -2°C utgående köldbärare och ca $50-55^{\circ}\text{C}$ utgående värmebärare. Medelvärmeeffekten över året har varit drygt 180 kW med ett medeleffektbehov av 69 kW, inkl hjälppumpar. Detta ger en systemvärmefaktor av drygt 2.6. Fabriken värmeeffektbehov är ca 150 kW vid DUT. Värmepumpen skulle därför kunna försörja fabriken även utan ackumulatortank. Ackumulatortanken har dock gjort att värmepumpens driftssätt förbättrats genom att drifttiden/start blivit längre och värmefaktorn troligen förbättrad. Detta är speciellt viktigt då värmepumpen saknar effektregering. Nödvändig ackumulatortank skulle dock kunna begränsas till 15 m^3 vilket motsvarar 1 timmes drift av värmepumpen vid en temperaturdifferens på 10°C . Figur 3.2 och 3.3 visar värmepumpens gångtid resp värme- och kyleffekt.



Figur 3.2 Värmepumpens gångtid uppdelad på 14-dagars perioder. Sandqvist & Åbyhammar (1984).



Figur 3.3 Uppmätta intervall för värme- och kyleffekter vid olika köldbärartemperaturer. Siffran ovanför resp stapel avser antal mätningar. Sandqvist & Åbyhammar (1984).

Ytjordvärmekollektorn

Markkollektorn består av 10 800 m slang (\emptyset 40 mm) med ett inbördes avstånd av 1 m. Kollektorn är fördelad på 3 sektioner med 20 slingor i varje. Kollektorn är förlagd på 0.9 m djup i finsandsiltig finsand. Grundvattenytan följer i stor utsträckning den näraliggande Västerdalälven. Utifrån tillgängliga mätdata varierade grundvattenytan 1982/83 över året med en amplitud av ca 0.4 m utifrån nivån 1.3 m under markyta.

De lägsta grundvattennivåerna sammanfaller vanligen med låga utetemperaturer och därmed höga värmeeffektbehov. Så är också fallet i Vansbro, vilket ger upphov till lägre vattenhalter vid slangnivå. Därmed påverkas de värmeöverförande egenskaperna negativt, i första hand genom att mängden frysvärme minskar och värmekonduktiviteten blir lägre.

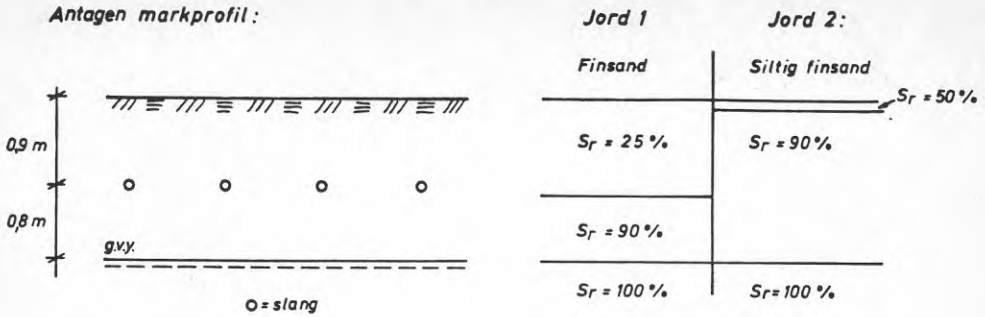
I figur 3.4 visas två markprofiler som bör täcka in osäkerhet i jordart och vattenhalt. De värmeöverförande egenskaperna för de olika skikten redovisas i figurtexten. Markackumulatorn belastas med ett kylenergiuttag på ca 20 kWh/m² och år.

3.2 Simulering av markkollektorn

För att utvärdera hur väl kollektorn är dimensionerad utfördes en datorsimulering av kollektorns funktion i samarbete mellan AIB och Geologiska institutionen, CTH.

För att täcka in osäkerhet i jordart och grundvattennivå har de två markprofilerna i figur 3.4 använts vid simuleringarna. 14-dagars medelvärden för effekt, snötäckning och lufttemperatur för 1982/83 har använts.

Lufttemperaturen har tagits från Malung det aktuella året, utom för tiden mellan v24 och v33 då statistiska medelvärden från Malung använts. 14-dagars medelvärden av effektuttag från mark har antagits till 5 kW under sommardelen mellan v24 och v33. Snödjup har sammanvägts av uppgifter från Dala-Järna och Malung och en värmeledningsförmåga på snön antagits. Eftersom anläggningen togs i drift ca 1 år innan mätningarna startade har en insvängningssäsong simulerats innan det aktuella mätåret.



Figur 3.4 Antagen markprofil och antagna vattenmättnadsgrader.

Antagna värmeöverförande egenskaper vid olika vattenmättnadsgrader:

S_r	λ^+	c^+	λ^-	c^-	L
25	0.8	$1.6 \cdot 10^6$	1.1	$1.3 \cdot 10^6$	$3.5 \cdot 10^7$
50	1.2	$2 \cdot 10^6$	1.8	$1.5 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^7$
90	1.5	$2.8 \cdot 10^6$	3.1	$1.9 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^7$
100	1.6	$2.9 \cdot 10^6$	3.1	$2.0 \cdot 10^6$	$14.5 \cdot 10^7$

S_r = vattenmättnadsgrad (%), (volym vatten/volym porer)

λ^+ = värmeledningsförmåga i ofryst tillstånd ($W/m^{\circ}C$)

λ^- = värmeledningsförmåga i fryst tillstånd ($W/m^{\circ}C$)

c^+ = specifik värmekapacitet i ofryst tillstånd ($J/m^3 \text{ }^{\circ}C$)

c^- = specifik värmekapacitet i fryst tillstånd ($J/m^3 \text{ }^{\circ}C$)

L = latent värme (J/m^3)

Eftersom säsongen 1982/83 temperaturmässigt låg över normalåret har även ett år som mer liknar ett normalår simulerats. Utifrån mätdata från ytjordvärmsystem i Orsa har energiuttaget från mark korrigerats till året 1981/82, som relativt väl liknade ett normalår. Detta innebär en ökning av energiuttaget för fjärde kvartalet med 25% och för första kvartalet med 10%. Utetemperaturen och snötäckning ändrades dock inte. Sänkningen i utetemperatur borde dock i viss mån kunna kompenseras av det ökade snötäcket (82/83 var ett snöfattigt år). För att vara på säkra sidan ökades dock energiuttaget från mark med 25% första kvartalet i stället för beräknade 10%. Dessa förändringar bör sammantaget ge köldbärartertemperaturer som är något lägre än för ett normalår.

Simulerade och uppmätta köldbärartertemperaturer framgår av figur 3.5. Streckad linje avser medeltemperatur i kollektorn vid simu-

tering med jord 2 och heldragen med jord 1, se figur 3.4. Den övre av de två parvis lika linjerna avser året 82/83 och den undre avser ett normalår. Med kors avses intermittent uppmätt, utgående köldbärartemperatur. Den är avläst manuellt och är inte korrelerad till om och hur länge värmepumpen har gått, vilket kan ge något höga värden vid vissa avläsningar. Eftersom värmepumpen inte går kontinuerligt, vilket antagits i simuleringarna, kommer även en korrekt uppmätt lägsta köldbärartemperatur alltid att vara något lägre än den simulerade. Om man antar att sanden runt slang är frusen på en radie av ungefär ett par dm kan man använda sig av analytiska lösningar för att beräkna tillfälliga effekttoppars inverkan på köldbärartemperaturen. (Se kapitel 2.2.) Puls längderna 9 och 48 h har använts för olika stora effektbehov, där den förstnämnda avser en arbetsdag med den stora effekttoppen som då erhålls på grund av fläktar m m. Den längre pulsen avser ett par dygn med hög belastning, t ex vid en köldknäpp. Antagandet ovan för den analytiska lösningen angående frusen sand kan anses vara tillgodosett för 9-timmarspulsen, men är tveksamt för 48 h pulsen. Vid höga belastningar över en längre tid når värmepulsen utanför den frusna zonen, vilket gör att förutsättningarna för den analytiska lösningen inte är uppfyllda.

Den befintliga värmepumpen tar maximalt ca 105 kW från mark vid en köldbärartemperatur av -2°C enligt tillgängliga data. Om man utgår från ett 14-dagars medelvärde på 65 kW ur mark (v15, v16), erhålls en tilläggs effekt utöver medeleffekten på $105-65=40$ kW, vilket motsvarar 3.7 W/m slang.

Resultatet redovisas i nedanstående tabell.

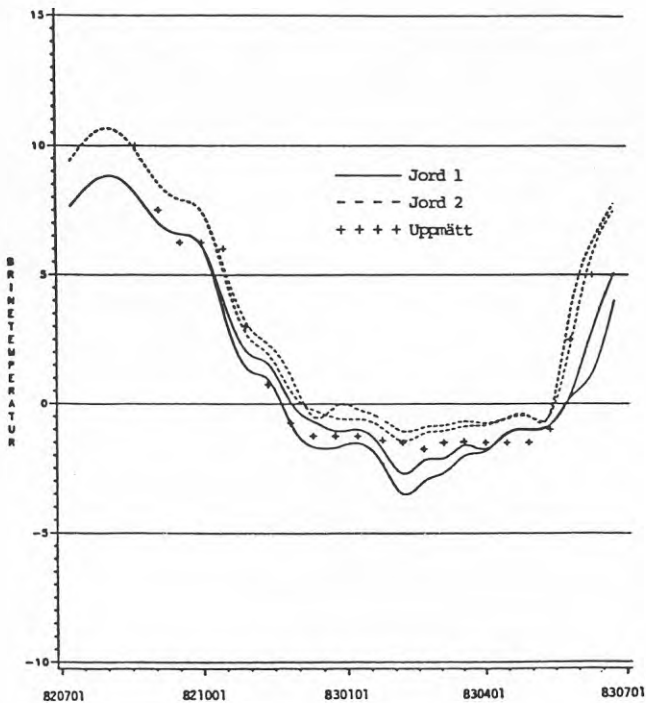
	Jord 1	Jord 2
Tid	3.7 W/m	3.7 W/m
9 h	-1.6 K	-0.5 K
48 h	-2.0 K	-0.7 K

Temperaturerna ovan anger den tillkommande temperatursänkningen för köldbäraren på grund av den högre belastningen och skall adderas till köldbärartemperaturen i figur 3.5.

Den uppmätta temperaturen skall ökas med $\Delta t_{\text{köldbärare}}/2$, dvs ca 1 grad, för att få en medeltemperatur över kollektorn. Efter dessa korrektioner sammanfaller de uppmätta temperaturerna relativt väl med den streckade linjen. Detta innebär att jord 2 (dvs den siltiga finsanden) speglar de naturliga markförhållandena bäst av de två simulerade markprofilerna, förutsatt att övriga indata är relevanta.

Av figur 3.5 framgår att köldbärartemperaturen efter förångaren från ca v47 till ca v19 ligger relativt konstant kring -2 till -1.5°C . Detta beror på markens höga vattenhalt som gör att det finns stora mängder latent värme att hämta nära slangarna. Figur 3.5 visar även att jord 2 (streckad linje) är mest gynnsam vid höga effektuttag på grund av dess höga vattenhalt.

KÖLDBÄRARTEMPERATUR VANSBRO



Figur 3.5 Simulerad och uppmätt köldbärartemperatur. För förklaring se text.

Lägre vattenhalt medför sämre värmeledningsförmåga och att mindre mängd latent värme finns att hämta nära slangen. Detta innebär att köldbärartemperaturen kan sjunka kraftigt vid stor och långvarig belastning. Mätningar av grundvattennivån visar att nivån varierar med en amplitud av ca 0.4 m. Nivån är dock som regel högre än vad som antagits vid simuleringarna.

Kylenergiuttaget var under det ovan beräknade normalåret ca 22 kWh/m² markyta. Med hänsyn till den något osäkra jordarten i kombination med grundvattenyttnivå bör markvärmeuttaget ej mer än fördubblas. En sådan fördubbling resulterar i ca 2°C lägre köldbärartemperatur vintertid.

3.3 Kostnadsanalys

Då det rör sig om en totalentreprenad på ett nybyggnadsobjekt har det varit svårt att specificera kostnaderna för värmesystem. Nedan angivna kostnader baseras på inkomna offerter för olika alternativ och avser merkostnader för det valda alternativet jämfört med en konventionell oljecentral samt beräknad kostnad för en konventionell oljecentral.

Merkostnad		
Värmecentral inkl kollektor och tank	670 kkr	
Projektering	60	
	<u>730</u> kkr	
Adm. och byggm.arvoden 8%	58	
	<u>788</u> kkr	
Ungefärlig kostnad konventionell värmecentral	150 kkr	(beräknad)
	<u>938</u> kkr	
Moms 10.5% (viktad)	+ 100 kkr	
	<u>1040</u> kkr	
Index 81-86, ca 44%	460 kkr	
	<u>1500</u> kkr	
		inkl moms i 86 års penningvärde

Detta ger en ungefärlig investeringskostnad av drygt 8 000 kr/kW. Siffran belastas av en i dagsläget onödigt stor kostnad för ackumulatortanken. En halvering av kollektorytan skulle ha inneburit en minskad investeringskostnad om 750 kr/kW under en antagen kollektorkostnad 25 kr/m slang.

3.4 Slutsatser

Värmebehovet är i verkligheten ca 70% av det projekterade. Effektbehovet är ännu lägre. Detta tillsammans med att högre framledningstemperatur krävs än vad som ursprungligen avsetts har inneburit att:

- elpannan är onödig (förutom som reserv)
- ackumulatortanken är onödigt stor
- värmepumpens avgivna effekt och värmefaktor har minskat (ca 20 resp 10%, även andra faktorer har dock påverkat)
- belastningen på markkollektorn har minskat från projekterade 35 kWh/m^2 till drygt 20 kWh/m^2
- anläggningen är på grund av ovanstående ej längre ekonomiskt optimal.

4 YTJORDVÄRME FÖR 88 SMÅHUS I SURTE

Tätorten Surte är belägen invid Göta Älvs östra strand ca 15 km norr om Göteborg. Bostadsområdet, som är uppfört under 1980-81, består av 88 enbostadshus och 30 lägenheter i flerbostadshus, se figur 4.1. Enbostadshusen är försedda med individuella ytjordvärmesystem. Området är den första stora tillämpningen i Sverige på ett stort sammanhängande markområde med horisontellt förlagd slang (ytjordvärme). Uppföljningen av värmepumpsystem har utförts av fyra institutioner vid CTH och separata forskningsrapporter är under publicering eller har publicerats.

Varje enbostadshus är försett med en heltäckande värmepump från Aga-Thermia, typ JBC 400 M. Värmepumpens avgivna värmeeffekt uppges vara 10 kW vid 0°C köldbärartemperatur och 50°C radiatorvattentemperatur. Det totala effektbehovet uppgår till ca 5-6 kW varför värmepumparna är överdimensionerade med i det närmaste en faktor 2. På basis av två referenshus som specialstuderats i Hallén & Edberg (in paper) kan typiska data för ett enbostadshus totala energibehov vara ca 14 000 kWh. Värmepumpens årsvärmefaktor är ca 2.3 med variation inom intervallet 2.2-2.6 beroende på årstid.

Ytjordvärme Kollektorn har specialstuderats av Wilén (1985). Den består av nerplöjd, 40 mm PEL-slang, förlagd på 0.7-1.0 m djup med ett c/c avstånd på 1.0-1.5 m. Varje enbostadshus är försett med 300 m slang, dvs totalt drygt 26 km på en areal av i runda tal 30 000 m². Energiuttaget blir därvid endast ca 20 kWh/m²,år. Marken består av lera. Då området är beläget på det gamla skredområdet från 1950 är leran omörd, vilket har fått till följd att både lös lera och torrskorpelera kan ligga i markytan. För torrskorpelera har värmekonduktiviteten bestämts till ca 1.2 W/m°C och värmekapaciteten till ca 3·10⁶ J/m³°C. För lös lera är värmekonduktiviteten ca 10-15% lägre och värmekapaciteten något högre.

Med ovan nämnda förutsättningar bör markenergiuttaget kunna åtminstone fördubblas till 40 kWh/m²,år utan att oacceptabelt låga köldbärartemperaturer uppnås (Rhen et al, 1986).

Entreprenadkostnaden fördelar sig enligt nedan:

Värmepump	16 950	
Markkolektor	5 400	(300 m slang)
Installation	ca <u>6 500</u>	(uppskattad kostn)
	28 550	(1978)
Kontroll, besiktning, 5%	ca 1 450	
Moms, 11% (viktad)	<u>3 300</u>	
	33 600	
Indexuppräkning 90%	<u>30 200</u>	
	63 800	

Enligt ovan fördelar sig kostnaderna i stort sett på 60% värmepump, drygt 20% installation och knappt 20% kollector. Totala kostnaden per installerad värmepumpeffekt blir ca 6400 kr/kWh. Om värmepumpkapacitet och kollektoryta reducerats enligt ovan, bedöms kostnadsreduceringen vara 30% på värmepumpen vid halverad effekt, 0% på installation och 50% på kollector eller totalt ca 25-30%. Det innebär en minskning med ca 12 öre/kWh vid värmebehov av 14 000 kWh och annuiteten 0.103 (6% realränta och 15 års avskrivning).

Ett annat tänkbart alternativ hade varit att nyttja en värmepump för två hus. Om tillkommande investeringar i form av värmekulvert och reglerutrustning uppskattas till 20 000:-/2 hus, minskar investeringen med ca 22 000 kr/hus eller 16 öre/kWh enligt samma förutsättningar som ovan.



Figur 4.1 Surteområdet.

5 YTJORDVÄRME FÖR 40 SMÅHUS I SANDHEDSOMRÅDET, ORSA

Sandhedsområdet är beläget i Orsa i norra Dalarna. På området är 36 småhus och parhus uppförda 1979-81. 22 av dessa, huvudsakligen småhus, förses med värme och tappvarmvatten från enskilda värmepumpar med ytjord som värmekälla. De övriga eluppvärms. Bostadsområdet är byggt på ett isälvsdelta och ytjordvärmekollektorn är placerad i mellansand med varierande grundvattennivå.

Funktionen hos ytjordvärmsystem ansågs av BFR intressant att följa upp, bl a från dimensioneringssynpunkt då jordvärmekollektorerna inom området hade olika förutsättningar att ta upp värme. Som jämförelse från forskningssynpunkt finns också de eluppvärmda småhusen. Området var också intressant som jämförelse med Surteprojektet då detta ligger i ett helt annat klimatområde. Utvärdering av markkollektorn har skötts av Geologiska institutionen, CTH (Rhen, i manuskript) och värmepumpen har studerats av Institutionen för värmeteknik och maskinlära (Hallén & Edberg, 1987).

Varje småhus är försett med en värmepump inkl tappvarmvattenberedning av fabrikat JBC 400 M. Parhusen är försedda med en gemensam värmepump av motsvarande fabrikat. Värmepumpen ger drygt 10 kW vid ca $-2^{\circ}/50^{\circ}\text{C}$. Ytjordvärmekollektorn i norra delen av området ligger i huvudsak ovan grundvattenytan medan den i södra delen ligger under grundvattenytan. Varje värmepump är försedd med 400 m slang utom de i parhusen som har 600 m. Då vattenhalten är en viktig parameter för markens värmeöverförande egenskaper får grundvattenytans läge i ett friktionsmaterial som detta stor betydelse för värmekollektorns värmeupptagande förmåga. Detta redovisas schematiskt i figur 5.2.

Som en konsekvens av detta ligger lägsta köldbärartemperatur i norra delen av området vanligtvis kring -5°C medan den i södra delen håller sig något under 0°C .

För de hus som har värmekollektorn ovan grundvattenytan har lägsta köldbärartemperatur varit -5°C och en mycket liten del tillsatsel har varit nödvändig utom för parhusen där 10-15% tillsatsel har använts.

För husen med värmekollektor under grundvattenytan har lägsta köldbärartemperatur legat kring 0°C . Jorden har varit i stort sett ofrusen på slangnivå. Tillsatselen har följt mönstret ovan. Parhusen har dock en tendens till att förbruka mindre tillsatsel, vilket man också kan förvänta.

Grundvattenflödet, som är relativt stort i Sandhed (ca 0.5 m/dygn verklig hastighet), har en positiv inverkan på värmeuttaget. Rhen beräknar att ca hälften av uttagen värmemängd härrör från grundvattenflödet.

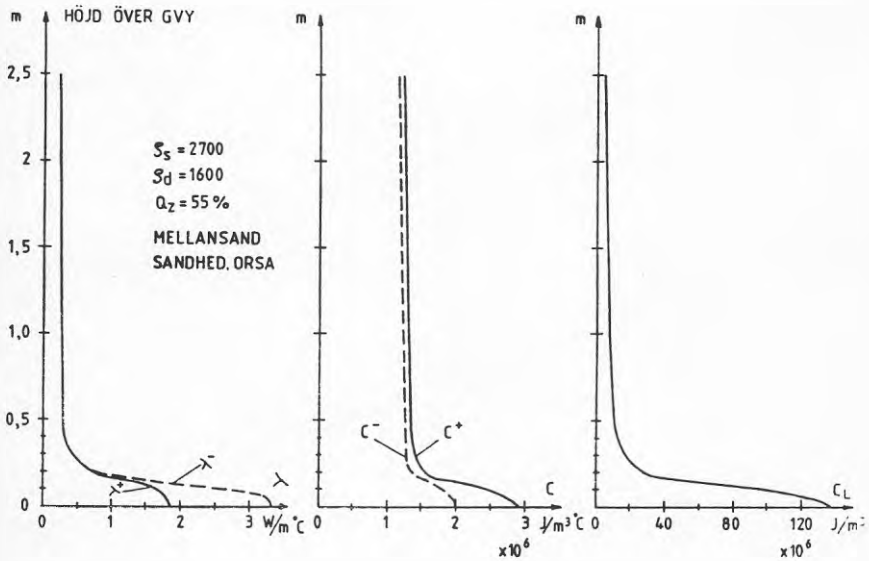
Resultaten från den norra delen av området tyder på att mängden tillsatsel är mycket låg även vid -5°C köldbärartemperatur. Värmepumpen är därmed av rimlig storlek i förhållande till behovet. Ytjordvärmekollektorn i den södra delen är klart överdimensionerad. Värmefaktorn bedöms ligga kring 2.2 och det årliga energibehovet är ca $24\ 000\text{ kWh}$. Markkollektorn har belastats med ca $18\text{ kWh/m}^2, \text{år}$.

Enligt Rhen et al (1986) bör värmeuttaget per m^2 markyta kunna 2-3-dubblas med en lägsta köldbärartemperatur av -5°C . Därmed skulle ytjordvärmekollektorerna för samtliga hus kunnat förläggas i den nedre delen av området och slanglängden därmed halveras.

Investeringskostnaden bedöms som likvärdig den i Surte, vilket innebär att kostnadsreduceringen vid en hårdare dimensionerad kollektor uppgår till ca 10% av totalkostnaden.



Figur 5.1 Sandhedsområdet, Orsa.



Figur 5.2 Värmeöverförande egenskaper i förhållande till grundvattenytans läge. Rhen (1982)

6 SAMMANSTÄLLNING

Vid samtliga fyra studerade objekt har värmepumpanläggningarna fungerat förhållandevis bra. Anläggningarna är funktionsmässigt av monovalent typ och med lågtemperatursystem. Östra Greveanläggningen har visserligen en oljepanna för vinterdrift i en äldre del av skolan, men någon samkörning mellan oljepanna och värmepump sker inte. En elpanna finns också vid Vansbroanläggningen men behöver i praktiken ej nyttjas. Anläggningarna har därför inte drabbats av annars relativt vanliga samkörningsproblem i bivalenta system.

Energi- och effektbehov

Energi- och effektbehoven är vanligen överskattade. Detta har inneburit att värmepumpen ofta överdimensionerats effektmässigt i förhållande till den ursprungliga projekteringen. Detta i sin tur får konsekvenser för värmepumpens driftsätt och ekonomiska resultat. Överskattningen av effektbehovet är på mellan 0 och 100% som framgår av tabell 6.1.

Värmefaktor

I årsvärmefaktorn ingår även elenergi för nödvändiga hjälppapparatur. Arsvärmefaktorerna har varierat från 2.2 för enbostadsanläggningarna till 2.7 för de större systemen, vilket i flera fall är lägre än förväntat.

Värmefaktorerna ligger i nivå med eller strax över vad man kan förvänta från luftvärmepumpar av motsvarande storlek. Det finns dock väsentliga skillnader i arbetsätt. En luftvärmepump arbetar ej under den kallaste perioden på året varför driften under denna period ej påverkar värmefaktorn negativt. En luftvärmepump dimensioneras alltid för dellast, varför effekten av en överdimensionering ej påverkar värmepumpens driftsätt vid låglast i lika hög grad. Kort gångtid/start och nedreglering påverkar kylprocessen negativt och därmed även värmefaktorn.

Markvärmeuttag - Miljökonsekvenser

Markvärmeuttagen kan rent fysikaliskt ökas med 100-700% räknat i kWh/m² och år för de olika anläggningarna. Markvärmeuttag påverkar den biologiska processen och maskfrekvensen i marken negativt och kan orsaka tjälproblem i tjälfarliga jordar. Beroende på tänkt markanvändning kan det därför vara motiverat att begränsa markvärmeuttagen.

Kostnader

De redovisade anläggningskostnaderna ligger i intervallet 6500-9500 kr/kW. Vid byggnation av redovisade anläggningar idag skulle det med annan anläggningsutformning vara möjligt att sänka investeringskostnaderna med 10-35%.

Tabell 6.1 Sammanställning av data från de studerade anläggningarna.

	Östra Grevie		Vansbro		Surte (per hus)		Orsa (per hus)	
	Förvänt.	Verkl.	Förvänt.	Verkl.	Förvänt.	Verkl.	Förvänt.	Verkl.
Effektbehov totalt, kW	500	ca 400	545	(ca 200)		5-6		ca 10
Värmepumpseffekt, kW	260	260	220	180	10	10	10	10
Energibehov totalt	1030	1030	550	400		14		24
Täckt av vp 1, MWh	830	700	535	400		14		23
Täckt av vp 2, MWh		100						
Arsvärmefaktor	2.8 ¹⁾	2.4-2.5	3.15 ¹⁾	2.6		ca 2.3		ca 2.2
Markvärmeuttag kWh/m ²		11	35	20		20		18
Möjligt markvärme- uttag kWh/m ²		80-90		ca 40		140		ca 60
Investering kr/kW		9600		8000		6400 ²⁾ ca 12000		6400
Investering vid nyproduktion av optimerad anläggning kr/kW		6-7000		ca 6-7000		7-9000		5500-6000

1) Exkl hjälpmaskiner

2) Beräknad på installerad värmepumpseffekt resp verklig värmeeffekt

REFERENSER

- Hallén, T, Edberg, B, 1987: Surteprojektet - Värmeteknisk utvärdering av två referenshus. (Jordvärmegruppen, CTH) Rapport 24:1987. Göteborg.
- Hallén, T, Edberg, B, 1987: Orsaprojektet - Värmeteknisk uppföljning. Resultat från 7 månaders mätning januari-juli 1983. (Jordvärmegruppen, CTH) Rapport 25:1987. Göteborg.
- Rhen, I, 1982: Horisontella jordvärmesystem över och under grundvattenytan. (Jordvärmegruppen, CTH) Rapport 4:1982. Göteborg.
- Rhen, I, 1987 (in paper): Erfarenheter från 19 ytjordvärmesystem i Orsa. Slutrapport.
- Rhen, I, Sundberg, J, Modin, B O, 1986: Dimensionering av ytjordvärmekollektor. Beräkningar med simuleringsmodell. (Byggnadsforskningsrådet) R13:1986. Stockholm.
- Sandqvist, J, Åbyhammar, T, 1984: Större ytjordvärmesystem för cykelfabrik i Vansbro. Mätning och utvärdering. Internrapport från AIB, Solna.
- Sundberg, J, 1986: Värmeöverförande egenskaper i svenska jordarter. Värmeledning, specifik värmekapacitet och latent värme. (Byggnadsforskningsrådet) R104:1986. Stockholm.
- Svensson, T, Gustavsson, S, Lindqvist, T, 1984: Sjö och ytjord som värmekälla. Mätning och utvärdering av värmepumpanläggning vid Ö. Grevie. (Byggnadsforskningsrådet) R195:1984. Stockholm.
- Wilén, P, 1985: Surte-projektet. 88 småhus med ytjordvärme. Slutrapport. (Jordvärmegruppen, CTH) Rapport 18:1985. Göteborg.

PUBLIKATIONER FRÅN JORDVÄRMEGRUPPEN

BFR-RAPPORTER

- Blomqvist N & Jacobson L: Förstudier av byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. Förutsättningar i befintlig bebyggelse. BFR-rapport R94:1978.
- Modin B: Förstudier av byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. Geologiska faktorer. BFR-rapport R55:1979.
- Jordvärmegruppen CTH: Nordic Symposium on Earth Heat Pump Systems. Preprints + supplement. 1979.
- Berntsson T: Dimensionering av jordvärmesystem. Teknik och ekonomi. BFR-rapport R53:1980.
- Modin B & Wilén P: Byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. Geologiska förutsättningar för värmelagring i lera inom större tätorter i Mellansverige. BFR-rapport R88:1980.
- Berntsson T, Franck P-Å, Jacobson L, Modin B & Wilén P: The use of the ground as a heat source for heat pumps in urban areas. BFR-rapport D39:1980.
- Jordvärmegruppen CTH: Användning av mark som värmekälla för värmepumpar i tätort. Översiktliga tekniska-ekonomiska bedömningar. BFR-rapport R149:1980.
- Jacobson L: Vindberoende konvektorer för värmepumpsystem i befintliga hus. BFR-rapport R82:1982.
- Jacobson L: Jordvärmesystem med värmepump i befintlig och ny bebyggelse. Förprojektering av sju objekt i Västsverige. BFR-rapport R112:1982.
- Berntsson T & Bäckström B: Jordvärmegruppen vid CTH, FoU-verksamhet 1981-84. BFR-rapport G10:1985.
- Sundberg J, Thunhom B & Johnson J: Värmeöverförande egenskaper i svensk berggrund. BFR-rapport R97:1985.
- Rhen, I Sundberg J & Modin B O: Dimensionering av ytjordvärmekollektor. Beräkningar med simuleringsmodell. BFR-rapport R13:1986.
- Sundberg J: Värmeöverförande egenskaper i svenska jordarter. Värmeledning, specifik värmekapacitet och latent värme. BFR-rapport R104:1986.

JVG-RAPPORTER

(Fr o m m ä r s 1981 har Jordvärmegruppen publiceringsavtal med BFR, vilket innebär att vissa rapporter framgent kommer att utges som s k JVG-rapporter.)

- Wilén P: Grundvatten som värmekälla för husuppvärmning med värmepump. Litteraturstudie, system och ekonomi. JVG-rapport nr 1. 1981.

- Franck P-A, Modin B & Rosenblad G: Värmepump med vertikalt jordvärmesystem och vindkonvektorer. Utvärdering av ett fullskaleprojekt i Utby. JVG-rapport nr 2. 1981.
- Rhen I: Registrering av vattenhalt i jord genom mätning av den elektriska kapacitansen. JVG-rapport nr 3. 1981
- Rhen I: Horisontella jordvärmesystem över och under grundvattenytan. Geologiska förutsättningar i Orsa. JVG-rapport nr 4. 1982.
- Sundberg J: Metoder för bestämning av värmeöverförande egenskaper i jord och berg. JVG-rapport nr 5. 1982.
- Svensson T & Wilén P: Sedimentvärme för bostadsområdet Finnsnäs, Mora. Förstudie av geologiska och hydrologiska förutsättningar. JVG-rapport nr 6. 1982.
- Berntsson T & Ågren M: Jordvärmepumpar. Kostnader för den apparattekniska delen. JVG-rapport nr 7. 1982.
- Berntsson T: Measurements on a water-to-water heat pump using mixtures of R22 and R114 as working fluid. JVG-rapport nr 8. 1982.
- Jacobson L: Jordvärme för energi- och oljebesparing i flerbostadshus. JVG-rapport nr 9. 1982.
- Berntsson T, Franck P-A & Ljungquist J: Vertikal jordvärmeanläggning i befintlig bebyggelse. Kostnadsberäkning för en flerbostadsfastighet i Torpa, Göteborg. JVG-rapport nr 10. 1982.
- Modin B & Rhen I: Frysning av lera i jordvärmelager i Utby. JVG-rapport nr 11. 1983.
- Wilén P: Ytjordvärmesystem i lera för 88 enbostadshus i Surte. Markpåverkan. JVG-rapport nr 12. 1983.
- Rhen I, Sundberg J & Wilén P: Horizontal pipe systems in soil for heating and cooling of single family houses. JVG-rapport nr 13. 1984.
- Rhen I & Wilén P: Vertikala rörsystem för värmelagring i sand och silt. Förstudie. JVG-rapport nr 14. 1984.
- Wilén P: Jordvärmelager i lera för småhus i Alingsås. Mätning och utvärdering. JVG-rapport nr 15. 1984.
- Larsson B, Franck P-A & Beijer N: Värmeinfångning med vindkonvektorer för jordvärmeanläggningar. Studier på 1940-60-tals flerbostadshus. JVG-rapport nr 16. 1985.
- Modin B & Wilén P: Värmelagring med vertikala rörsystem i lera. Teknik och ekonomi. JVG-rapport nr 17. 1985.
- Wilén P: Surteprojektet - 88 småhus med ytjordvärme. Markpåverkan. Slutrapport. JVG-rapport nr 18. 1985.
- Adolfsson K, Franck P-A, Rhen I & Sällfors G: Frysning av lera i jordvärmelager. JVG-rapport nr 19. 1985.

- Rosenblad G: Värmelagring i lera för villa med luftkonvektorer i Utby. Värmeteknisk utvärdering. JVG-rapport nr 20. 1986.
- Wilén P & Rhen I: Metoder och kostnader för anläggande av värmelager i mark med vertikala rör. Förstudie. JVG-rapport nr 21. 1986.
- Rosenblad G, Berntsson T & Franck P-Å: Hög- och lågtemperaturlagring i mark - tekniska ekonomiska aspekter. JVG-rapport nr 22. 1986.
- Holmberg P, Berntsson T, Schroeder K: Sunclayanläggningen i Kungsbacka. Värmeteknisk uppföljning. JVG-rapport nr 23. 1986.
- Hallén T & Edberg B: Surte-projektet. Värmeteknisk utvärdering av två referenshus. JVG-rapport nr 24. 1987.
- Hallén T & Edberg B: Orsa-projektet. Värmeteknisk uppföljning. Resultat från 7 månaders mätningar januari-juli 1983. JVG-rapport nr 25. 1987.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840553-2 från
Statens råd för byggnadsforskning till Geologiska institutionen,
Chalmers tekniska högskola, Göteborg.**

R98: 1987

ISBN 91-540-4797-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707098

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 33 kr exkl moms