



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

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



Rapport

R35:1983

**Solvärme med säsongslagring i
lera för 500 hus i Kristianstad**

Förstudie

**Eskil Green
Bengt Göransson
Bo G Mårtensson**

K
adr

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac Ser

Byggtforskningsrådet

R35:1983

SOLVÄRME MED SÄSONGLAGRING I LERA
FÖR 500 HUS I KRISTIANSTAD

Förstudie

Eskil Green
Bengt Göransson
Bo G Mårtensson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811802-2 från Statens råd för byggnadsforskning
till Planeringskontoret, Kristianstads kommun,
Kristianstad.

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

R35:1983

ISBN 91-540-3904-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	5
1. INLEDNING	7
1.1 Idén	7
1.2 Studien	7
2. ORIENTERING	9
2.1 Områdesbeskrivning	9
2.2 Geologi, allmänt	9
2.3 Befintlig bebyggelse	9
3. KORT BESKRIVNING AV OBJEKTET	13
3.1 Värmesystemet	13
3.2 Förändrade förutsättningar	13
4. GEOLOGISKA OCH GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	15
4.1 Inledning	15
4.2 Jordlager	15
4.3 Grundvatten	18
4.4 Värmetekniska egenskaper	19
4.5 Slutsats	19
5. SOL/MARKVÄRMESYSTEMET	21
5.1 Området och bebyggelsen	21
5.2 Värmebehov	21
5.3 Temperaturnivåer, fjärrvärmesystem ...	21
5.4 Systemfunktion	22
5.5 Solfångaranläggning	22
5.6 Markackumulator	26
5.7 Värmecentralen	27
6. DRIFT OCH KAPACITET	29
6.1 Olika driftsfall	29
6.2 Sol/markvärmesystemets kapacitet	29
7. EKONOMI	31
7.1 Investeringskostnader	31
7.2 Driftskostnader	33
7.3 Pay-offtid	33
8. REKOMMENDATIONER	35
BILAGEFÖRTECKNING	37
BILAGA 1 Resultat från värmetekniska mät- ningar på lera utfört av Chalmers Tekniska Högskola	39
BILAGA 2 Resultat från laboratorieförsök på lera. Siktkurvor och provtabell	41
LITTERATURFÖRTECKNING	45

SAMMANFATTNING

I Kristianstadsförorten Hammar finns idag ett mindre fjärrvärmesystem som värmeförsörjer ett nybyggt bostadsområde omfattande 170 lägenheter. Nära detta område skall ytterligare ca 175 lägenheter byggas och integreras i fjärrvärmesystemet.

Inom utbyggnadsområdet finns lermäktigheter på upp till 15 m och tanken på att använda lera som säsongslager för solvärme, för utnyttjande i fjärrvärmesystemet, väcktes på planeringskontoret i Kristianstads kommun. I denna förstudie har idén utvecklats och prövats i tekniskt/ekonomiskt hänseende.

Att samla in, långtidslagra och sedan vid behov använda solenergi är tidigare prövat för enskilda objekt men hittills aldrig med denna tillämpning - i samband med fjärrvärme.

Systemet kommer att bestå av huvuddelarna solfångaranläggning, markackumulator och värmepumpanläggning och skall fungera enligt följande:

Solvärme samlas under sommarhalvåret in genom enkla solfångare, placerade på taken till de 175 tillkommande lägenheterna. Värmeenergin nerförs via plastslangar till markens lera - i genomsnitt ca 14 m mäktig - där den avges och ackumuleras. Markackumulatören förläggs till ett område alldeles bredvid exploateringsområdet.

Lera har förhållandevis goda värmelagrande egenskaper med kapaciteter på ca 0,9 kWh/m³, °C - ett värde som också gäller i Hammar.

Under vinterhalvåret vänds systemet och den lagrade värmeenergin tas tillbaka och temperaturhöjs i en värmepumpanläggning som placeras i anslutning till den kvarstående panncentralen. Oljepannor kommer att svara för reserv - och spetsvärme.

Samspelet mellan solfångaranläggning, markackumulator och värmepumpanläggning kommer att styras av en automatisk reglerutrustning som ger optimal drift.

Fullt utbyggt kommer fjärrvärmesystemet således att omfatta 345 lägenheter med ett antaget sammanlagt värmebehov av:

- | | |
|---|-----------|
| - effektbehov, sammanlagrat; | 1 930 kW |
| - energibehov, inkl 5 % kulvertförlust; | 4 700 MWh |

Markackumulatorn med en volym av ca 274 000 m³, kommer att genomborras av ungefär 137 000 m vertikalt placerade plastslangar som skall nerföra värmen i marken. Med en temperaturdifferens på 80°C - +200°C till +120°C - mellan fulladdat resp urladdat lager blir ackumulatorkapaciteten ca 2 000 MWh. Ackumulatorns värmeförluster bedöms bli i storleksordningen 400 MWh/år.

Solfångarna kommer utöver att leverera värme till markackumulatorn också periodvis att direktförsörja värmepumpanläggningen med värme.

För värmeproduktionen krävs ca 4 000 m² solfångaryta vilket utgör drygt 60 % av byggnadernas samlade södertakyta.

Den lågtempererade värmeenergin från markackumulator och solfångare transporteras till värmepumpanläggningen där temperaturnivån höjs till max 700°C. Anläggningen om sammanlagt ca 950 kW, delas för god effektregering upp i 2 enheter och ansluts till fjärrvärmesystemets returledning. När värmepumparna inte räcker till effekt- och temperaturmässigt -fjärrvärmesystemet är dimensionerat för max 900°C i framledningstemperatur - kopplas vanliga värmepannor in för spetseffekt.

Sol/markvärmesystemet bedöms totalt kunna leverera ca 3 900 MWh/år till fjärrvärmesystemet, inklusive knappt 900 MWh som utgör värmepumparnas drivenergi. Detta innebär ungefär 83 % energitäckning.

Investeringskostnaderna för sol/markvärmesystemet har uppskattats till ca 9,3 miljoner kr och dess driftskostnader till ca 340 000 kr/år i dagens prisläge. Moms är ej inräknat i dessa priser.

Ett alternativt värmeproduktionssystem skulle sannolikt bestå av en fastbränsleenhet förberedd för fliseldning. Investeringskostnaden för detta skulle ligga kring 1,3 miljoner kr och dess driftskostnad uppgå till omkring 1,05 miljoner kr/år, oavsett om driften baseras på olja eller flis.

Sol/markvärmesystemets pay-offtid uppgår således till ca 10 år, räknat i jämförelse med det skisserade alternativsystemet.

Föreliggande förstudie visar inga avgörande tekniskt/praktiska hinder som kan äventyra projektets genomförande. Om projektet avses realiseras bör dock en del osäkra förhållanden närmare utredas. Särskilt grundvattenrörelserna kring markackumulatorn måste kartläggas för att bättre kunna beräkna ackumulatorns värmeförluster.

1. INLEDNING

1.1 Idén

Detta projekt har fötts ur den ständigt utmanande idén: Att samla in och lagra solenergi från sommarhalvåret för användning under vinterhalvåret då uppvärmningsbehovet är stort - med resultatet, sänkta värmekostnader.

Projektförslaget väcktes vid Kristianstads kommuns planeringskontor och har sedan utvecklats av K-Konsult, Kristianstad. Enligt förslaget skall till ett mindre fjärrvärmesystem anslutas ett säsongslager i mark för insamlad solenergi i samband med att ett nytt bostadskvarter byggs alldeles intill värmecentralen. Värmecentralen är än så länge bara provisorisk.

Ursprungligen avsågs solfångare att placeras på såväl mark som takytor och värmen överförs till marken med hjälp av både plastslangar och värmepålar (ihålliga grundförstärkningspålar). Förstudien har dock visat att takplacerade solfångare är tillräckligt samt att värmepålar ej lämpar sig i detta projekt.

Värmen från solfångarna och marklagret skall tillföras fjärrvärmesystemet via värmepump placerad i anslutning till värmecentralen. Konventionella värmepannor svarar för spetslast och reservvärme.

Systemets komponenter är kända från andra projekt, särskilt Sun-Clayprojektet i Kungsbacka där en nybyggd skola värmeförsörjs genom ett sol/markvärmesystem.

1.2 Studien

Medel söktes och beviljades för en förstudie med syfte att prova de tekniska och ekonomiska förutsättningarna att förverkliga idén. Förstudien redovisas härmed.

Studiens FoU-moment består i att prova tekniskt kända komponenter i ett större system, där särskilt tillämpningen i samband med fjärrvärme är av intresse.

I denna begränsade studie har endast enkla beräkningar och analyser kunnat göras, ofta med olika antagande som grund. Avgörande för projektets genomförbarhet är markens värmetekniska egenskaper. Den geologiska undersökningen har därför gjorts relativt noggrann.

Studien har på kommunens uppdrag genomförts av K-Konsult, Kristianstad. Bengt Göransson har svarat för den geologiska delen och Eskil Green för den energitekniska. Bo G Mårtensson har varit projektledare vid K-Konsult.

Kommunens projektledare har varit Lars Husberger, planeringskontoret. I kommunens arbetsgrupp har dessutom ingått Göte Andersson, gatukontoret och Staffan Branting, energiverket.

Diskussioner har förts med personal från institutionen för geologi vid Chalmers Tekniska Högskola vilka också utfört vissa laboratoriemätningar på markprover.

Kostnadsuppskattningar har inhämtats från entreprenör. Tillverkare har bistått med viss materialinformation

2. ORIENTERING

2.1 Områdesbeskrivning

Aktuellt område är beläget ca 3 km öster om Kristianstad inom villaförorten Hammar. Större delen av bebyggelsen är uppförd under 1960- 70-talen medan de äldsta delarna byggdes på 1930-talet. Orten ligger i en jordbruksbygd och är omgiven av relativt plan åkermark.

2.2 Geologi allmänt

Kristianstad är beläget inom den s k Kristianstads-slätten som utgör ett urbergsbäcken fyllt med yngre sedimentära bergarter och kvartära avlagringar.

Enligt uppgifter från utförda brunnborrningar kring Hammarområdet utgörs den övre berggrunden här av kvartshaltig kalksten, som täcks av ca 20-25 m mäktiga jordlager i huvudsak bestående av lera, silt och morän.

I anslutning till västra delen av Hammar finns ett relativt stort område som utgörs av gammal sjöbotten. Inom området förekommer ytliga organiska jordlager med mäktigheter på uppemot 2-3 m.

2.3 Befintlig bebyggelse

Den befintliga bebyggelsen som avses att försörjas med fjärrvärme via ett marklager är belägen inom delområdena 4-6 vilka framgår av karta fig 2.2.

- Delområde 4 består av 40 villor och 130 marklägenheter byggda år 1981-1982. Värmeförsörjning sker från en gemensam central med el- och oljepannor betecknad med nr 3.
- Delområdena 5 och 6 utgörs av totalt ca 135 äldre friliggande småhus, flertalet med egen oljepanna. Viss elkonvertering pågår.

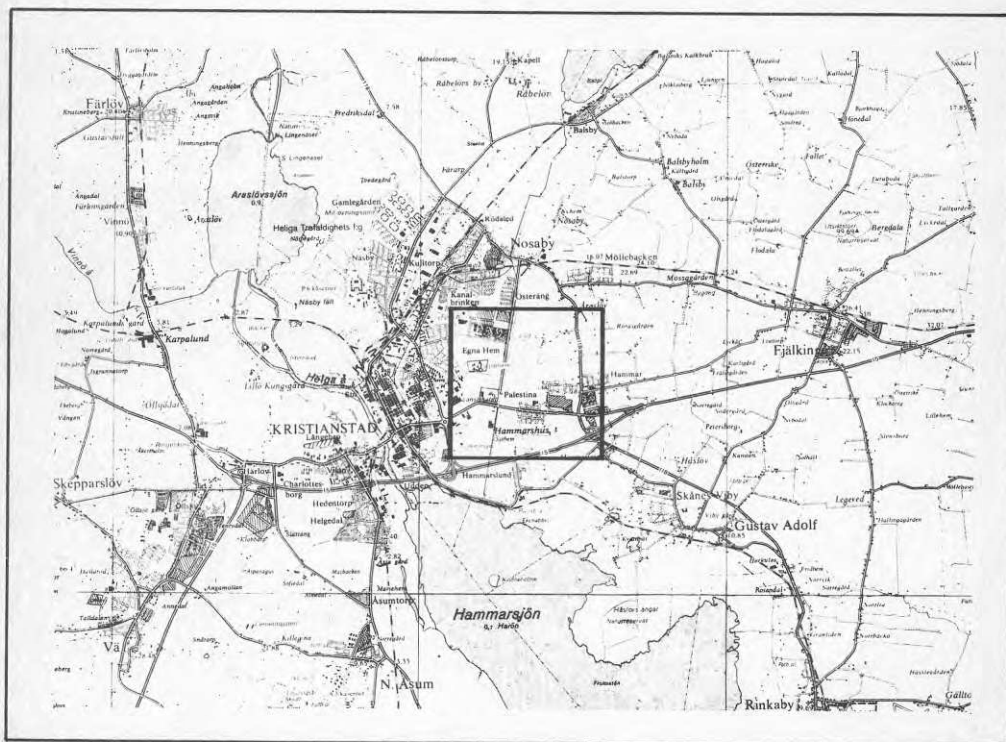
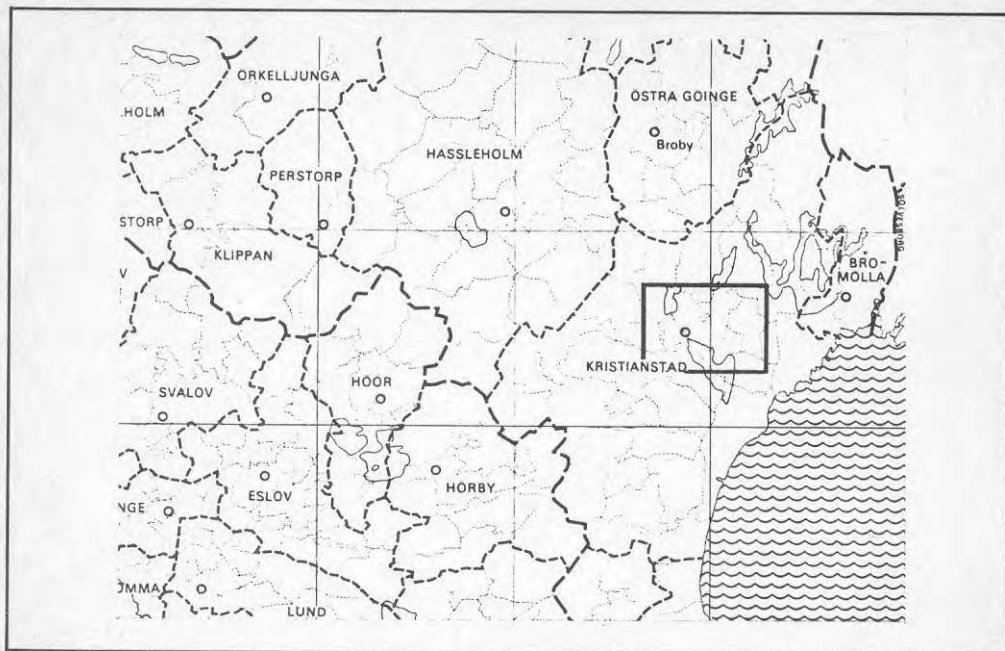


Fig 2.1 Kristianstad med omgivelningar

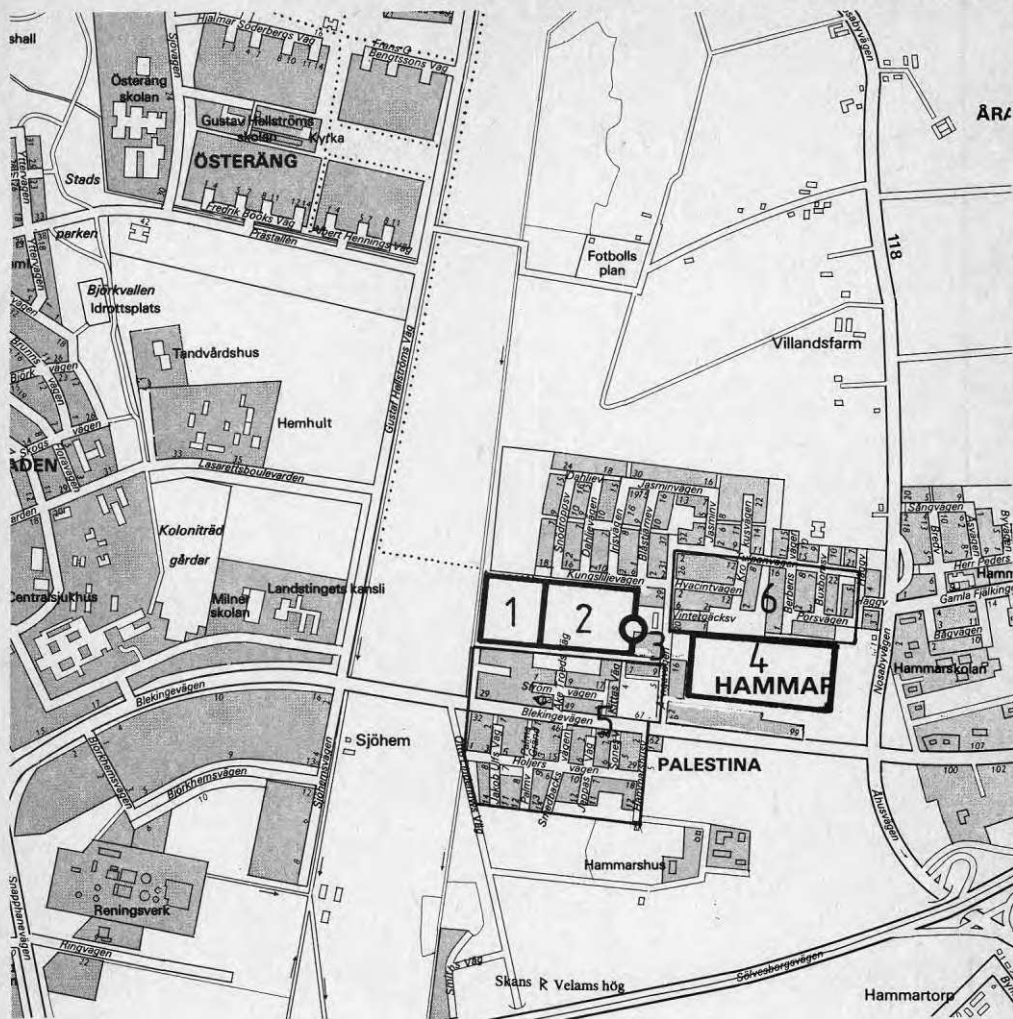
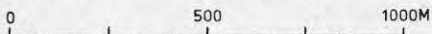


Fig 2.2 OMRÅDETS LÄGE I TÄTORTEN

1. Markackumulator
2. Planerat bostadsområde (175 lgh) med solfångare på tak
3. Värmecentral
4. Bostadsområde (170 lgh), anslutet till värme-central
- 5 o 6 Villaområden, avsedda för fjärrvärme enligt kommunens planer.

Skala



3. KORT BESKRIVNING AV OBJEKTET

3.1 Värmesystemet

I samband med att ca 175 lägenheter inom delområde 1, enl fig 2.2, skall byggas och integreras i det mindre fjärrvärmesystem som f n värmeförsörjer delområde 4, avses större delen av värmeproduktionen att konverteras till solenergi med naturlig lagring i mark.

Solenergin kommer att samlas in under sommarhalvåret av enkla solabsorbatorer placerade på delar av taken till de 175 lägenheterna.

Via vertikalt placerade plastslangar avges värmeenergin till ett 140 x 140 m² stort och ca 14 m djupt lerlager beläget inom delområde 2. I systemet cirkulerar den s k brinen, vanligtvis vatten/glykolblandning.

Under vinterhalvåret körs systemet så att säga omvänt och den lagrade värmeenergin tas tillbaka, temperaturhöjs i en värmepump placerad vid 3 och distribueras sedan på vanligt sätt ut till anslutna lägenheter i fjärrvärmenätet. Under vår, sommar- och höstperioden när bostädernas värmebehov är lågt, tas värmeenergin delvis direkt från solabsorbatorerna till värmepumpen.

Värmeproduktionssystemet består av 3 huvuddelar; solabsorbatorer, markackumulator och värmepumpanläggning. Dessa enheter kommer med hjälp av ett automatiskt reglersystem att samverka på skilda sätt beroende på för ögonblicket aktuella faktorer så som infallande solenergi, temperatur i markackumulator osv.

Pannorna i centralen vid nr 3 kommer att användas som komplement då värmepumpanläggningen vintertid inte räcker till effekt- och temperaturmässigt.

3.2 Förändrade förutsättningar

Från början planerades att ca 200 lägenheter skulle byggas inom delområde 1. På grund av att byggnadskropparna måste orienteras på särskilt sätt för att solvärmeinsamlingen skall bli effektiv samt att markackumulatortorn medför ett visst intrång på det ursprungligen tänkta byggnadsområdet blir utrymmet alltför trångt för 200 lägenheter. Utan stora avkall på miljökrav bedömer vi därför att bara ca 175 lägenheter kan få rum inom området, något som vi i fortsättningen baserar beräkningarna på.

När idén till projektet tog form fanns också tankarna att eventuellt ansluta även delområdena 5 och 6 -dvs de 2 äldre villaområdena- till fjärrvärmesystemet och vidare att utföra pålgrundläggning med s k värmepålar för att på så sätt utöka marklagerkapaciteten. Pålarne skulle därmed kunna fungera både som grundförstärkning och värmeväxlare för marklager

Betr anslutning av delområde 5 och 6

Sol/markvärmesystemet kommer inte att räcka till för att ensamt kunna värmeförsörja delområdena 1 och 4, som primärt skall anslutas, varför det så att säga inte blir någon "gratisenergi" över för områdena 5 och 6. Av detta skäl kan alltså en fjärrvärmeanslutning av dessa områden kostnadsmässigt jämföras med konventionell fjärrvärmeutbyggnad. Värmetätheten i områdena uppgår grovt räknat till 5 W/m² vilket är ett alldeles för svagt underlag för fjärrvärme. Som tumregel brukar värdet 20 W/m² användas som minimum för ekonomisk fjärrvärmedrift. Oljereduktion i dessa områden kommer istället att ske enligt kommunens oljereduktionsplan.

Betr värmepålar för de 175 lgh inom delområde 1

Ett markvärmelagers förluster är direkt beroende av lagrets storlek och utseende. Ju större och mera samlat lager desto mindre förluster. Värmepålar under nybyggnaderna i område 1 skulle innebära ett ganska grunt och spritt värmelager med förhållandevis stora förlustzoner. För att minska dessa skulle dels ett antal extrapålar behöva slås under byggnaderna och dels plastslang av samma typ som i område 2, tryckas ner mellan byggnadskropparna. Detta skulle medföra orimliga kostnader.

4. GEOLOGISKA OCH GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

4.1 Inledning

Området för föreslagen markackumulator och planerad nybebyggelse utgörs av en nedlagd handelsträdgård och omges av befintlig småhusbebyggelse i samtliga vädersträck utom i väster.

Marken inom området sluttar svagt från nivån ca +13 i öster till nivån ca +9 i väster. Längs områdets västra gräns löper en mindre kanal som avrinner mot söder.

Under Hammarområdets succesiva utbyggnad har ett antal översiktliga geotekniska undersökningar utförts av bl a K-Konsult och VIAK AB. Resultaten från dessa undersökningar har i tillämpliga delar utnyttjats.

I samband med denna förstudie har jordlagrens utbredning och geotekniska egenskaper i vertikal led närmare undersökts genom ostörd provtagning till ca 17,5 m djup (Borrpunkt 101) i en punkt, förlagd inom område för markackumulator. Samtliga undersökningspunkters planläge framgår av figur 4.1. Resultatet av utförd undersökning redovisas nedan i kap 4.2.

Erhållna undersökningsresultat har diskuterats i samråd med personal från Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för geologi, som även utfört vissa värmetekniska mätningar på upptagna prover. Resultatet härav redovisas i kap 4.4 samt i bilaga 1.

4.2 Jordlager

Lagerföljd

Inom områdena 1 och 2 består jorden överst av ca 1-2 m sand, som är uppblandad med mylla i ytan. Under sanden förekommer ett ca 2-3 m mäktigt organiskt jordlager bestående av torv, dy och gyttja. Närmast under den organiska jorden finns ett ca 1 m mäktigt sand- och siltlager som följs av halvfast siltskiktad lera vilande på fast lagrad friktionsjord, sannolikt bestående av morän.

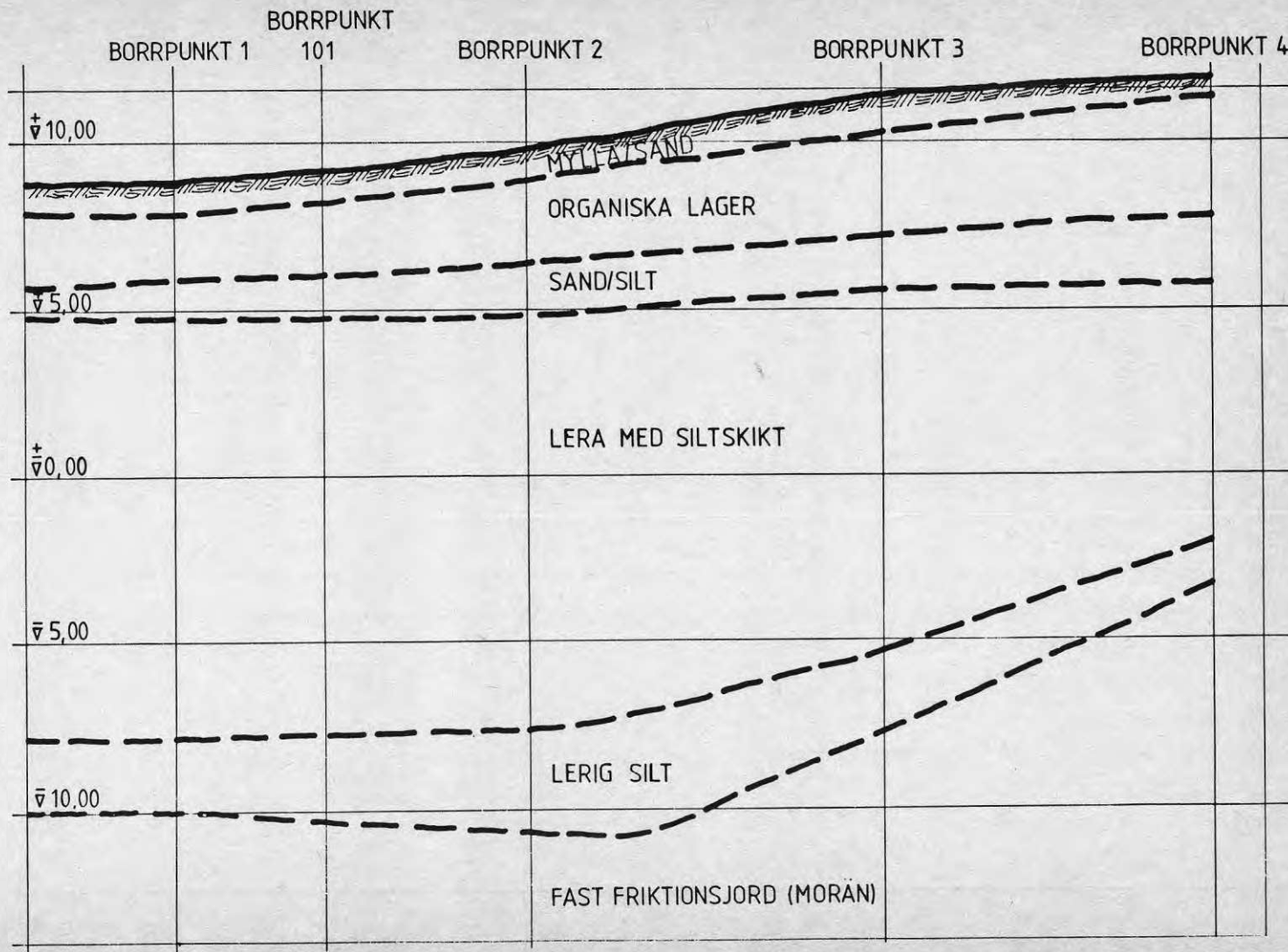
Tolkad jordlagerföljd i en längdsektion (A-A) markerad i fig 4.1 genom områdena 1 och 2 visas i figur 4.2.

Lerans mäktighet tilltar mot väster och uppgår till ca 12-13 m inom område 1. Siltinslaget i leran ökar mot djupet och på ca 17,5 m djup, vid borrpunkt 101, övergår denna till något fastare jordlager bestående av lerig silt.



Fig 4.1 UNDERSÖKNINGSPUNKTERNAS LÄGE I PLAN

Fig 4.2 TOLKAD JORDLAGERFÖLJD I SEKTION A-A



Jordlagrens egenskaper

Vid tidigare undersökningar inom Hammarområdet har dytorvens geotekniska egenskaper undersökts. Det har därvid visat sig att denna är något överkonsoliderad ($\epsilon_2=15\%$) och har en vattenkvot av ca 250 % samt en lägsta skjuvhållfasthet av 28 kPa (2,8 Mp/m²). Med hänsyn till högt finlekstal bör skjuvhållfastheten reduceras till 14 kPa (1,4 Mp/m²).

Vid utförda laboratorieförsök har följande egenskaper på leran bestämts; lerhalt ca 80 %, skrymdensitet (S) 1,6-1,8 t/m³, vattenkvot 40-76 %, skjuvhållfasthet 16-27 kPa, permeabilitet (k-värde mätt i vertikalled) 10-10 m/s, överkonsolideringsgrad ca 50 kPa. Sikt-kurvor och provtabell redovisas i bilaga 2.

4.3 Grundvatten

Inom området förekommer grundvatten på två nivåer dels i de ytliga jordlagren, bestående av organisk jord och sand/silt, och dels i de djupare belägna silt- och moränlagren under leran.

I samband med att tidigare geotekniska undersökningar utförts i området har ett antal öppna observationsrör neddrivits i sand/siltlagret över leran.

Mätningar under åren 1981-1982 har givit som resultat att den övre grundvattenytans läge ligger ca 1,0 m under den naturliga markytan, vilket motsvarar nivåerna +8,0 och +9,0 inom områdets västra del och nivån +11,0 i områdets östra del.

Resultatet av hittills utförda översiktliga mätningar tyder på en grundvattenströmning mot väster med en gradient kring 0,01. Överslagsmässiga beräkningar indikerar att den verkliga strömningshastigheten är förhållandevis låg i den övre grundvattenvåningen och bedöms uppgå till i storleksordningen några millimeter per dygn.

Några uppgifter beträffande grundvattenförhållandena i de djupare belägna jordlagren under leran föreligger ej, men tills vidare förutsätts även här en relativt långsam grundvattenrörelse. Vidare förutsätts att det inte förekommer några nämnvärda grundvattenrörelser i lerlagren.

För att närmare kunna uttala sig om grundvattensituationen inom området måste en kompletterande geohydrologisk undersökning utföras. I en sådan undersökning borde bl a ingå att rör för grundvattenobservation installeras i samtliga förekommande jordlager och att noggranna permeabilitetsförsök utförs inom området för tänkt markackumulator.

4.4 Värmetekniska egenskaper

Markens värmetekniska egenskaper är avgörande bl a för lagringskapaciteten och laddnings- resp urladdningskapaciteten.

Jordvärmegruppen på Chalmers i Göteborg har värmetekniskt provat 2 st lerprov från det aktuella området i Hammar. Resultaten i sin helhet visas i bilaga 1.

Följande värden gäller för leran i Hammar, mätresultat:

$$\begin{aligned} \text{värmeledningsförmåga } \lambda &= 1,14 - 1,29 \text{ W/m OC} \\ \text{värmekapacitet } C_p &= 3,08 - 3,42 \text{ J/m}^3 \text{ OC} \\ & (= 0,86 - 0,96 \text{ kWh/m}^3 \text{ OC}) \end{aligned}$$

Vi väljer att i fortsättningen använda genomsnittsvärdena $\lambda = 1,2 \text{ W/m OC}$ och $C_p = 0,91 \text{ kWh/m}^3 \text{ OC}$.

Som framgår av bilaga 1 varierar parametrarna från nivå till nivå vilket visar att leran är något inhomogen. Erfarenhet från andra undersökningar har visat att stor spridning av λ -värdet ofta förekommer varför mer omfattande mätningar bör utföras.

4.5 Slutsats

Översiktligt bedöms aktuellt område ha relativt goda geologiska och geohydrologiska förutsättningar för vertikala jordvärmesystem. Det är dock av stor vikt att föreslagna kompletterande undersökningar utförs i god tid före en eventuell projektering. Eventuellt större grundvattenrörelser än vad som nu antagits skulle då upptäckas och besvärande lagerförluster därmed kunna tacklas på ett riktigt sätt.

5. SOL/MARKVÄRMESYSTEMET

5.1 Området och bebyggelsen

Det tillgängliga utbyggnadsområdet begränsas i norr, öster och söder av gator och bebyggelse. Den västra gränsen bestäms av grundförhållanden. Ju lägre väster ut bebyggelsen dras, desto djupare blir leran. Detta innebär i sin tur dels att husen kan bli dyrare att grundlägga, dels att det för värmelager lämpligaste området inskränks. Med den slangteknik som valts för att föra värmen i marken, kan ingen bebyggelse uppföras ovanpå värmelagret.

Som resultat av ett passningsförfarande mellan markackumulatorns kapacitet, den tillkommande bebyggelsens värmebehov, solfångarsystemet samt bebyggelsemiljön, har följande uppbyggnad valts.

Lagret görs i plan 140 x 140 m² stort. Den norra och södra gränsen är låsta. I väster utgör ett dike naturlig gräns. I öster väljs gränsen (mot bebyggelsen) så att lagret blir kvadratisk för att få så små förluster som möjligt.

Området, tillgängligt för nyexploatering, blir härigenom ca 38 ha. Som lämplig exploatering har valts 175 lgh i tvåvåningshus och 100 m² vy per lägenhet ($e = 0,46$). Den totala byggnadsytan blir då ca 9000 m². Detta blir en ganska lätt bebyggelse. Endast mycket schematiska planskisser har gjorts inom denna förstudie.

Solabsorbatorerna utgörs av en särskild typ av plåttak. Husen med solabsorbatorer placeras med långsida mot söder. Taken utförs som vanliga sadeltak med taklutning 45°. För att ladda markackumulatören behövs ca 4000 m² solabsorbatorer. Den teoretiskt tillgängliga solfångararean vid denna takkonstruktion (= halva totala takarean), är ca 6500 m².

5.2 Värmebehov

De 170 lägenheterna inom delområde 4 enl fig 2.2, värmeförsörjs från panncentralen vid 3, som har en sammanlagd effekt av 1 100 kW. Någon varaktighetskurva för värmebehovet har inte framtagits för denna bebyggelse.

Vi antar lägenheternas specifika effektbehov till i genomsnitt 7 kW vilket betyder att panneffekten överstiger lägenheternas sammanlagda effektbehov med ca 150 kW (14 %) om en sammanlagringsfaktor på 0,8 förutsätts. Lägenheternas genomsnittliga energibehov har uppmätts till ca 13 000 kWh/lgh, år.

Om de ca 175 lägenheter som skall nybyggas förutsätts få samma specifika värmebehov som angetts ovan, kommer det **sammanlagda värmebehovet** för de ca 345 lägenheterna som skall omfattas av sol/markvärmesystemet att bli enligt följande:

- effektbehov, sammanlagrat: 1 930 kW
- energibehov, inkl 5 %
kulvertförluster: 4 700 MWh

Värmebehovet visas i ett varaktighetsdiagram på nästa sida, fig 5.1.

5.3 Temperaturnivåer, fjärrvärmesystem

Fjärrvärmesystemet i Hammar, hittills utbyggt för de 170 befintliga lägenheterna, är primärt dimensionerat för maximala framlednings- och returtemperaturer på 90 resp 65°C. I undercentraler växlas temperaturen ner till de nivåer som byggnaderna kräver, i Hammar till konventionella 80/60°C.

Fjärrvärmesystemets temperaturnivåer är lämpliga för värmepumpsanslutning varför också de tillkommande 175 lägenheterna kommer att anpassas härför.

5.4 Systemfunktion

Sol/markvärmesystemets principiella funktion framgår av fig 5.2.

Systemet består av huvuddelarna solfångaranläggning, markackumulator och värmepumpanläggning. Värmeenergi lämnas till fjärrvärmesystemet efter värmepumpen.

Ett ledningssystem med cirkulerande fryspunktsnedsatt vatten sammanfogar de tre enheterna och ett automatiskt reglersystem bestämmer samspelet dem emellan så att optimal drift uppnås.

Efter värmepumpen/panncentralen fungerar anläggningen som ett vanligt fjärrvärmesystem varför denna del inte alls kommer att beröras i fortsättningen.

5.5 Solfångaranläggning

Solenergi samlas in av mörkfärgade solabsorbatorer som placeras på taken till de ca 175 lägenheterna som skall nybyggas. Absorbatorerna består av aluminiumband, i vilka kopparrör valsats in, och fästs vid vanlig aluminiumtakplåt. Denna solfångartyp är alltså av mycket enkel konstruktion, och särskilt lämplig för nybebyggelse eftersom de också utgör yttertaksbeklädnad. Andra solfångartyper, t ex inglasade, har i detta sammanhang nackdelarna dels att de ställer

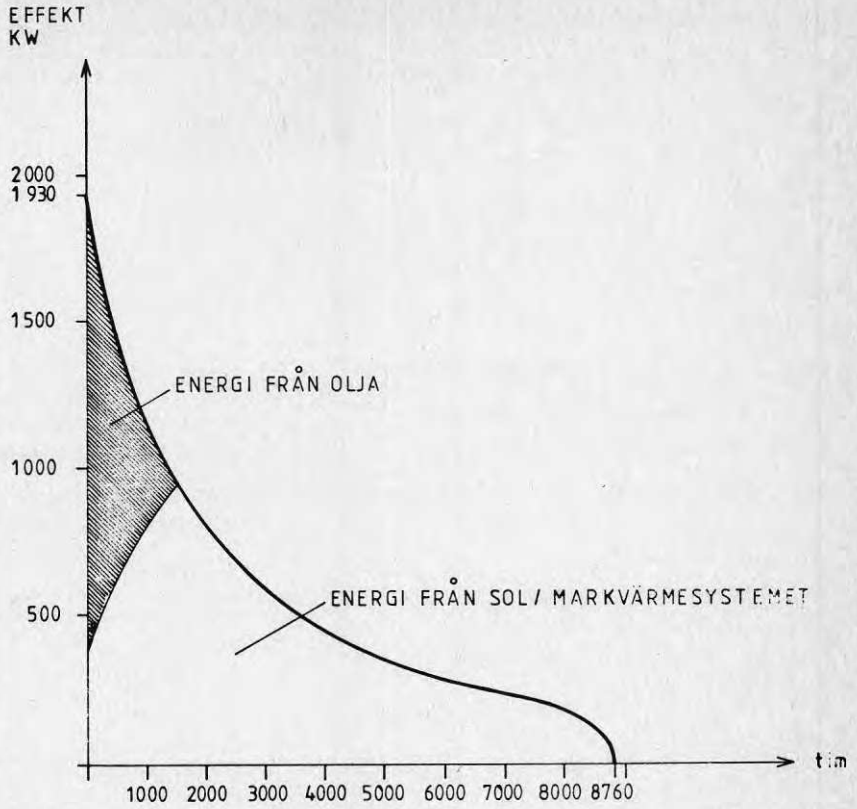


FIG. 5.1 VARAKTIGHETSDIAGRAM, FULLT UTBYGGT FJÄRRVÄRMESYSTEM

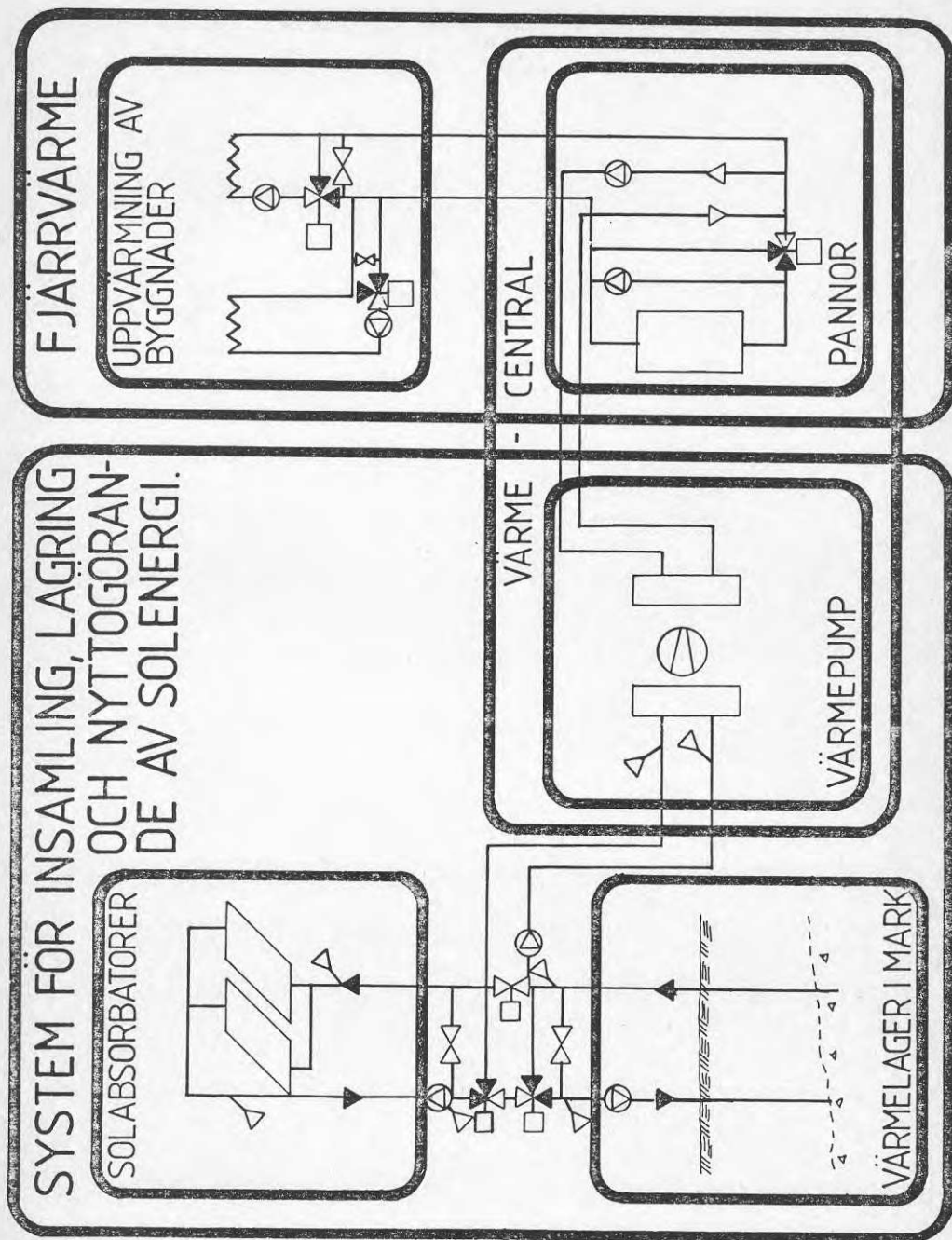


Fig 5.2 SOL/MARKVÄRMESYSTEMETS DELAR OCH PRINCIPFUNKTION

sig betydligt dyrare och dels att dess driftsäkerhet och livslängd visat sig tveksam. Dessutom levererar de högre temperaturer som kan äventyra lerans egenskaper.

För god funktion bör solabsorbatorerna orienteras mot söder i en lutning av ca 45°.

Solfångaranläggningen skall lämna värmeenergi dels för upplagringen i markackumulatortorn och dels direkt till värmepumpenläggningen. Därtill kommer ved markackumulatortorn tappar i förluster. Den erforderliga värmeproduktionen kommer att kräva en solabsorbatoryta av ca 4 000 m² vilket innebär ca 62 % av södertakytan. Den framräknade ytan baserar sig på antagandet att ca 600 kWh/år kan nyttiggöras per kvadratmeter solabsorbator. Detta är ett erfarenhetsvärde från liknande anläggningar i drift.

I verkligheten kommer energiproduktionen i solabsorbatorerna att ständigt variera beroende på förändringar av de yttre klimatfaktorerna. För att noggranare bestämma hur energiupptagningen ser ut just för det aktuella området krävs kännedom om variationen av en mängd klimatuppgifter timme för timme under hela året. Genom att databehandla dessa uppgifter, som finns tillgängliga hos SMHI, kan sedan säkrare värden på solinfångandet tas fram. Vid en eventuell fortsättning av projektet bör en sådan databehandling av klimatuppgifter genomföras.

I detta sammanhang bör nämnas att mycket nära området för markackumulatortorn finns en växthusanläggning som till större delen inte används sommartid. Under denna tid produceras i växthusen stora värmemängder som för bara ventileras bort genom öppningar i taknocken. Temperaturen kan vid vissa tillfällen överstiga 50° C i toppen av byggnaderna. Genom att samla all ventilationsluft i ett fåtal utsug och växla över värme till sol/markvärmesystemet, vore det tänkbart att på så sätt använda växthusens överskottsvärme för ackumulering. Solabsorbatorytan skulle genom detta eventuellt kunna minskas.

Möjligheten att utnyttja överskottsvärme från växthusen bör utredas om projektet får en fortsättning. Trädgårdsmästaren har förklarat sig intresserad av att samarbeta.

5.6 Markackumulator

Inom området för markackumulatoren förutsätts enl fig 4.2 följande jordlagerprofil:

mylla/sand	1 m
organiska lager	2-3 m
sand/silt	1-1,5 m
lera med siltskikt	12-13 m
lerig silt	2 m
fast friktionsjord	

Hur de 3 översta jordlagren samt friktionsjorden under leran uppför sig i värmelagringsavseende -särskilt dess grundvattenbild- är som nämnts svårbedömt med nu tillgängligt underlag. Värme- och grundvattentekniska undersökningar måste utföras i ett fortsatt utredningsarbete.

Lagerberäkningarna i detta avsnitt bygger på följande förutsättningar;

- Som "aktivt" marklager medräknas en 14 m mäktig lersektion med början 4-5 m under markytan.
- P g a de antagna små grundvattenrörelserna i de övre lagren räknas inga förluster i dessa men heller ingen lagerkapacitet.
- Ackumulatorns temperaturnivåer sätts till ca +20°C vid fulladdat lager och +12°C vid urladdat lager. Detta temperaturspann är lämpligt med hänsyn till att geotekniska störningar i leran undviks och att värmeförlusterna i ackumulatoren kan hållas på en acceptabel nivå. Dessutom fås en tämligen god värmefaktor på värmepumpanläggningen.
- Ingen markisolering sker. Efter viss bortschaktning i ytan återfylls med sand kring rörledningar samt på detta bärlager eller matjord.

Värmeväxlingen i leran sker med 16 mm PEH-slang som dubbelvikt förs ner till ca 18 m djup i ett specialrör. Efter att slangens förankrats dras röret upp och slangarna är då fixerade i marken på ett avstånd av ca 1 dm från varandra. "Nersticken" görs med c/c 2 m.

Slangarna sammankopplas i markytan till samlingsledningar som ansluts till solfångar- och värmepumpanläggningarna. Slangsystemet delas in i sektioner som kan stängas av var för sig. Ackumulatoren blir på detta sätt aldrig helt utslagen, vid exempelvis servicearbeten.

Totalt kommer ca 4 900 nerstick att kunna göras med en sammanlagd slanglängd i mark på ca 176 000 m. Den "aktiva" längden dvs den i leran, blir dock bara ca 137 000 m.

Den verksamma ackumulatorvolymen kommer att bli ca 274 000 m³ och den totala lagringskapaciteten med tidigare presenterad specifik värmekapacitet och temperaturspann därmed ca 1 990 MWh.

Om 15 W/m slang antas kunna i- eller urladdas kan en sammanlagd effekt på minst 2 000 kW uttas från lagret momentant. Som framgår av avsnitt 5.7 dimensioneras dock anläggningen för ett lägre maximalt effektuttag.

Akkumulatorns värmeförluster är genom de speciella förhållandena i Hammar vanskliga att uppskatta. Jämfört med Sun-Clayanläggningen betyder den större volymen lägre förluster medan de troligen större grundvattenrörelserna över och under ackumulatortorn samt en sämre markisolering bidrar till ökade förluster. Vi antar i detta skede att de totala värmeförlusterna från markackumulatortorn uppgår till ca 20 % av lagringskapaciteten, vilket betyder ungefär 400 MWh/år.

5.7 Värmecentralen

I värmecentralen kommer utöver vanliga värmepannor att ingå en värmepumpanläggning ansluten till sol-/markvärmesystemet.

I värmepumpanläggningen temperaturhöjs den lågvärdiga värmeenergin från solabsorbatorerna och markackumulatortorn till en användbar nivå. Temperaturen efter solabsorbatorerna ligger på 30-40°C en varm sommar dag. Pannorna får funktionen av tillskottsvärmekälla när värmepumparna inte räcker till i effekt- och temperaturhänseende.

För att uppnå en acceptabel värmefaktor maximeras den från värmepumpanläggningen utgående temperaturen till 70°C. Av fjärrvärmesystemets varaktighetsdiagram (se sid) framgår att värmepumpanläggningen bör dimensioneras för ca 950 kW - den nivå på varaktighetskurvan som motsvarar en framledningstemperatur av 70°C i fjärrvärmesystemet. Med detta effektval på värmepumpanläggningen - ca 50 % effekttäckning - uppnås största möjliga energitäckning till lägsta investeringskostnad. Anläggningen uppdelas av regler-tekniska skäl i 2 enheter - en på ca 300 kW och en på ca 650 kW.

Med valda marklagertemperaturer kommer värmepumparnas årsvärmefaktor att ligga kring 3,5.

Pannbestyckningen består f n av 1 st 500 kW oljepanna och 2 st 300 kW elpannor. Vid värmepumpinstallationen kan eventuellt minst en av elpannorna utbytas mot en oljepanna för att därmed friställa anslutningseffekt till värmepumparna.

Värmepumpanläggningen placeras i direkt anslutning till pannorna och kopplas in på fjärrvärmesystemets returledning.

6. DRIFT OCH KAPACITET

6.1 Olika driftsfall

Värmepumpänläggningen kommer att matas med en lågtempererad vatten/glykolblandning från solabsorbatorerna resp markackumulatören. Hur samspillet dessa enheter emellan skall ske bestäms av vilket reglersystem som väljs.

Oavsett typ av reglersystem kan principiella driftsfall för olika årstider bestämmas;

1. **Sommarfallet**

Solabsorbatorerna laddar markackumulatören men förser samtidigt värmepumparna med energi för tappvarmvattenberedning.

2. **Vår- och höstfallet**

Energi till värmepumparna tas både från markackumulatören och direkt från solabsorbatorerna. Automatreglerade ventiler styr kombinationen modulerande.

3. **Vinterfallet**

Markackumulatören förser värmepumparna med energi.

Beroende på väderleken kommer givetvis de olika driftfallen att gripa in i varandra.

6.2 Sol/markvärmesystemets kapacitet

I detta avsnitt sammanställs olika drifts- och kapacitetsuppgifter som berörts i tidigare kapitel.

Systemets dimensionering har i princip baserats på tillgänglig marklagervolym eftersom en snabbuppskattning tidigt visade att denna sannolikt skulle bli systemets flaskhals.

Markackumulatorvolymen uppgår till ca 274 000 m³ vilket med lerans värmekapacitet på 0,9 kWh/m³ °C och valt temperaturspann på 20-12°C = 8°C, ger en total lagerkapacitet av ca 2 000 MWh. Ackumulatorns värmeförluster har uppskattats till ca 400 MWh/år.

Erfarenhet från liknande projekt har visat att i storleksordningen 30-35 % av energin som kan nyttiggöras i systemet tillförs direkt från solfångaranläggningen. Detta betyder i aktuellt fall ca 1 000 MWh/år.

Solfångaranläggningen skall dimensioneras för att ladda markackumulatoren samt täcka dess förluster. För detta krävs en total solabsorbatoryta av ca 4 000 m² om varje kvadratmeter solabsorbator tillför systemet ca 600 kWh/år.

Beskrivningen ovan visar att sol/markvärmesystemet kommer att tillföra värmecentralen totalt ca 3 000 MWh/år. För driften av värmepumparna krävs ca 860 MWh elenergi per år vilken också kommer att tillföras fjärrvärmesystemet. Årsvärmefaktorn uppskattas till 3,5.

Fjärrvärmesystemet kommer alltså att tillföras sammanlagt ca 3 900 MWh/år. Detta betyder en energitäckning av ca 83 % då byggnadernas energibehov tidigare beräknats till omkring 4 700 MWh/år. Värmepumparnas begränsade effekt och framledningstemperatur - max 70°C mot fjärrvärmesystemets max 90°C - skall inte hindra ett fullt nyttiggörande av de tillgängliga energimängderna eftersom dessa helt bör kunna utnyttjas vid effektuttag under 50 % av maximala behovet och vid temperaturer under 70°C.

Som nämnts i tidigare kapitel finns ett flertal förhållanden i systemet som måste utredas närmare för att de presenterade uppgifterna mer exakt skall kunna fastställas.

7. EKONOMI

7.1 Investeringskostnader

Vid kostnadsbedömningen av projektet har kontakter tagits med bl a BPA och Gränges Aluminium vilka medverkade när Lindälvs skolan i Kungsbacka byggdes.

De kostnadsuppgifter som lämnats har således verklighetsförankring. Man har dock påpekat att priserna snarast är i överkant då man än så länge har begränsad erfarenhet av liknande projekt och därför vill ligga på "säkra sidan". Priserna är redovisade exklusive moms.

Solfångaranläggning

Solabsorbatorer, 4 000 m ² á ca 300 kr	1 200 000 kr
Sammankoppling solabsorbatorer, 4 000 m ² á ca 175 kr	700 000 kr
Solfångaranläggning, totalt	1 900 000 kr

Markackumulator

PEH-slang, rörkopplingar, samlingsledn etc inkl all arbetskostnad, 4 900 nerstick á ca 1 000 kr	4 900 000 kr
Markackumulator, totalt	4 900 000 kr

Värmepumpanläggning, reglerutrustning

2 st värmepumpar, reglerutrustning 950 kW á ca 1 300 kr	1 200 000 kr
Värmepumpanläggning, reglerutrustning totalt	1 200 000 kr

Rörledningar, sammankoppling systemdelar

Solabs-värmep, solabs-markack, markack-värmep 500 m á 1 000 kr	500 000 kr
Rörledningar, totalt	500 000 kr

Projektering

Uppskattning ca 10 % av total-
kostnaden

800 000 kr

SUMMA

9 300 000 kr

Värmecentralens olika produktionsenheter torde lämpligast sammansättas enligt följande:

Värme-
pump
anläggning

950 kW

Olje-
panna
bef

500 kW

Olje-
panna
ny

1 500 kW

De 2 befintliga elpannorna om sammanlagt 1 100 kW förutsätts alltså ersättas av en ny oljepanna.

Det alternativa värmeproduktionssystem som mest sannolikt installeras om sol/markvärmesystemet inte skulle komma till stånd kan antas få följande sammansättning:

Fastbr/
Olje
panna

950 kW

Olje-
panna
bef

500 kW

Olje-
panna
ny

1 500 kW

Något lagligt tvång att använda annan energi än olja finns inte för detta fjärrvärmesystem, däremot föreskrivs att anläggningen skall vara förberedd att snabbt kunna omställas för fastbränsleledning. Detta innebär att all kringutrustning utom bränslelager och intern bränsletransportutrustning måste installeras.

De befintliga elpannorna förutsätts också i detta alternativ ersättas av en ny oljepanna.

En tillkommande kostnad som vidare skall belasta detta alternativ är kostnad för vanlig takplåt.

De sammanlagda extra kostnaderna för det beskrivna alternativa värmeproduktionssystemet uppskattas till:

Fastbränslepanna;	1 300 000 kr
Kostnad; vanlig takplåt;	300 000 kr
Projektering;	100 000 kr

SUMMA

1 700 000 kr

Av de ovan bedömda investeringsnivåerna framgår att merinvesteringen för sol/markvärmesystemet jämfört med ett alternativt värmeproduktionssystem uppgår till ca 7 600 000 kr.

7.2 Driftskostnader

Sol/markvärmesystemets driftskostnader kommer att bestå av drivenergi till värmepumparna, ca 860 MWh/år, samt olja för kompletteringsvärme, ca 800 MWh/år (= ca 90 m³ olja/år). Kostnaderna för detta skulle uppgå till ungefär 340 000 kr/år (inkl fasta avgifter) med dagens prisnivå.

Det alternativa värmeproduktionssystemet som angetts ovan kan tänkas drivas med antingen enbart olja eller med en kombination flis/olja.

I fallet med enbart oljedrift skulle de årliga driftskostnaderna uppgå till ca 1 050 000 kr med dagens tungoljepris.

I andra fallet där flis kan förutsättas täcka ungefär 75 % av energibehovet är driftskostnaderna svårare att bedöma beroende på varierande uppgifter om flispris och anläggningens krav på personal. Sannolika prisuppgifter ger en driftskostnad i samma storleksordning som för oljedrift.

Sol/markvärmesystemets lägre driftskostnader kommer enligt ovan att uppgå till ca 710 000 kr/år.

7.3 Pay-offtid

Av de ovan framräknade kostnaderna för investeringar och drift framgår att sol/markvärmesystemets pay-offtid kommer att ligga kring 11 år.

Jämförelse görs då med oljedrift i en värmecentral förberedd för fliseldning.

8. REKOMMENDATIONER

Föreliggande studie visar att några tekniskt/praktiska hinder av avgörande betydelse för projektets genomförande inte finns. Tekniken är känd från liknande mindre anläggningar som varit i drift ett par års tid med gott resultat.

Efterhand som erfarenheter vinnas kan en anpassning och förfining av tekniken väntas.

Trots stora initial- och utvecklingskostnader som kommer att tynga detta projekt - liksom alla pilotprojekt - får dess ekonomi ändå anses fullt försvarlig.

Vi rekommenderar alltså att projektet genomförs.

Före en realisering bör dock vissa kompletterande studier som antytts tidigare i rapporten, utföras. Dessa är;

1. Noggrannare utredning av värmeförluster från markackumulatorm, särskilt grundvattenrörelsernas storlek och inverkan.
2. Mer omfattande materialprovtagning från markackumulatorm för att bättre kunna fastställa lerans värmetekniska egenskaper.
3. Sammanställning och databehandling av klimatuppgifter från Kristianstad med syfte att noggrannare bestämma hur mycket solenergi som kan nyttiggöras.
4. Utredning av de närliggande växthusens ev. roll som energiproducent sommartid.

Dessutom bör markens användning ovanpå ackumulatorm belysas före ett genomförande liksom givetvis stadsplanens utformning i området.

BILAGEFÖRTECKNING

- BILAGA 1 Resultat från värmetekniska mätningar
 på lera utfört av Chalmers Tekniska
 Högskola
- BILAGA 2 Resultat från laboratorieförsök på
 lera.
 Siktkurvor och provtabell.



UTLATANDE ÖVER VÄRMELEDNINGSMÄTNING

Orientering

På uppdrag av K-Konsult, Kristianstad har värmeledningsmätningar utförts på 2 st jordprov.

Tidigare utförda undersökningar

K-Konsult har utfört kolvborrning i det aktuella området. Av undersökningsresultaten framgår att jordarten i profilen varierar från lera till silt med mellanformer av lera med siltskikt/silt med lerskikt. 2 st kolvborrcylindrar från denna undersökning har använts vid värmeledningsbestämningen.

Utförda undersökningar

Laboratoriemätning av lerans värmeledningsförmåga har utförts med en sondmetod på ett tiotal ställen i varje tub (12.5 m u.my samt 15.5 m u.my). Teoretisk beräkning av lerans volymetriska värmekapacitet har utförts på varje meter av lerprofilen på grundval av den geotekniska undersökningen.

Undersökningsresultat

Mätningar och beräkningar av lerans värmetransporterande egenskaper redovisas i bilaga 1. Av denna framgår att lerans värmeledningsförmåga varierar från ca 1.1 till 1.3 W/m °C i de två tuberna. De relativt höga medeldeviationerna tyder på inhomoginiteter, troligen siltskikt.

För att kunna uttala sig om hela profilens värmeledningsförmåga krävs utförligare undersökningar.

Den teoretiskt beräknade värmekapaciteten sprider mellan 3.08E6 och 3.42E6 J/m³ °C.

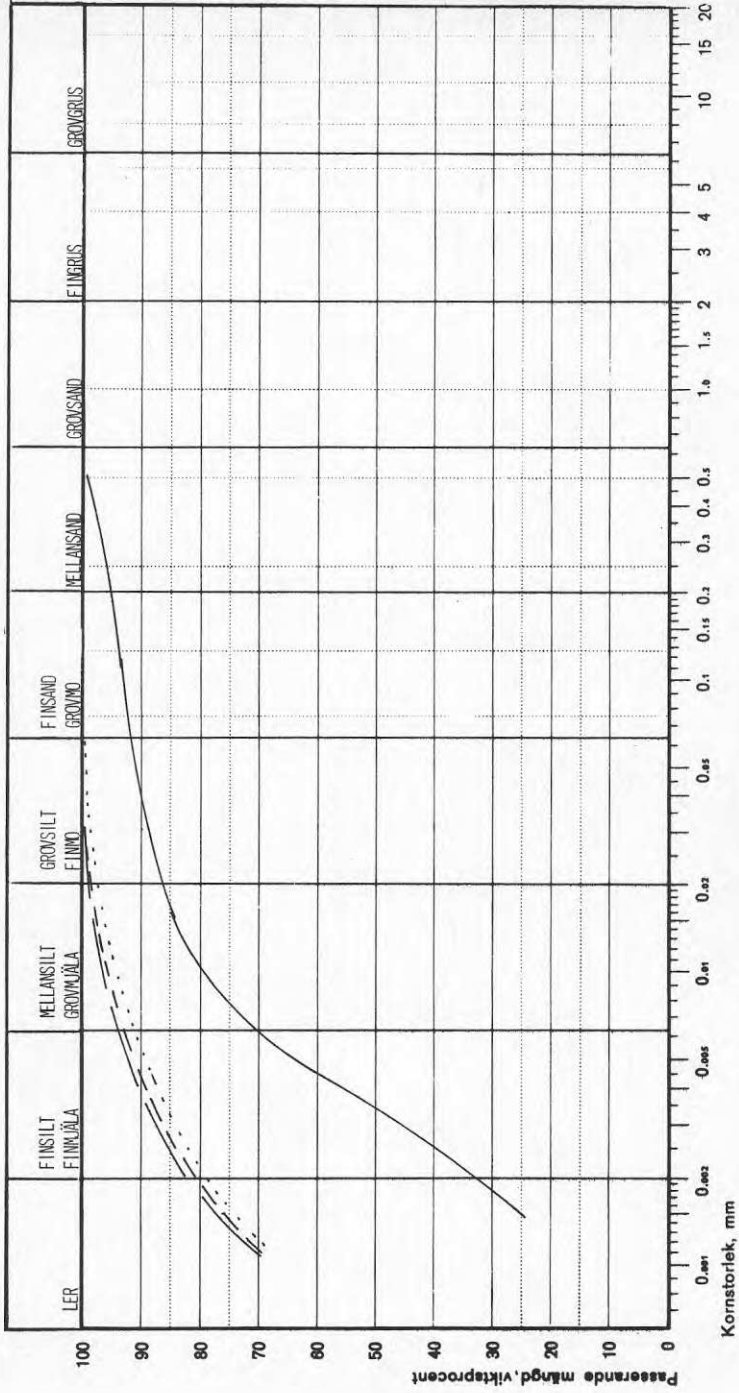
BILAGA 1

Nivå m under markyta	Mätt värmeledn. förmåga W/m °C	Medel- deviation W/m °C	Teoretisk beräknad värme kapacitet J/m ³ °C
5.5			3.08E6
6.5			3.34E6
7.5			3.42E6
8.5			3.40E6
9.5			3.37E6
10.5			3.36E6
11.5			3.25E6
12.5	1.14	0.10	3.30E6
13.5			3.18E6
14.5			3.25E6
15.5	1.29	0.06	3.27E6
16.5			3.18E6
17.5			3.09E6

PROVTABELL

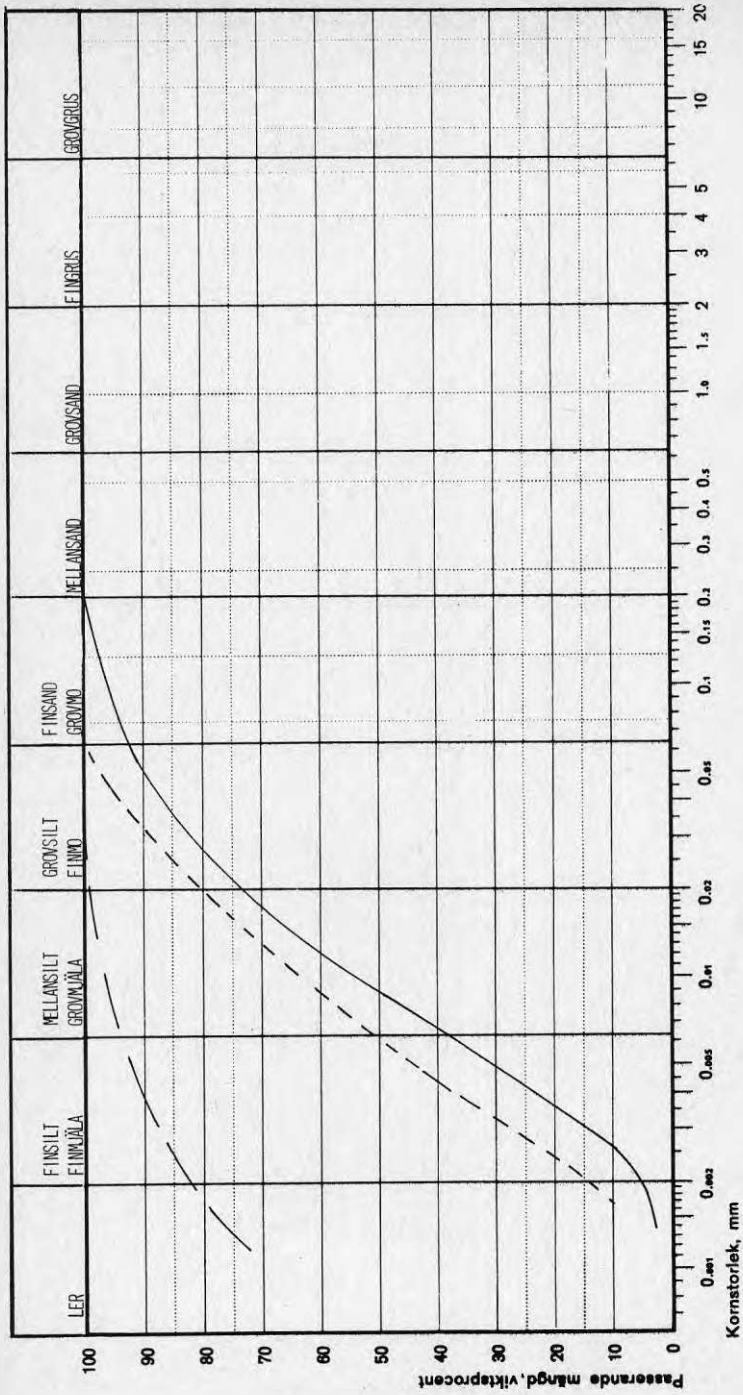
Borrhål och provtagnings- datum	Djup m u m / provtag- ningsnivå	Provtagnings- sätt	Jordart	Densitet γ_3 t/m ³	Vatten- kvot		Fyt- gräns Wt %	Sensitivitet enl kon- prov St	Skjuvhållfasthet (oreducerad) τ _f kPa *)		Övriga under- sök- ning- ar **)
					W %	W _L %			Intryckprov	Konprov	
	5,5	Kv. St I	Lera med tunna sand o siltskikt	1,78	40	34	39	27			
	6,5	"	Lera med siltskikt	1,66	66	66	14	23			
	7,5	"	Lera med siltskikt	1,58	76	76	12	20			
	8,5	"	Lera med siltskikt	1,62	74	75	13	22			
	9,5	"	Lera med siltskikt	1,67	73	68	14	16			
	10,5	"	Lera med siltskikt	1,65	70	61	20	17			
	11,5	"	Lera med siltskikt	1,69	54	50	13	(16)			event stört
	12,5	"	Lera med siltskikt	1,62	55	54	17	21			
	13,5	"	Silt med lerskikt	1,71	45	40	-	-			stört
	14,5	"	Lera med siltskikt	1,71	56	58	10	22			
	15,5	"	Lera med siltskikt	1,74	61	57	15	18			
	16,5	"	Lera med siltskikt	1,78	50	54	8	19			
	17,8	"	Lerig silt	1,78	39	39	-	(11)			stört

SIKTKURVOR



BETECKNING	Borrhål Progrupp, nr	Djup, m u m y Nivå	Sterhalt, %
—	101	5,5	
—	"	7,5	
- - -	"	9,5	
.....	"	11,5	

SIKTKURVOR



BETECKNING	Borrhål Progrop, nr	Djup m u m y Nivå	Stenhalt, %
—	101	13,5	(siltskikt)
—	"	15,5	(lerskikt)
---	"	17,5	

LITTERATUR

Hultmark, G, 1980, Sunclay-projektet, Förprojektering av Lindälvsskolan i Kungsbacka. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport R 38:1980. Stockholm.

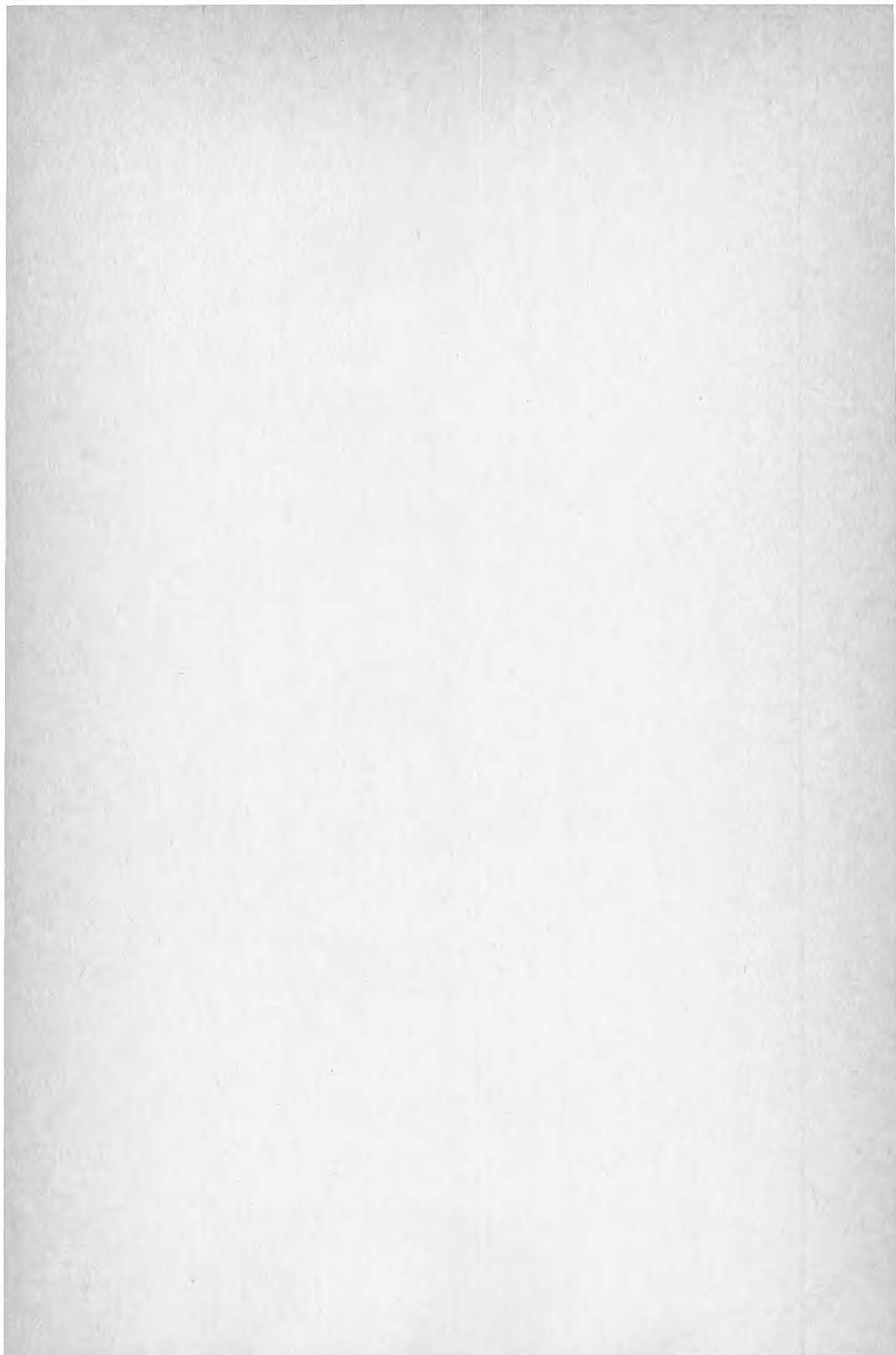
Gustafson, G, Norling, E, m fl 1980. Energigeologisk kartering, Metodstudie. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport R 134:1980. Stockholm.

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

Svedinger, B, 1981, Värme, i jord, berg och vatten. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport T1:1981. Stockholm.

Gunnarsson, I, Lundström, H, Olsson, S, 1981, Värmepumpar i befintliga värmecentraler, Förstudie i Kungälv. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport R 34:1981. Stockholm.

Jacobson, L, Förprojektering av jordvärmesystem i befintlig och ny bebyggelse. (Statens råd för byggnadsforskning). Förhandskopia.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811802-2 från Statens råd för byggnadsforskning till
Planeringskontoret, Kristianstads kommun,
Kristianstad.**

R35:1983

ISBN 91-540-3904-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700152

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 25 kr exkl moms