



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**

**R37:1991**

**Markvärmesväxlare för hög-  
temperaturlager i lera**

**Marti Lehtmets  
Caroline Magnusson**

**Byggforskningsrådet**

R37:1991

MARKVÄRMEVÄXLARE FÖR HÖGTEMPERATURLAGER  
I LERA

Marti Lehtmets  
Caroline Magnusson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 880879-5  
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens  
geotekniska institut, SGI, Linköping.

## REFERAT

Vid högtemperaturvärmelagring har lagret en betydligt större andel av värmeanläggningens totalkostnad än vid lågtemperaturvärmelagring. Det är därför viktigt att värmeväxlartyp och installationsteknik kostnadsoptimeras. Vid högtemperaturvärmelagring ställs dessutom större krav på att värmeväxlare har en hög effektöverföringsförmåga. Olika värmeväxlartyper (enkelt U-rör, korsat dubbelt U-rör, parallellt dubbelt U-rör, spiral och skarvfritt enkelt U-rör) har studerats med avseende på värmeöverföringsförmåga och installationsteknik. Fältförsök har även utförts för att undersöka möjligheterna att installera skarvfritt enkelt U-rör med en geoteknisk sonderingsmaskin.

En ekonomisk kalkyl för värmelagret i Söderköping har genomförts. I denna kalkyl har nuvarande anläggning med lågtemperaturlager, uteluftkylare och värmepump ersatts med en fiktiv anläggning innehållande högtemperaturvärmelager och solfångare.

Spiralen är den värmetekniskt bästa värmeväxlaren, men idag finns ingen installationsmetod utvecklad för värmelager i lera som på ett rationellt sätt kan användas.

Skarvfritt enkelt U-rör, som installeras med slangstickningsmetoden, ger i de flesta situationer det kostnadseffektivaste lagret. Idén att installera värmeväxlare kontinuerligt så att antalet skarvar minimeras bör utvecklas även för andra värmeväxlartyper och maskiner för installation.

Pålkran och geoteknisk sonderingsmaskin är utrustningar som idag kan användas för installation av värmeväxlare i lera och utöver dessa bedöms även kalkpelar- och dränsättningsmaskinerna kunna utvecklas vidare. Varje maskin har sina för- och nackdelar, vilket bör beaktas i varje aktuellt fall.

Högtemperaturlager i kombination med solfångare kan vara ekonomisk i jämförelse med lågtemperaturlager, uteluftkylare och värmepump. Kostnaderna för isolering blir mycket stora vid högtemperaturvärmelagring och bör studeras vidare.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R37:1991

ISBN 91-540-5347-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

## FÖRORD

Denna rapport utgör redovisning av gemensamt BFR- och SGIprojekt (BFR nr 880879-5 och SGI diariernr 1-334/88) och behandlar olika värmeväxlartyper för vertikala slangsystem i lera. Värmeväxlartyperna har studerats med avseende på installationsmetod och värmeöverföringsförmåga för värmelagring utan värmepumpanslutning.

Syftet har varit att studera de hittills använda värmeväxlartyperna och nya värmeväxlare för att minska totalkostnaden för värmelager utan värmepump. Kostnadsberäkningar har endast utförts för de värmeväxlartyper och installationsmetoder som i detta projekt bedömts vara realistiska alternativ. Rapporten grundar sig på värmetekniska beräkningar, utveckling av installationsmetoder där även vissa fältförsök utförts samt kostnadskalkyler.

Under projektets gång har kontakt tagits med Lars Holmqvist, BPA, B Wiik, Akva Terra, Kjell Hidsjö och Karl-Gustav Joelsson vid SGIs geotekniska fältverksamhet för diskussioner kring installationsmetoder. Göran Hellström vid Lunds tekniska högskola har tagit fram beräkningsprogram för värmetekniska beräkningar. Marti Lehtmetts vid SGI har författat kap 4.4 samt lett de praktiska fältförsöken. Synpunkter har också erhållits av Ulf Bergdahl, SGI och Jan Sundberg, Terratema AB.

Linköping, januari 1991.

Caroline Magnusson



## SAMMANFATTNING

Högtemperaturvärmelagring med vertikala slangsystem i lera blir alltmer intressant då elpriserna ökar vilket medför att lågtemperaturvärmelager i kombination med värmepump får högre driftskostnader än tidigare. För en kraftfull utbyggnad av solfångartekniken måste dessutom lämpliga lagertekniker vidareutvecklas.

Vid högtemperaturvärmelagring ställs större krav på en effektiv värmväxlare och på en rationell installationsmetod än vid lågtemperaturvärmelagring. Effektiva värmväxlare har visat sig vara dyrare att installera i marken än de enklare varianterna. En kostnadsoptimering måste göras för att få fram den värmväxlartyp och lagerutformning som ger den lägsta totalkostnaden inklusive drift.

Högtemperaturvärmelager måste sannolikt byggas med sk PEX slang eller motsvarande istället för den traditionella PEM slangen för att klara temperaturkraven. PEX slangen har även en högre hållfasthet vilket medfört att installationsmetoder som tidigare inte varit bra fungerar på ett tillfredsställande vis med PEX slangen.

Värmetekniska beräkningar har utförts på enkelt U-rör, korsat dubbelt U-rör (tidigare kallat dubbelt U-rör), parallellt dubbelt U-rör och en spiralformad värmväxlare. Den erhållna effektöverföringsförmågan har använts till att utforma olika lager med samma prestanda men med olika värmväxlartyper och centrumavstånd. Den spiralformade värmväxlaren visade sig ha den högsta effektöverföringsförmågan. De båda dubbla U-rören har i stort sett samma kapacitet. Det enkla U-röret har sämst kapacitet. För att beskriva förhållandena är dubbelt U-rör med cc-avstånd 2.2 meter likvärdigt med spiral där cc-avståndet är 2.4 meter och enkelt U-rör med cc-avstånd 1.8 meter. Skänkelavståndet är 0.5 meter för samtliga värmväxlartyper.

Den spiralformade värmväxlaren tycks dock vara svår att installera på ett enkelt sätt. Två metoder har behandlats i detta projekt. Den ena metoden som Akva Terra i Örebro har patent på innebär att ett verktyg skruvar ner slang till erforderligt djup. Därefter skruvas verktyget upp igen. Flera verktyg kan arbeta samtidigt. Metoden bedöms dock få problem vid uppskrivningen där risken är stor för att slangen följer med verktyget upp igen.

Den andra metoden för installation av en spiralformad värmväxlare går ut på att borra upp ett hål som värmväxlaren stoppas ner i. Hålet kan fyllas igen med något värmetekniskt bra material. Metoden har använts i Kanada. Om ett hål ska kunna stå av sig självt utan att rasa igen måste detta hål borraras i fast lera och hålet kan inte vara mer än några meter djupt. Sådan lagergeometri är inte intressant för värmelagring. Genom att fylla det successivt urgrävda hålet med en slurry kan hålet stå i lös lera och till de djup som erfordras utan att väggarna rasar in men då uppstår problem med hur den eftergivliga PEX slangen ska kunna fås ner i slurryn på ett enkelt sätt.

Med hjälp av en geoteknisk sonderingsmaskin har fältförsök utförts där slang forande ett enkelt U-rör installerats till 15 meters djup. Metoden visade sig vara användbar och snabb. Likartade försök har tidigare utförts av VIAK AB med PEM slang med relativt goda resultat. Nu utfördes försöken med den hållbarare PEX slangen som inte vid något tillfälle gick av. Den geotekniska sonderingsmaskinen är både smidigare att ta sig fram med och billigare att använda än framför allt pålkranen varför metoden visat sig ha stora förutsättningar att minska

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|   | SID |
|---|-----|
| FÖRORD  | 1   |
| SAMMANFATTNING  | 2   |
| 1. BAKGRUND   | 4   |
| 2. VÄRMEVÄXLARTYPER   | 5   |
| 2.1 Enkelt U-rör  | 5   |
| 2.2 Skarvfritt enkelt U-rör                                       | 5   |
| 2.3 Korsat dubbelt U-rör  | 6   |
| 2.4 Spiral  | 7   |
| 2.5 Parallellt dubbelt U-rör                                      | 7   |
| 3. VÄRMETEKNISKA BERÄKNINGAR                                      | 9   |
| 3.1 Beräkningsförutsättningar                                     | 9   |
| 3.2 Värmeöverföringsförmåga                                       | 11  |
| 3.3 Erforderlig lagervolym och antal värmepumpar                  | 12  |
| 4. INSTALLATIONSMETODER   | 15  |
| 4.1 Nedtryckning med pålkran (kalkpelar- och dränsättningsmaskin) | 15  |
| 4.2 Skruvmetod  | 18  |
| 4.3 Urgrävning och återfyllning                                   | 18  |
| 4.4 Slangstickning - fältförsök                                   | 19  |
| 4.4.1 Bakgrund  | 19  |
| 4.4.2 Försöksplats  | 19  |
| 4.4.3 Omfattning av fältförsök                                    | 19  |
| 4.4.4 Resultat av fältförsök                                      | 21  |
| 4.4.5 Neddrivningskraft   | 23  |
| 4.4.6 Provtryckning   | 27  |
| 4.4.7 Slutsatser  | 27  |
| 5. KOSTNADSKALKYLER   | 28  |
| 5.1 Ingående kostnadsposter                                       | 28  |
| 5.2 Resultat av kostnadskalkyler                                  | 29  |
| 6. VÄRDERING  | 32  |
| 6.1 Värmepumpstyper   | 32  |
| 6.1 Installationsmetoder  | 32  |
| 7. SLUTSATSER   | 34  |
| 8. REFERENSER   | 35  |
| BILAGA 1 Geoteknisk undersökning vid försöksplats                 |     |
| BILAGA 2 Neddrivningskraft vid slangstickningsmetoden             |     |
| BILAGA 3 Detaljerad kostnadskalkyl                                |     |
| BILAGA 4 Protokoll från fältförsök                                |     |





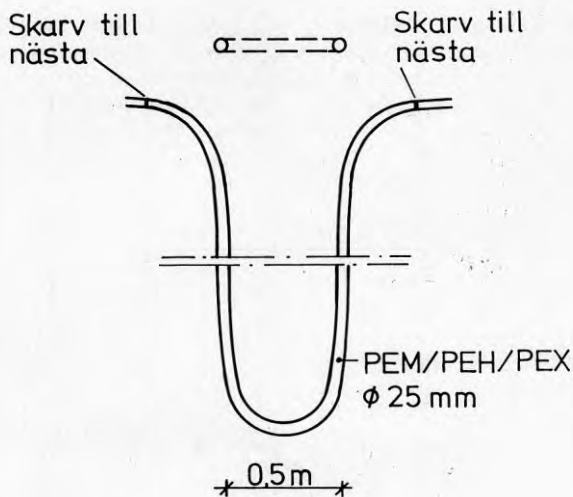
## 2. VÄRMEVÄXLARTYPER

I detta kapitel beskrivs kort hur de undersökta värmeväxlartyperna ser ut, vilket utgör underlag för värmetekniska beräkningar i kapitel 3 och kostnadskalkyler i kap 5 baserade på installationsmetoderna i kapitel 4.

### 2.1 Enkelt U-rör

Det enkla U-röret var en av de första värmeväxlartyperna som användes vid värmelagring. Det består vanligtvis av ett plaströr med ca 25 mm diameter. Slangmaterialet var av polyeten, medel eller hög densitet. Nu finns även så kallad PEX slang som klarar en högre temperaturnivå, ca 90 °C mot PEM slangens ca 60 °C. PEX Slangen är armerad och tål därför också högre belastning. Det enkla U-rörets utformning framgår av figur 2.1. Avståndet mellan skänklarna på U-röret var till en början ca 0.2 meter medan det sist byggda lagret har ett skänkelvstånd på 0.5 meter.

### ENKELT U-RÖR



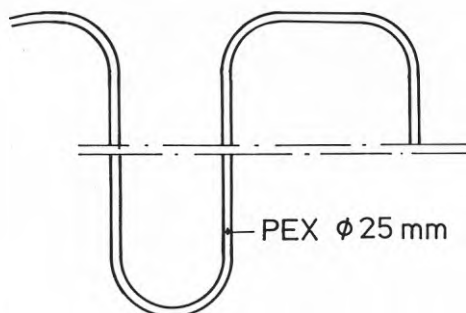
Figur 2.1. Enkelt U-rör.

### 2.2 Skarvfritt enkelt U-rör

Vid högtemperaturvärmelagring är det nödvändigt av temperaturskäl att använda tex PEX slang (tvärbunden polyeten) istället för PEM slang (polyeten medium densitet). PEX slangens har dessutom högre hållfasthet. Den högre hållfastheten är en fördel då installationen av det skarvfria U-röret görs utan foderrör och därför belastar slangens mer vid installationen än vid de installationsmetoder där slangens förs in i ett foderrör, se vidare kapitel 4. Slangens diameter är ca 25 mm. Denna värmeväxlartyp har hittills inte testats i någon verklig anläggning men fältförsök har utförts för att se att värmeväxlaren och

metoden för installation är realistisk att använda. Värmeväxlaren är värmetekniskt sett identisk med det traditionella enkla U-röret. Skillnaden ligger i markytan där antalet skarvar minskats drastiskt. Se vidare figur 2.2.

### SKARVFRITT ENKELT U-RÖR

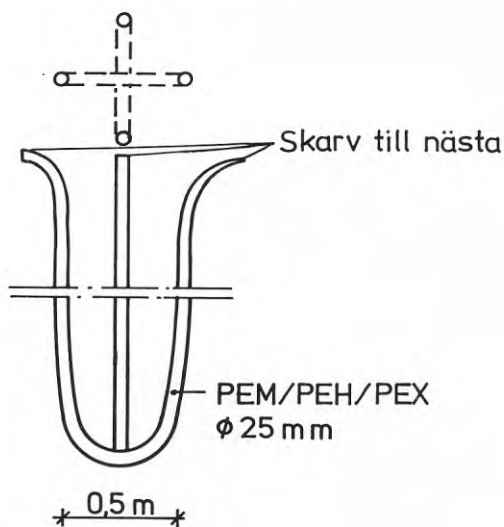


Figur 2.2 Skarvfritt enkelt U-rör.

### 2.3 Korsat dubbelt U-rör

Det korsade dubbla U-röret består av två enkla U-rör som ligger, i plan sett, vinkelrätt mot varandra. Varje enskild värmeväxlare består då av fyra skänklar som ligger på periferin till en cirkel med diametern ca 0.5 meter, se figur 2.3. Det dubbla U-röret har den fördelen mot det enkla att den klarar stora effekt uttag betydligt bättre. Effektkapaciteten är vid korta pulser, upp till några dagar, proportionell mot mängden slang i lagret.

### KORSAT DUBBELT U-RÖR



Figur 2.3. Korsat dubbelt U-rör.

kostnaderna för installationsarbetet. En stor fördel med metoden som kallas slangstickningsmetoden, är att slangen installeras kontinuerligt så att det inte behövs en skarv mellan varje U-rör. Detta innebär dels att arbetet med svets/koppling kraftigt reduceras, dels att kostnaden för eventuella kopplingar reduceras samt att risken för läckage minskar.

En kostnadskalkyl har utförts för värmelagret i Söderköping. Ett fiktivt värmelager har studerats där det nuvarande lågtemperaturvärmelagret, värmepump och uteluftkylare ersätts med tex en solfångaranläggning och värmelager utan värmepump. Det ställs betydligt större energi- och effektkrav på det fiktiva lagret än vad som görs på det verkliga lagret. Kostnadskalkylerna har gjorts på fem olika lagertyper där värmeväxlaren eller installationsmetoden varierar. Dessa är enkelt U-rör, skarvfritt enkelt U-rör, korsat dubbelt U-rör, parallellt dubbelt U-rör och spiral.

Slangstickningsmetoden som används för att installera det skarvfria enkla U-röret har i projektet visat sig vara den billigaste metoden även om värmeväxlarens relativt dåliga värmeöverföringskapacitet vägs in. Metoden är dock begränsad till relativt lös lera. Lagren med de korsade och parallella U-rören är ca 18 % dyrare men i fall där tex en pålkran, kalkpelarmaskin eller dränsättningsmaskin redan finns på plats eller om lerdjupen är kring 30 meter kan dessa metoder ändå vara lämpliga att använda. Metoden att skarvfritt installera slang kan tänkas bli möjlig att använda framöver även med pålkran, kalkpelarmaskin och dränsättningsmaskin och för andra värmeväxlartyper än enkelt U-rör.

En översiktlig beräkning har gjorts för att undersöka om ett högtemperaturvärmelager och solfångare är konkurrenskraftigt mot lågtemperaturvärmelagret, värmepumpen och uteluftkylarna i Söderköping. Beräkningen visar att så är fallet. Om energi kan fås från tex en spillvärmekälla istället för från solfångare borde kostnaderna kunna minskas ytterligare.

## 1. BAKGRUND

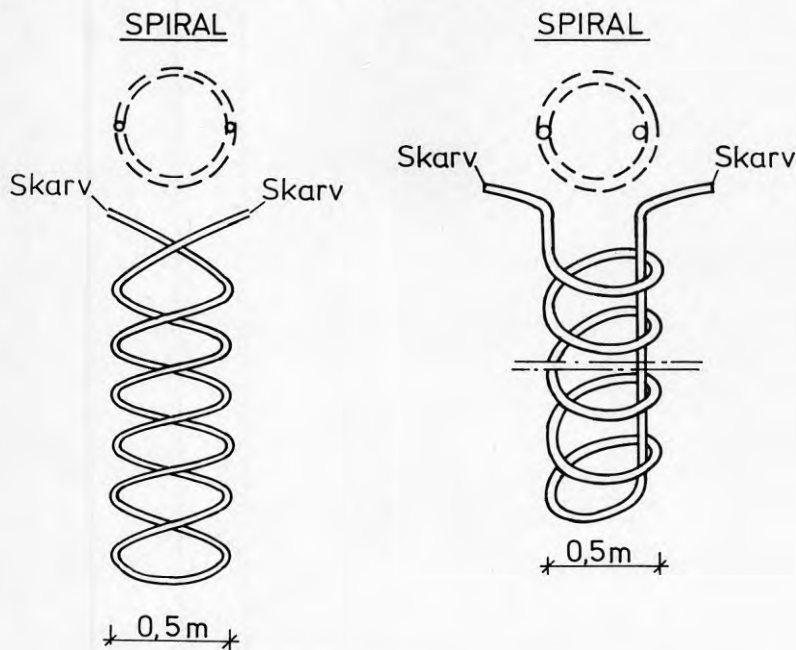
Ett värmelager i lera består av flera hundra enskilda värmeväxlare som tillsammans fungerar som en stor markvärmväxlare. Följande har varit den modell som hittills byggda lager följt: De enskilda värmeväxlarna består av slang nertryckt vertikalt i marken till 10 - 40 meters djup. Slangen är ca 25 mm i diameter. Slangarna formar enkla eller dubbla U-rör som kopplas ihop i markytan. Varje enskild värmeväxlare ligger ca 1.8 - 2.5 meter från varandra vid värmelagring anslutet till en värmepump.

Med höjda elpriser och låga oljepriser är lågtemperaturvärmelager med värmepump inte lika fördelaktigt längre eftersom det åtgår el för drift av värmepumpen. Om ett värmelager kan byggas i lera med sådan temperaturnivå att en värmepump kan uteslutas är det ett intressant alternativ.

Kostnaderna för kopplingar och svetsar utgör enligt Wilén et al (1988) och Sundberg (1990) ca 13 % av lagerkostnaden för lågtemperaturvärmelager och bedöms öka till minst 25 % för högtemperaturvärmelager med traditionell utformning och installationsteknik av värmeväxlaren. Genom att antingen finna en effektivare värmeväxlare och därmed kunna minska antalet värmeväxlare eller genom att rationalisera installationsmetoden så att färre skarvar erhålls bör kostnaden kunna minskas med ca 5 % för lågtemperaturvärmelager och ca 20 % för högtemperaturvärmelager.

## 2.4 Spiral

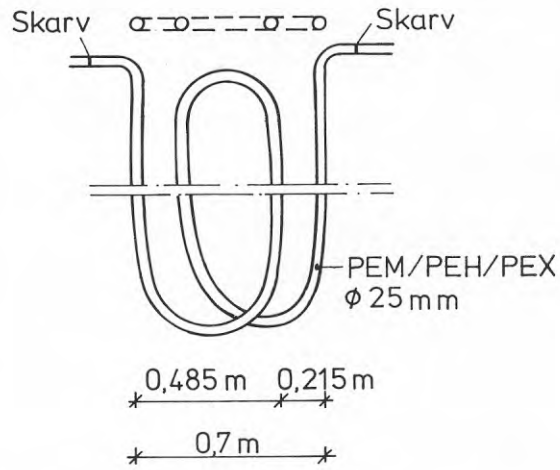
Den spiralformade värmeväxlaren kan i princip ha två utseenden. I det ena fallet skruvas slangens ner och får då formen av en spiral, med två skänklar som är spiralformade. I det andra fallet grävs ett hål ur där spiralen placeras och massor återfylls mellan skänklarna. Här är en skänkel spiralformad medan den andra går rakt upp igen, se figur 2.4. Ur värmeteknisk synvinkel är dessa i stort sett likvärdiga för samma mängd slang till varje enskild värmeväxlare och för samma diameter på värmeväxlaren. Då båda skänklarna är spiralformade kan viss kortslutning uppstå mellan skänklarna vilket inte kan ske på samma sätt då återföringen sker snabbare i en skänkel rakt upp. I Sverige har inget lager byggts med denna värmeväxlare. Enligt vad som framkommit i detta projekt har inga ordentliga fältförsök utförts. I Kanada har emellertid en testanläggning byggts där värmeväxlaren fördes ner i ett urgrävt hål. Metoden att skruva ner slang finns patenterad men har hittills inte testats i fält.



Figur 2.4. Spiral.

## 2.5 Parallellt dubbelt U-rör

Det parallella dubbla U-röret består av två enkla U-rör som parallellförskjutits något. De ligger således i samma vertikalkalplan. Värmeväxlaren består här precis som för det korsade dubbla U-röret av fyra skänklar. Avståndet mellan de yttersta skänklarna är ca 0.7 meter och avståndet mellan övriga skänklar är 0.22 respektive 0.27 meter, se figur 2.5. Ingen erfarenhet finns från denna värmeväxlartyp utan metoden är än så länge på idéstadiet.

DUBBELT PARALLELLT U-RÖR

Figur 2.5. Parallellt dubbelt U-rör.



### 3. VÄRMETEKNISKA BERÄKNINGAR

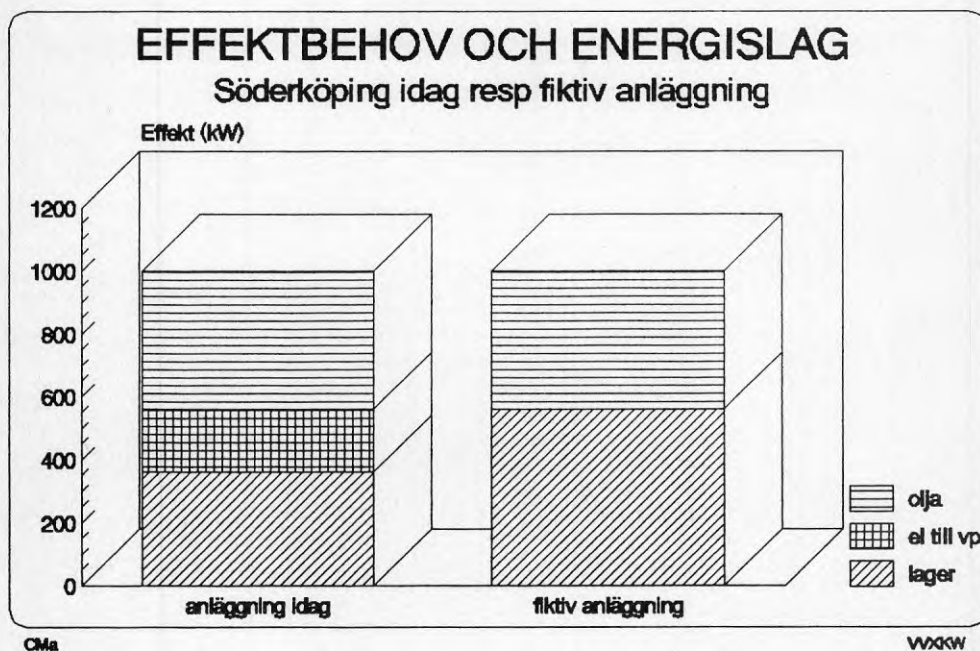
Värmetekniska beräkningar har utförts för enkelt U-rör, dubbelt U-rör, parallellt dubbelt U-rör och spiral. Använda beräkningsprogram är utvecklade av Göran Hellström vid Lunds tekniska högskola och kallas GHE, QPERGHS och RECT4A.

Värmelagret i Söderköping består av 384 st korsade dubbla U-rör till 18 meters djup under markytan. Lagrets volym är 36 000 m<sup>3</sup>. Detta lager pendlar temperaturmässigt mellan 6 och 32 °C vilket innebär att en värmepump behövs för att höja temperaturen. Värmepumpen är deltäckande så de befintliga oljepannorna går in som spetslast. Värmepumparna klarar effektbehovet vid temperaturer över ca -5 °C.

De värmetekniska beräkningarna ska ligga till grund för en omdimensionering av lagret i Söderköping där värmen tas ut vid en så pass hög temperaturnivå att inte värmepumpen erfordras. Fluidtemperaturen i lagret varierar således mellan 50 °C och 90 °C.

#### 3.1 Beräkningsförutsättningar

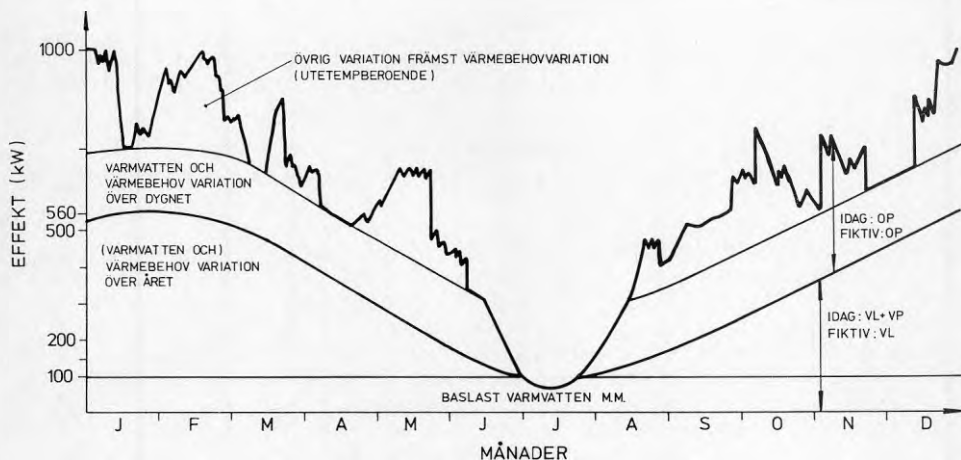
Effekt- och energibehov för skola och sporthall samt fördelningen mellan olika energislag för den nuvarande anläggningen och för en fiktiv anläggning utan värmepump anges nedan i figur 3.1 och 3.2.



Figur 3.1. Totalt effektbehov för skola och sporthall i Söderköping fördelat på olika produktionskomponenter.



helg). En anläggning med värmepump är inte lika känslig för felaktig dimensionering eftersom värmepumpen kan "rätta till felet". I det fallet fås en anläggning som inte är optimalt dimensionerad men likväl fungerande. I figur 3.3 ges en fördelning av effektbehovet med tiden uppdelat i olika typer av pulser. Värmelagret i den fiktiva anläggningen ska klara den undre sinusformade behovskurvan vilket är samma krav som idag ställs på värmelagret och värmepumpen tillsammans. Den baseras på månadsmedelutetemperaturer. Oljepannor måste klara spetslast på samma sätt som tidigare, alltså övrig effektvariation. I den övre sinusformade kurvan ingår effektbehovet för att klara statistisk variation över dygnet och aktuellt driftfall. Den översta "kurvan" beror främst på variationer i utetemperatur som kan förändras mer oförutsett.



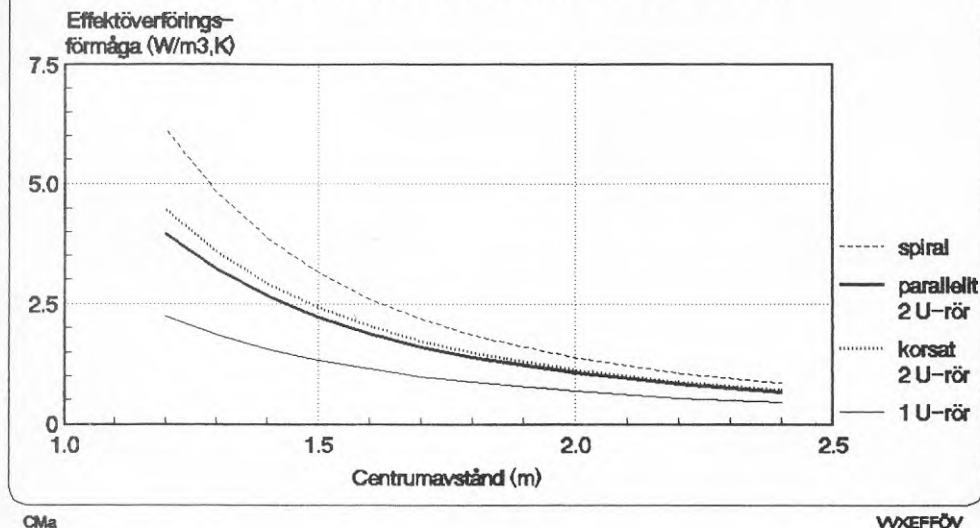
Figur 3.3. Effektbehov med tiden uppdelat i olika pulser för skola och sporthall.

### 3.2 Värmeöverföringsförmåga

För att kunna jämföra olika värmeväxlare med varandra måste dessa vara likvärdiga ur värmeteknisk synvinkel. I detta projekt har jämförelser gjorts för enkelt U-rör, korsat dubbelt U-rör, parallellt dubbelt U-rör och för en spiral. Spiralen motsvarar beräkningsmässigt ett trippelt U-rör. Dimensioner mm ges i kap 2.

Beräkningar har utförts för dessa värmeväxlartyper för att bestämma effektöverföringsförmågan för olika centrumavstånd mellan värmeväxlarna vid stationärt tillstånd. Effektöverföringsförmågan anges i Watt per kubikmeter och grad Kelvin ( $W/m^3, K$ ). Resultaten av beräkningarna visas i figur 3.4. Effektöverföringsförmågan styr vilken minsta lagervolym som behövs för att klara energi- och effektkraven.

## EFFEKTÖVERFÖRINGSFÖRMÅGA OLIKA VVXTYPER OCH CC-AVST.



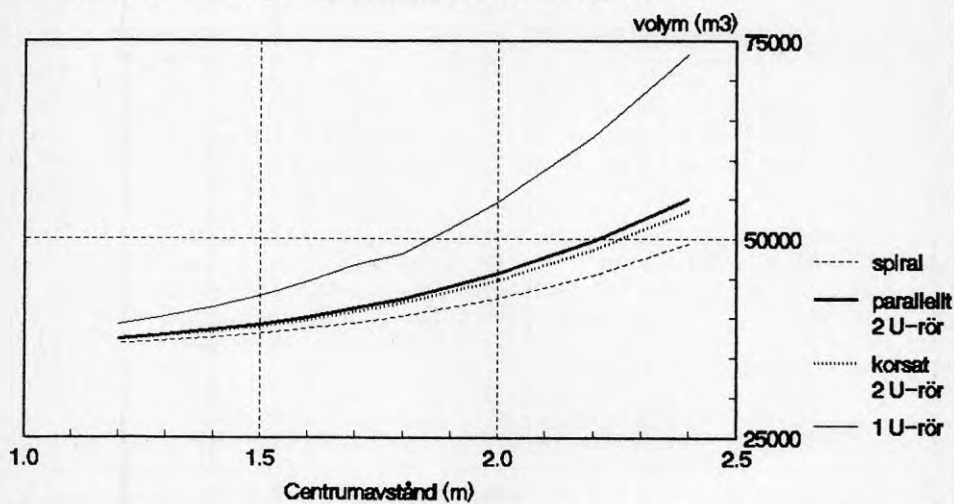
Figur 3.4. Effektöverföringsförmåga för olika värmeväxlartyper och olika centrumavstånd mellan värmeväxlarna.

Enligt figur 3.4 framgår att för stora centrumavstånd spelar värmeväxlartypen mindre roll än för små centrumavstånd. Vidare framgår att den spiralformade värmeväxlaren har störst effektöverföringsförmåga. Därefter kommer det korsade dubbla U-röret och det parallella dubbla U-röret som i stort sett är likvärdiga inbördes. Den sämsta effektöverföringsförmågan har det enkla U-röret. Det enkla U-röret har ca halva kapaciteten vid centrumavståndet 2.4 m och ca 38 % vid centrumavståndet 1.2 m av spiralens effektöverföringsförmåga.

### 3.3 Erforderlig lagervolym och erforderligt antal värmeväxlare

Effektöverföringsförmågans betydelse för erforderlig lagervolym och erforderligt antal värmeväxlare framgår av figur 3.5 och 3.6.

## ERFORDERLIG LAGERVOLYM OLIKA VVXTYPER OCH CC-AVST.

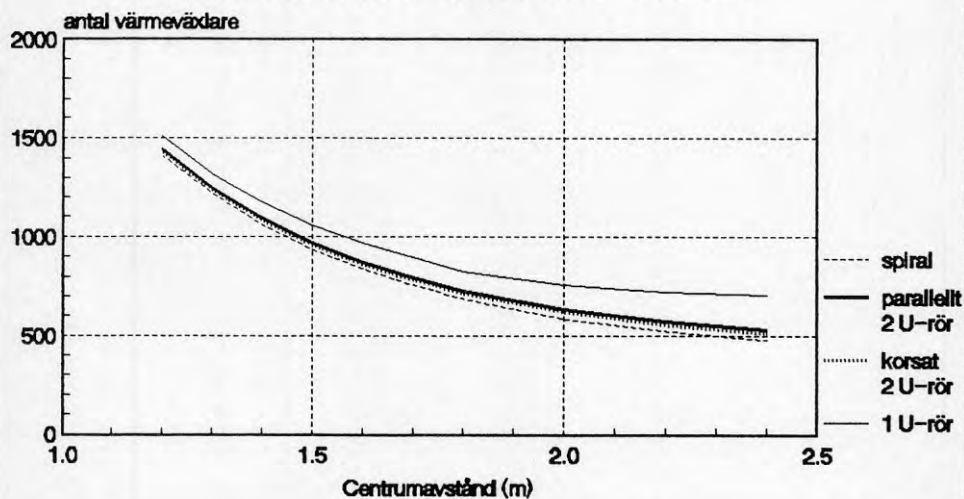


CMA

VVVOLYM

Figur 3.5. Erforderlig volym för olika värmeväxlartyper och centrumavstånd för fiktivt lager.

## ANTAL VÄRMEVÄXLARE OLIKA VVXTYPER OCH CC-AVST.



CMA

VVANTAL

Figur 3.6. Erforderligt antal värmeväxlare för olika värmeväxlartyper och centrumavstånd för fiktivt lager.

Vid centrumavståndet 2.4 m måste lagervolymen vara 50 % större för det enkla U-röret än för spiralen för att dessa ska vara likvärdiga. Motsvarande jämförelse vid centrumavståndet 1.2 m ger att lagervolymen måste vara 10 % större.

Eftersom det ur värmeförlustsynpunkt är fördelaktigt att utnyttja så stor lagerhöjd som möjligt kommer lagerhöjden att vara densamma, 18 m, i samtligt fall. Erforderlig lageryta står då i proportion till lagervolymen. Varje värmeväxlare sitter i ett kvadratisk gitter så att en värmeväxlare verkar på en yta som är centrumavståndet i kvadrat. Det åtgår således dubbelt så många värmeväxlare vid centrumavståndet 1.4 m än vid 2.0 m.

I figur 3.5 och 3.6 kan ses att det behövs 1.3-1.8 gånger så stor volym vid centrumavståndet 2.4 m än vid 1.2 m medan det omvända förhållandet råder för antalet värmeväxlare det vill säga 2-3 gånger så många värmeväxlare vid centrumavståndet 1.2 m än vid 2.4 m. Den stora förändringen sker för volymen vid centrumavstånd över ca 1.8 m och för centrumavståndet under ca 1.4 m.

Det bör dock observeras att beräkningarna är utförda för årlig sinusformad variation och stationära förhållanden. Vid korta pulser, mindre än några dagar är förhållandena annorlunda. Vid sådana pulser känner inte en skänkel av den/de andra skänklarna eller den bredvidliggande värmeväxlaren finns. Efterhand som influensen ökar sjunker effektkapaciteten. För ett enkelt U-rör är effektkapaciteten ca hälften för en puls som varar en timme mot en puls som varar i ett dygn.



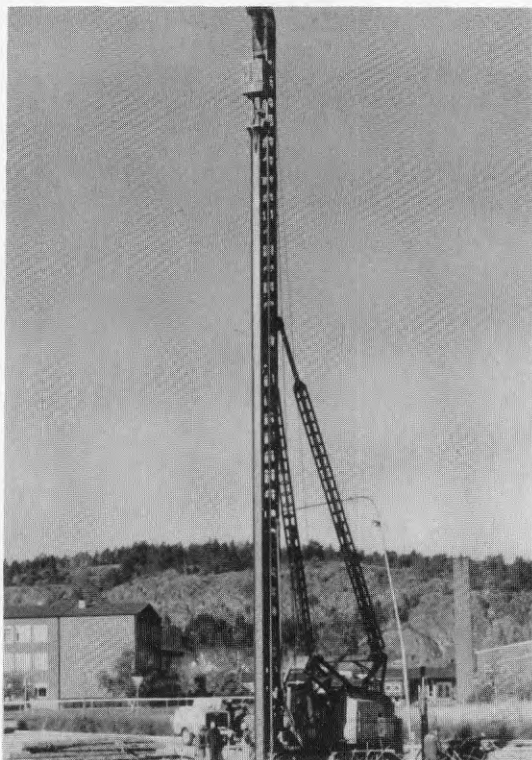
## 4 INSTALLATIONSMETODER

### 4.1 Nedtryckning med pålkran (kalkpelarmaskin och dränsättningsmaskin)

Pålkran har använts vid anläggandet av samtliga värmelager med vertikala slangsystem i lera i Sverige. Pålkranen har utvecklats för nertryckning av pålar i lera för grundläggningsändamål. Pålkranen kan normalt hantera pålar av längden 18 meter utan skarvning. I figur 4.1 visas en pålkran. Slangen kan installeras med hjälp av ett foderrör som skyddar slangen vid neddrivning eller med ett verktyg som trycker ner slangen oskyddad. Pålkranen bedöms kunna bytas ut mot en kalkpelarmaskin eller dränsättningsmaskin. Dessa är mindre och nättare maskiner än pålkranen men kan nå minst samma djup som pålkranen. Det finns dock inga tester utförda med dessa.

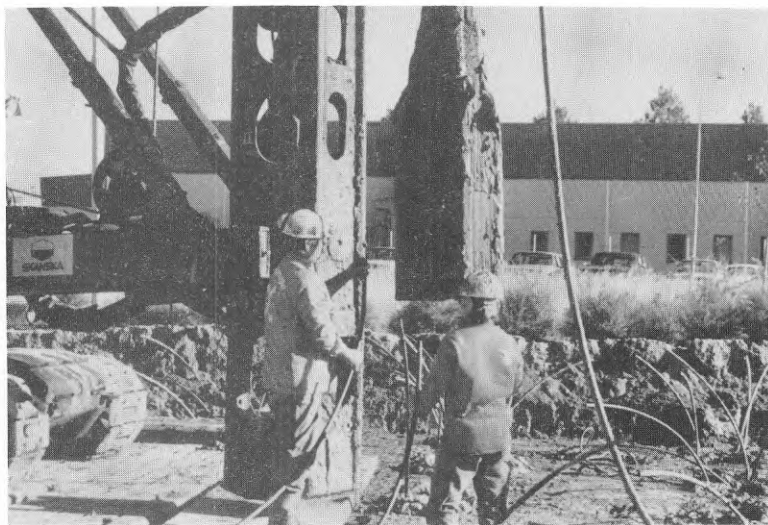
#### Skyddad slang

Installationen av skyddad värmeväxlare har gått till så att slangen har förts in i ett foderrör av stål eller dylikt som sedan trycks och slagits ner till rätt djup. Foderröret dras sedan upp. Foderröret kan ha formen av en cylinder, platta eller som ett kors i plan sett.

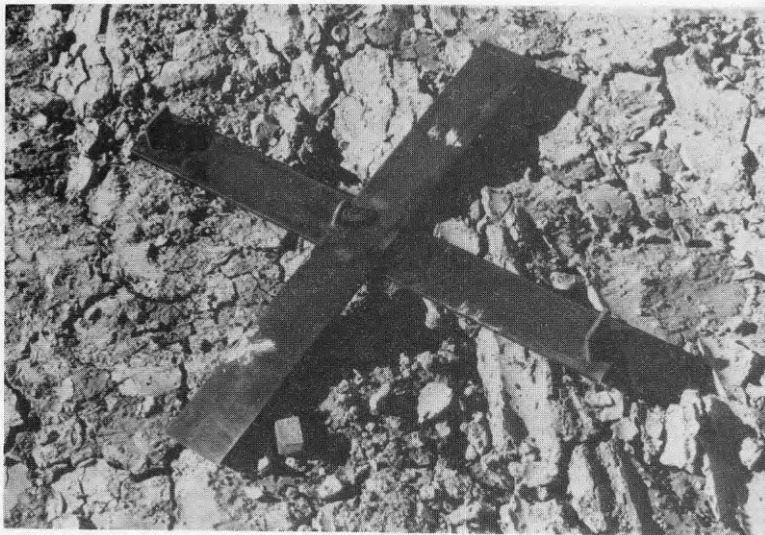


Figur 4.1. Pålkran.

Ett enkelt eller dubbelt korsat U-rör med litet avstånd mellan skänklarna, ca 0.2 meter, kan installeras med hjälp av cylindern. Cylindern har en bottenplatta som trycks loss innan foderröret dras upp igen. För stora avstånd mellan skänklarna, 0.3 till 0.5 meter, trycks en mycket stor volym material undan då foderröret trycks ner vilket kräver stora krafter. Då foderröret dras upp faller det undanträngda materialet tillbaka och kan trycka ihop slangarna så att de i värsta fall ligger intill varandra. Värmetekniskt sett är det väsentligt att avsett avstånd mellan skänklarna upprätthålls. Foderröret utvecklades därför ytterligare för installation av ett korsat dubbelt U-rör med skänkelavståndet 0.5 meter, se figur 4.2. Bottenplattan i form av ett kors upptar bara en liten yta i jämförelse med en cirkelplatta med 0.5 meters diameter, se figur 4.3.



Figur 4.2. Foderrör för installation av korsat dubbelt U-rör.



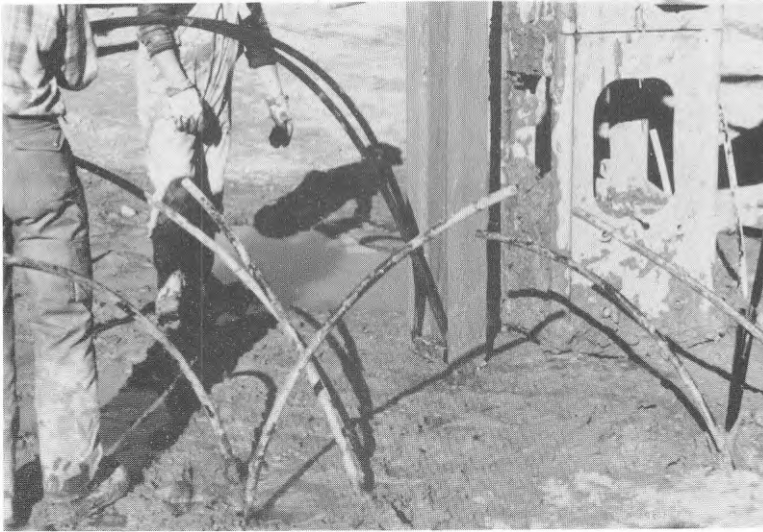
Figur 4.3. Bottenplatta för foderrör i form av ett kors.

Det finns även ideer om att stoppa ner ett dubbelt parallellt U-rör med en rektangulär kassett. Denna trycker undan ungefär samma mängd lera som foderröret för det korsade dubbla U-röret.

#### Oskyddad slang

En I-balk kan användas för installation av enkelt U-rör, se figur 4.4. Tester med I-balk har utförts i normal och lös lera till 18 meters djup (Wilén, Johansson, Rhen 1988). En del av slangarna där leran var normalfast drogs av vid denna test. Försöken utfördes med PEM slang. En PEX slang hade troligtvis klarat sig bättre med hänsyn till högre hållfasthet. PEX slangen fanns dock inte på marknaden vid det tillfället. Metoden fungerade dock bra i lös lera med PEM slang.

Installationsarbetena med pålkranen har fungerat bra. De anläggningar som byggts har kunnat utföras utan problem vid själva slanginstallationen. Hyrkostnaden för pålkranen är dock relativt hög och etableringskostnaden hög vilket gör att den passar bra för stora projekt och vid stora lerdjup. Mindre lager till mindre lerdjup och på sådan plats där en pålkran kan få svårt att komma till är inte lika lämpliga för denna teknik.



Figur 4.4. Installation av enkelt U-rör med hjälp av en I-balk.

#### 4.2. Skruvmetod

Alternativet till att trycka ner slang i marken är att skruva ner den utan foderrör. En vanlig geoteknisk undersökningsbandvagn eller dylikt är tänkt att användas. Flera värmväxlare (2-4 st) bör kunna installeras samtidigt. En bandvagn är mindre och smidigare än en pålkran vilket är en fördel. Inga fältförsök har utförts. Följande frågor bör utredas för att metodens användbarhet ska kunna utvärderas:

- \* Till vilket djup fungerar den?
- \* Tidsåtgång?
- \* Håller slangen vid de dragpåkänningar som uppstår pga friktionen mot leran vid installationen?
- \* Vid nerskrivningen kommer själva slangen att vridas kring sin egen axel vilket också är oklart om slangen håller för?
- \* Då spetsen som vrider ner slangen ska upp är det också väsentligt att slangen sitter kvar i marken och inte följer med upp?

#### 4.3. Urgrävning och återfyllning

Den spiralformade slangen kan även erhållas genom att ett hål borras upp varifrån slangen förs ner och tomrummet återfylls med något material. Metoden har använts i Kanada (Svec 1988). Spiralen bestod där av koppar som har bättre värmeöverförande egenskaper än plast. Materialet som används för återfyllning bestod av vattenmättad sand som också har bättre värmeöverföringsförmåga än lera.

Det är i stort sett omöjligt att gräva ut ett hål med höjden större än 10 meter utan att väggarna rasar in vilket gör att hålet måste stabiliseras med bentonit under arbetets gång (10 meter är normalt en undre gräns för lagerdjupet för att lagret ska kunna byggas till rimlig

kostnad och rimligt stora värmeförluster). I mycket fast lera och till mindre djup är det tänkbart att hålet kan stå öppet en stund innan slangens förts ner och återfyllning skett. Den lagerutformning som då erhålls är inte lämpad för värmelagring eftersom lagrets djup är för litet för att hålla nere värmeförlusterna. Lagring av kyla är däremot möjlig.

#### 4.4. Slangstickning - fältförsök

##### 4.4.1. Bakgrund

Markvärmelager med vertikala slangsystem i lera installeras vanligtvis med en pålkran. Pålkranen driver ner slangsektioner som manuellt skarvas ihop i markytan till ett slutet system.

Visar det sig möjligt att kontinuerligt installera markvärmeväxlare utan skarvar samtidigt som en lättare geotekniskt sonderingsmaskin används för installationsarbetet kan troligtvis kostnaderna reduceras.

Tidigare försök har visat att det är möjligt att driva ner slangar med en geotekniskt sonderingsmaskin. Metoden att samtidigt driva ner slangar kontinuerligt är emellertid ej utprovad, vilket har undersökts i detta projekt.

Slangen bestod av PEX som har en högre hållfasthet än PEM. Det är därför inte självklart att metoden är användbar för PEM eller PEH slang.

##### 4.4.2. Försöksplats

Fältförsöken har utförts vid SGI:s provfält i Norrköping den 2 oktober 1990. Geotekniska undersökningar från försöksplatsen framgår av Bergdahl (1983).

Undersökningsresultatet visar att jorden består 1.0-1.5 meter torrskorpelera, därunder till cirka 13 meters djup av lös normalkonsoliderad lera som vid cirka 4 meters djup övergår till varvig lera med siltskikt. Grundvattenytan är belägen cirka 1.5 meter under markytan.

Resultaten av vingborrningarna visar att skjuvhållfastheten mellan 3 och 7 meter under markytan ökar från drygt 10 till knappt 20 kPa. Från 7 meter uppvisas en konstant skjuvhållfasthet, knappt 20 kPa.

Geotekniska undersökningar redovisas i bilaga 1.

##### 4.4.3. Omfattning av fältförsök

Fältförsöket har omfattat installation av 200 meter slang av fabrikat Wirsbo PEX, ytterdiameter 32 mm. Materialet kan klara temperaturer upp mot 90 °C.

Slangpaketet installerades i 2 omgångar om 100 meter per omgång. Vid första omgången monterades slangslingorna vertikalt medan vid den andra omgången utfördes installationen med en svag avvikelse (cirka 5°) från lodlinjen. Med den senare installationsmetoden tenderar troligtvis slangarna att vid eventuella sättningar mera gynnsamt "läggas



sig ned" istället för att "knycklas" ihop vilket förmodas kunna ske vid en vertikal installation.

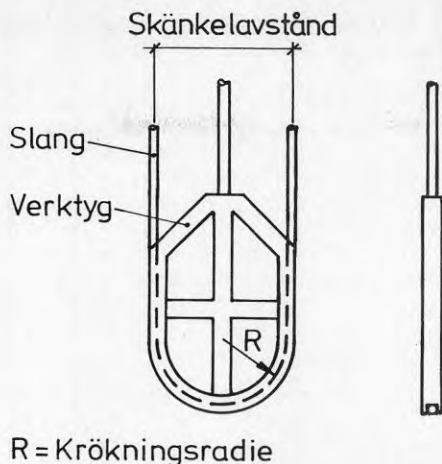
För att komma igenom provplatsens "hårda" ytskikt (torrskorpa) på ett rationellt sätt grävdes ett smalt dike med en traktorgravare, se figur 4.5. Efter installationsarbetet fylldes diket igen.



Figur 4.5. Traktorgravare längs installationsdike.

Ett befintligt installationsverktyg lånades av VIAK AB i Vällingby. Verktöget är ej anpassat för metoden att kontinuerligt installera slangar utan till en installationsmetod för en lätt geoteknisk sonderingsmaskin, Engvall (1986). Undersidan av verktöget är utformat som en spalt med en bredd av cirka 35 millimeter. Vid installation av slangen greppar verktöget tag i slangen och placerar den i spalten. Spalten är formad som en halvcirkulär (sidovy) vilket innebär att slangen löper längs halvcirkeln för att bilda en U-formad slinga med ett skänkelavstånd på cirka 0.33 meter. Krökningsradien på verktöget är cirka 0.15 meter. Slangfabrikantens (Wirsbo) anvisningar om bockningsradie för PEX-slang med 32 millimeters ytterdiameter rekommenderar en något större (0.16 meter) minsta bockningsradie än den använda. Principskiss framgår av figur 4.6.





Figur 4.6. Neddrivningsverktyg.

Verktyget installerades i en hydraulisk borrhög, monterad bak på en geoteknisk sonderingsjeep (Mercedes Unimog). Fordonet backades vinkelrätt mot diket, se figur 4.7, närmare diket vid vertikal installation jämfört med snedställd installation.

För att kunna installera slang kontinuerligt måste slang motsvarande djupet på markvärmväxlaren alltid matas förbi vertyget innan neddrivningen kan påbörjas. Vid neddrivning hålls slangen med uppåtriktad kraft mot undersidan av vertyget av två man samtidigt som verktyget försiktigt får börja tränga genom leran. Slangen matas därefter ned av verktyget till botten av lagret. När verktyget dras upp glider slangen ur verktyget för att stanna på avsett djup. Med upptaget verktyg förflyttas installationsfordonet till platsen för nästa markvärmväxlare. Installationsförfarandet upprepas tills samtliga markvärmväxlare är på plats.

I samband med installationsarbetet dokumenterades neddrivningskraft. Se efterföljande kapitel 4.4.5.

För att påvisa fullgod funktion av de installerade slangarna har provtryckning genomförts, kapitel 4.4.6.

#### 4.4.4. Resultat av fältförsök

##### Grävning

Installationsdiket, 25 meter långt, 0.3 meter brett och 1 meter djupt tog knappt en timma att gräva. Den angivna tiden inkluderar förberedelser inför grävning, i aktuellt fall byte av skopa samt borttagning av ett mindre träd. Frankörning om cirka 1 timma tillkommer.

Under tiden diket stod öppet rasade mindre mängder väggmassor ned. Detta medförde inga olägenheter. Botten på diket stod hela tiden under vatten. Vattnet kan ha egenskapen som smörjmedel och på så sätt göra neddrivningen av slangarna mindre kraftkrävande. Vid montage av slangarna backades installationsfordonet vinkelrätt mot dikeskanten. Alternativt kan man tänka sig att köra längs diket med installationsfordonet, vilket eventuellt ytterligare skulle kunna förenkla förflyttningen mellan de olika installationsplatserna (markvärmväxlarna). På

grund av de lösa kanterna och bilens ringa bredd prövades inte denna metod eftersom dikesras inte kunde uteslutas.

Återfyllning av diket genomfördes på cirka 30 minuter, det vill säga halva grävningstiden. Tiden för återfyllning beror bland annat på i vilken omfattning som den övre slangändan trycks ned i botten på diket. Är slangen synlig, det vill säga inget material ligger under slangen, måste massorna återfyllas mera försiktigt så att slangen inte kläms med skadliga veck som resultat. Trycks slangen helt ned i botten på diket elimineras den beskrivna risken. Någon påtaglig ökning av neddrivningskraften i det senare beskrivna fallet gick inte att märka. En nackdel med den senare metoden kan vara att neddrivningskraften ändå ökat något vilket gör att slangen pressas närmare verktyget i botten på värmeväxlaren. Detta kan medföra att slangen blir svårare att frigöra från verktyget då det dras upp. Båda metoderna användes i fältförsöket.



Figur 4.7. Installationsarbete.

#### 4.4.5. Neddrivningskraft

##### Uppmätt neddrivningskraft vid fältförsök

På den geotekniska borrhjeepen finns möjlighet att hydrauliskt mäta neddrivningskraft. Hydraulaggregatets kapacitet motsvarar en teoretisk neddrivningskraft av 50 kN. För att kunna utnyttja hela neddrivningskraften måste antingen jeepen förankras i marken eller belastas med en motvikt som inklusive jeepens vikt motsvarar kraften 50 kN (ca 5 000 kg). Dessa arbetsmoment är för tidsödande för att kunna motiveras i ett kommersiellt fall.

Jeepens egenvikt är cirka 2 300 kg vilket motsvarar en effektiv neddrivningskraft av knappt 23 kN. Kraftgivaren har kalibrerats före användning i fält.

##### Resultat av fältmätning

Mätning av neddrivningskraften visar i grova drag att för samtliga stick ökar kraften från cirka 4 kN till 9 kN linjärt med djupet från botten av diket (drygt en meter under markytan) till 9 meter under markytan. På större djup förblir kraften konstant, 9 kN. Vid bottenkänning ökar givetvis kraften över 23 kN vilket gör att jeepen häver sig. Hävning inträffade i stick 4 och 8, se bilaga 4.

För den aktuella leran var kapaciteten på jeepens neddrivningsanordning tillräcklig.

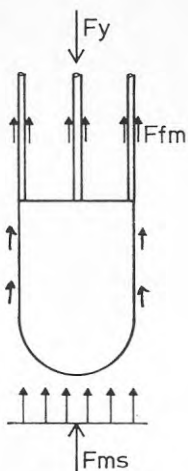
I bilaga 2 redovisas kalibreringskurva och neddrivningskraft för det djupaste sticket, Stick 4 = 14 meter.

##### Teoretisk betraktelse

Den totala kraft  $F_y$  som behövs för att driva ned en markvärmeväxlare är sammansatt av ett spetsmotstånd,  $F_{ms}$  och en friktionskraft  $F_{fm}$  längs mantelytan på borrhstål och slang, se figur 4.8.

$$F_y = F_{ms} + F_{fm} \{N\} \quad (1)$$

Med vetskap om de olika ingående krafterna finns möjlighet att teoretisk bestämma förväntad neddrivningskraft. Denna kunskap är avgörande för om det finns förutsättningar, det vill säga hydraulisk kapacitet på installationsfordonet, att använda den utvecklade installationsmetoden.



Figur 4.8. Kraftbalans på neddrivningsverktyget.

Motståndskraften  $F_{ms}$  tecknas

$$F_{ms} = N \cdot A \cdot \tau_{fu} \quad \{N\} \quad (2)$$

där

$N$  = Bärighetsfaktor, teoretisk omvandlingsfaktor mellan  $\tau_{fu}$  och spetsspänningen mot verktyget från det omgivande mediet. Bärighetsfaktorn  $N$  har påvisats vara ungefär lika med 9.

och

$A$  = Neddrivningsvertygets projicerade area i det horisontella planet  $\{m^2\}$ .

och

$\tau_{fu}$  = Lerans ostörda, odränerade skjuvhållfasthet vid spetsnivån  $\{N/m^2\}$ .

Man ser att den projicerade arean är konstant medan motståndskraften varierar med omgivande mediums skjuvhållfasthet som i sin tur ofta varierar med djupet.

Friktionskraften  $F_{fm}$  kan tecknas

$$F_{fm} = A_1 \cdot \tau_1 + A_2 \cdot \tau_2 \quad \{N\} \quad (3)$$

där

$A_1$  = Slangens mantelarea  $\{m^2\}$ .

och

$A_2$  = Borrstålets mantelarea  $\{m^2\}$ .

och

$\tau_1$  = Skjuvhållfasthet slang/lera, medelvärde  $\{N/m^2\}$ .

och

$\tau_2$  = Skjuvhållfasthet stål/lera, medelvärde  $\{N/m^2\}$ .

Antag att  $\tau_1 = \tau_2 = \tau \{N/m^2\}$ . (4)

Skjuvspänningen  $\tau$  kan anses stå i relation till  $\tau_{fu}$  och lerans sensitivitet,  $S_t$ .

Antag att  $\tau = \tau_{fu} / S_t \{N/m^2\}$ . (5)

F<sub>fm</sub> kan då tecknas

$$F_{fm} = (A_1 + A_2) \cdot \tau_{fu} / S_t \{N\} \quad (6)$$

I uttrycket (6) för friktionskraften ser man att mantelarean är föränderlig med avseende på slangens och borrstälens neddrivningsdjup. Förenklat är skjuvkraften en variabel som funktion av lagringsmedium och ingående material hos slang och borrstål.

Enligt föregående betraktelse kan uttrycket för neddrivningskraft slutligen formuleras.

$$F_y = N \cdot A \cdot \tau_{fu} + (A_1 + A_2) \cdot \tau_{fu} / S_t \quad \{N\} \quad (7)$$

Eftersom neddrivningskraften i regel ökar med djupet (gäller ej genomträngning av torrskorpa) är det lämpligt att för ett verkligt fall beräkna neddrivningskraft vid botten av en projekterad markvärmväxlare. Denna kraft är den maximala neddrivningskraften.

#### Jämförelse mellan teoretisk och uppmätt neddrivningskraft

För det aktuella fältförsöket gäller följande vid installation 5 respektive 10 meter under markytan.

5 meter

$$\begin{aligned} N &= 9 \\ A &= (0.05 \cdot 0.35) = 0.0175 \text{ m}^2 \\ \tau_{fu} &= 13 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \text{ (medelv., Bilaga 1)} \\ (A_1 + A_2) &= (1 + 0.5) = 1.5 \text{ m}^2 \\ \tau_{fu} &= 14 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \text{ (medelv., Bilaga 1)} \\ S_t &= 22 \text{ (medelv., Bilaga 1)} \end{aligned}$$

10 meter

$$\begin{aligned} N &= 9 \\ A &= (0.05 \cdot 0.35) = 0.0175 \text{ m}^2 \\ \tau_{fu} &= 17 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \text{ (medelv., Bilaga 1)} \\ (A_1 + A_2) &= (2 + 1) = 3 \text{ m}^2 \\ \tau_{fu} &= 16 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \text{ (medelv., Bilaga 1)} \\ S_t &= 17 \text{ (medelv., Bilaga 1)} \end{aligned}$$

Med föregående indata erhålls den teoretiska neddrivningskraften på 5 meters respektive 10 meters djup under markytan till

5 meter

$$F_y = 9 \cdot 0.0175 \cdot 13 \cdot 10^3 + 1.5 \cdot 14 \cdot 10^3 / 22$$

$$F_y = 2\,048 + 955 = 3 \text{ kN}$$

10 meter

$$F_y = 9 \cdot 0.0175 \cdot 17 \cdot 10^3 + 3 \cdot 16 \cdot 10^3 / 17$$

$$F_y = 2\,678 + 2\,824 = 5.5 \text{ kN}$$

Jämfört med uppmätt yttre neddrivningskraft (6.5 kN respektive 9 kN) är de teoretiska neddrivningskrafterna i storleksordningen hälften så stora. Resultat från andra fältstudier får ge underlag för hur man i detalj kan beräkna neddrivningsmotståndet.

Det bedöms vara viktigt att genomföra fler fälttester och ta fram dimensioneringsunderlag för att beräkna erforderlig neddrivningskraft som ligger till grund för val av installationssätt.



#### 4.4.6. Provtryckning

Efter montering av slangarna provtrycktes de tre slingorna (vertikal neddriven slinga med två stick (totalt 45 m), vertikal neddriven slinga av ett stick till maximalt djup (totalt 30 m) och snedställd neddrivning av slinga med fyra stick (totalt 95 m).

Varje slinga pluggades i ena ändan och den andra anslöts till en gasflaska via en reduceringsventil med manometer på utgående anslutning. Trycket i slangarna ökades till konstant 10 bar (1 MPa) varefter tillförseln avbröts. Den aktuella PEX-slangens nominella tryckklass är 6 bar (0.6 MPa).

Under cirka 30 sekunder indikerades eventuella läckage med tryckfall på manometer. Inget läckage konstaterades.

#### 4.4.7. Slutsatser

De tekniska och ekonomiska förutsättningarna anses goda för att vidareutveckla installationsmetoden och göra den kommersiell.

Det är viktigt att genomföra geoteknisk sondering innan markvärmväxlarna installeras. Dels för att ta reda på lerans hållfasthet för att beräkna teoretisk neddrivningskraft, dels undersöka djupet under markytan till hårdare oigenomträngliga jordlager eller fast botten. För den nyutvecklade installationsmetoden är det mycket viktigt att kunna garantera det planerade installationsdjupet över hela lagret eftersom man för varje nedstick måste mata förbi rätt mängd slang förbi verktyget. Är avståndet till botten kortare än den mängd slang som matas förbi verktyget går det ej att mata ned hela slangen. Den restögla som uppstår måste då antingen kapas bort vilket medför en extra skarv eller så kan eventuellt slingan grävas ned strax under markytan om tillräckligt med plats finns. Båda avvikelserna från den tänkta installationsmetoden ökar kostnaderna.

Det använda installationsverktyget fungerade tillfredställande. "Grep-pet" i verktyget var avsett för en yttre slangdiameter av 32 millimeter. Då den använda PEX-slangen applicerades i verktyget tycktes spelet mellan verktygsväggen och slangen vara för liten. Detta medförde att slangen tenderade att fastna i verktygets grepp då verktyget skulle föras tillbaka från botten av markvärmelagret. Situationen förvärrades av att slangens ytterdiameter växte då slangen böjdes runt verktyget för applicering i "greppet". Ett nytt verktyg måste tas fram där "greppets" geometri bättre anpassas till slangen som funktion av slangmaterial (PEX), olika slangdimension och krökningsradie.

För att öka installationsmetodens kapacitet är avsikten att utveckla installationsverktyget så att mer än en slangslinga kan monteras per nedstick. Sannolikt kan denna funktion (att montera olika antal slangslingor) integreras i ett verktyg.

För att förhindra skador på slangen och för att minska personalbehovet måste en utrustning tas fram som leder slangen från slangrullen till installationsplatsen utan trassel och tidsåtgång. Matning av slangen sker med hjälp av installationsverktygets nedåtgående rörelse.

## 5. KOSTNADSKALKYLER

### 5.1. Ingående kostnadsposter

En kostnads kalkyl har utförts för värmelagret i Söderköping. I detalj redovisas kalkylen i bilaga 3. Som referens används det aktuella lagret med korsat dubbelt U-rör och energi och effektbehov för anläggningen idag enligt kapitel 3. Därefter har jämförelser gjorts mellan fem olika värmeväxlartyper för att klara behoven från den fiktiva anläggningen utan värmepump, se vidare kap 3. Värmeväxlartyperna är enkelt U-rör, korsat dubbelt U-rör, skarvfritt enkelt U-rör, parallellt dubbelt U-rör och spiral.

I kostnads kalkylen ingår endast själva lagret. Varifrån värmen tas m.m. beaktas ej.

De faktorer som har betydelse för vilken installationsmetod som är mest ekonomisk beror på:

- \* Projektering.
- \* Byggadministration.
- \* Etablering på arbetsplatsen.
- \* Antal mantimmar för markförberedelser.
- \* Antal mantimmar installationen av samtliga värmeväxlare tar med beaktande av antalet värmeväxlare som behövs för respektive värmeväxlartyp vid likvärdig funktion.
- \* Antal mantimmar för kopplingsarbeten.
- \* Antal mantimmar för provtryckning.
- \* Antal mantimmar för återfyllning av massor kring slangar i markytan, utläggning av isolering, dränduk och diffusionsspärr.
- \* Antal mantimmar för återställning av markytan.
- \* Kostnad för hyra av maskiner.
- \* Kostnad för hyra av provtryckningsutrustning.
- \* Kostnad för slang och kopplingar.
- \* Kostnad för isolering med beaktande av att få samma mängd värmeförluster orsakat av olika metoders kapacitet av installationsdjup och därmed lagergeometri.
- \* Kostnad för tex sand för återfyllning kring slang i markytan.
- \* Kostnad för dränduk.
- \* Kostnad för diffusionsspärr.
- \* Kostnad för ev provtryckningsgas.
- \* Kostnad för värmebärandevätska.

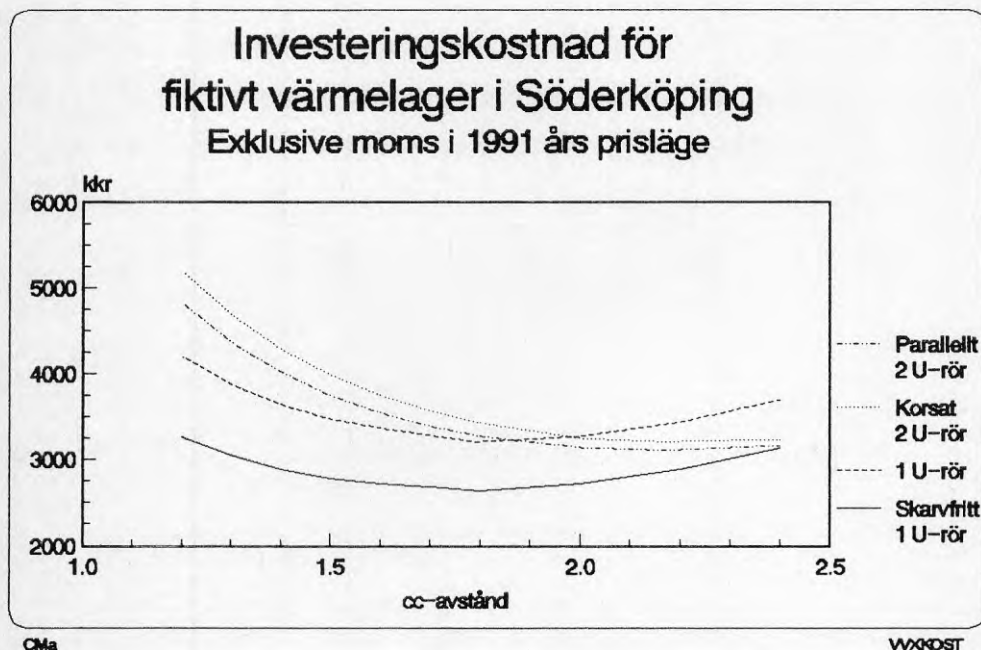
\* Kostnad för lagrets ovanyta tex gräs, grus, asfalt m.m.

\* Kulvert.

\* Oförutsett.

## 5.2 Resultat av kostnadskalkyler

Kostnaderna för lagret med de olika värmeväxlartyperna har sammanställts i figur 5.1. Den lägsta kostnaden erhöles för ett enkelt U-rör med centrumavståndet 1.8 meter som installeras i marken kontinuerligt för att minimera mängden kopplingar (Skarvfritt enkelt U-rör). Därefter kommer parallellt dubbelt U-rör med cc-avstånd 2.2 meter, korsat dubbelt U-rör med cc-avstånd 2.2 meter och enkelt U-rör med cc-avstånd 2.0 meter. Dessa är alla ca 18 - 24 % dyrare än det skarvfria enkla U-röret.

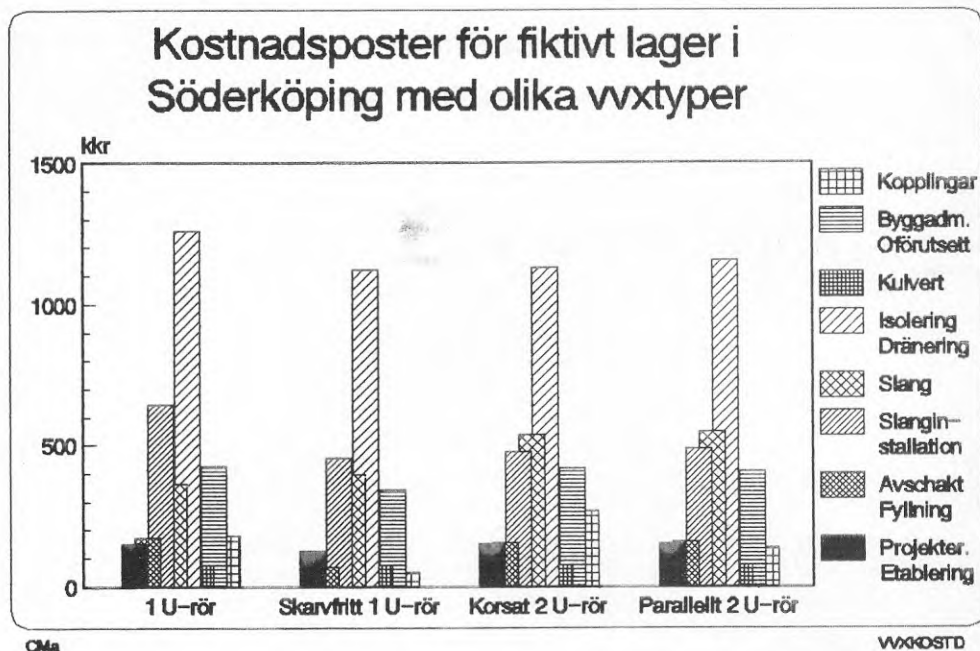


Figur 5.1. Investeringskostnad för värmelager med olika värmeväxlartyper exklusive moms i 1991 års prisläge. Energiinnehåll enligt kapitel 3.

Vid projektstart var avsikten att utföra kostnadskalkyler även för den spiralformade värmeväxlaren. Då det framkommit att metodernas användbarhet är begränsad, se vidare kapitel 6.1, har dessa kalkyler ej genomförts.

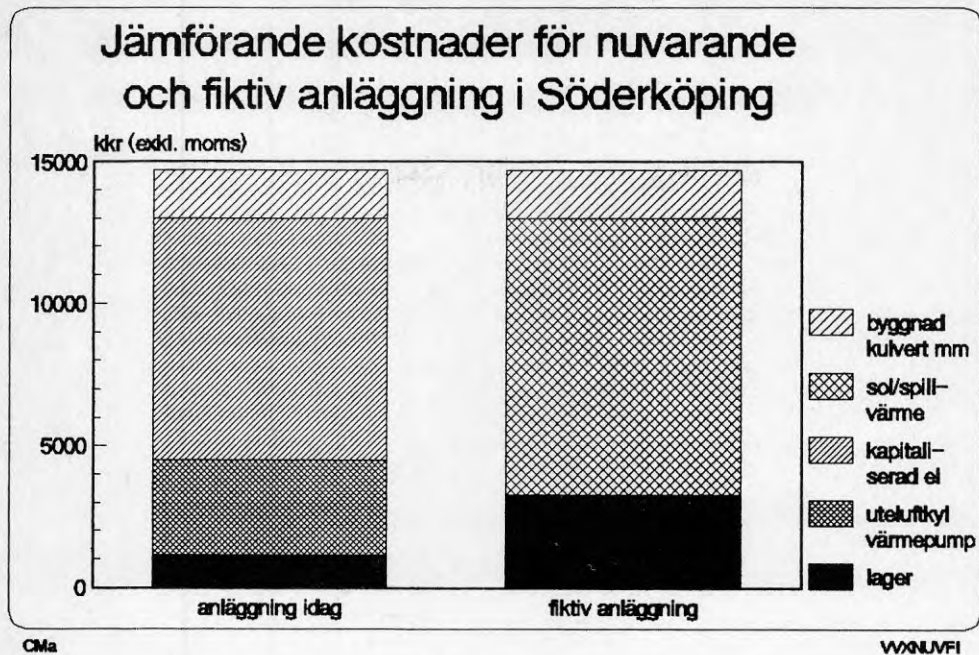
I figur 5.2 har kostnadsposterna slagits samman till åtta olika grupper. I figuren framgår att isolering är den största kostnadsposten. Kostnaderna för projektering och etablering, kulvert samt byggadministration och oförutsett är ungefär lika stora för de olika lagren. Lagret med enkelt U-rör har högst isolerkostnad pga att det lagret har störst exponerad markyta. Kostnaden för slanginstallation är också

dyrast för det enkla U-röret beroende på antalet värmeväxlare. Lagret med korsat dubbelt U-rör och parallellt dubbel U-rör har högst kostnad för slang vilket helt enkelt beror på att dessa lager har flest meter slang. Det korsade dubbla U-röret har högsta kostnaden för kopplingar då denna värmeväxlartyp ger flest antal skarvar.



Figur 5.2. Investeringskostnaden i figur 5.1 uppdelad på åtta olika kostnadsposter. Lagren har samma energiinnehåll enligt förutsättningarna för det fiktiva lagret.

Lagret i den fiktiva anläggningen är ca 3 gånger så dyrt som lagret i nuvarande anläggning. Däremot finns inga kostnader för värmepump, uteluftkylare och för el till drift av värmepumpen. Genom att addera dessa kostnader till kostnaden för det nuvarande lagret och dra bort kostnaden för det fiktiva lagret fås ett ungefärligt kostnadsutrymme för vad en solfångaranläggning eller tex spillvärme får kosta, se figur 5.3. En solfångaranläggning får då kosta i storleksordningen 9 miljoner kronor för att vara likvärdig med den nuvarande anläggningen. I kalkylen har räknats med 20 års avskrivning och 6 % realränta. Elprisökningen är i kalkylen beräknad som summan av inflationen 6 % och en särskild prisökning på 2 % = 8 %. Kostnader för underhåll och drift (utöver el) är ej medtaget. Solfångaranläggningen ska i detta fall kunna producera ca 2 300 MWh/år. Om det antas att 2.5 m<sup>2</sup> solfångare/MWh åtgår och kostnaden för dessa är 1 500 kr/m<sup>2</sup> ger det en kostnad för solfångarna på 8 625 miljoner kronor. Optimering mellan isolertjocklek och mängd solfångaryta är ej gjord. Vald isolermängd baseras på resultat från andra utredningar tex Sundberg (1990). Om tex spillvärme finns tillgängligt är det troligt att det inte är ekonomiskt att isolera lagret så mycket som i den utförda dimensioneringen. Lagerkostnaden kan då eventuellt väsentligt minska eftersom isoleringen är den största kostnadsposten för lagret.



Figur 5.3. Jämförande kostnader för nuvarande och fiktiv anläggning i Söderköping. Underhåll och drift förutom el till värmepumpen inkluderas ej.



## 6. VÄRDERING

### 6.1 Värmeväxlartyper

Avgörande för lagrets effektkapacitet är huvudsakligen mängden värmeväxlande slang i lagret. Lagren med det korsade och parallella dubbla U-rören har därför bäst effektkapacitet. Lagren har trots allt dimensionerats för att klara effektbehoven men om effektbehovet skulle överstiga det dimensionerade har de dubbla U-rören bättre kapacitet. Då effektkapaciteten inte räcker kopplas oljepannorna in och tar spetslasten. Korta effektpulser, ca något dygn, kan lagret klara bra då kapaciteten vid en kort puls i jämförelse med en lång puls är betydligt högre. Det beror helt enkelt på att en slang inte hinner påverkas av vad som händer kring en annan slang. Lagrets dimensionering är gjord för en årlig sinusvariationbelastning, figur 3.3. De effektpulser som belastar lagret vid iladdning eller urtag och som avviker från sinuskurvan kan lagret mer eller mindre klara av vilket då till stor del beror på mängden slang i lagret. Lagren har dimensionerats med olika värmeväxlare och ska vara likvärdiga ur energi- och effektsynpunkt enligt uppställda krav men vid en effektafvikelse har lagren med de dubbla U-rören större kapacitet. Om lagret ansluts till en solfångaranläggning har lagrets effektkapacitet stor betydelse då solvärmens ska lagras in på relativt sett få timmar i jämförelse med uttagsperiodens längd.

### 6.2 Installationsmetoder

Installation av det enkla U-röret kan utföras med pålkran och geoteknisk sonderingsmaskin. Installationen bedöms också kunna utföras med en kalkpelarmaskin eller dränsättningsmaskin. Pålkranen, dränsättningsmaskinen och kalkpelarmaskinen kan i allmänhet nå ner till större djup än den geotekniska sonderingsmaskinen. I kalkylerna har ett lager med 18 meters djup antagits vilket alla installationsmetoderna klarar om leran är lös. Om lagerdjupet kan vara ännu större gynnas troligtvis kalkpelarmaskinen och dränsättningsmaskinen då den geotekniska sonderingsmaskinen kan få svårt att klara av att driva ner slangen och pålkranen måste skarvas. Om lagerdjupet är minst ca 25 - 30 meter kan en skarvning vara ekonomisk. Om åtkomligheten till markytan är begränsad av tex träd är den geotekniska sonderingsmaskinen att föredra.

Det parallella dubbla U-röret och det korsade dubbla U-röret bör kunna installeras i marken med kalkpelarmaskinen. Genom att använda en kassett som kan dras ut och förlängas då kalkpelarmaskinens räckvidd i djupled utnyttjats kan värmeväxlaren installeras till ännu större djup. Med denna möjlighet är kalkpelarmaskinen troligtvis den mest lämpade maskinen för installation av slangvärmeväxlare till djup större än 18 meter. Det korsade dubbla U-röret installerades i Söderköping med pålkran till 18 meter då pålkranen kan nå det djupet utan skarvning. Om större lerdjup finns att utnyttja är det trots allt inte säkert att det är ekonomiskt att utnyttja djupet vilket bla beror på tiden för skarvning, lagrets geometri och framtida medeltemperatur.

Den spiralformade värmeväxlaren är tänkt att installeras antingen genom att skruvas direkt ner i marken eller genom att stoppas ner i ett förborrat hål. Med den förstnämnda metoden som hittills är ett teoretiskt förslag från Akva Terra är det tänkt att fyra skruvar samtidigt ska skruva ner fyra värmeväxlare. Efter diskussioner med geotekniskt fältkunniga personer anses metoden som mycket svår att



använda. Problem kommer troligtvis att uppstå då skruven ska skruvas upp utan att den installerade slangen ska följa med. Om skruven lämnas kvar i marken blir metoden för dyrbar.

Den andra metoden som har använts i Kanada kan troligtvis användas i fast jord och till ringa djup. I detta fall står det uppborrade hålet av sig självt och slangen kan stoppas ner i hålet och hålet fyllas igen med ett lämpligt material. Lager med bara några meters djup är dock knappast tänkbara än som kalla lager (nära markens normala medeltemperatur). Om det uppborrade hålet skulle vara minst 10 meter djupt måste en slurry användas i hålet för att det inte ska rasa igen. Slurryn hindrar då arbetet med att få ner slangen i hålet på ett enkelt sätt eftersom slangen vill flta upp. Metoden blir därför klumpig i jämförelse med de andra metoderna.

Ingen av metoderna för installation av en spiralformad värmeväxlare har i denna studie påvisat några fördelar kostnadsmässigt i jämförelse med att använda enkelt, korsat eller parallellt dubbelt U-rör.

Utöver den utförda kalkylen kan påpekas att om det redan finns en pålkran, kalkpelarmaskin eller dränsättningsmaskin på byggplatsen är det troligtvis fördelaktigt att använda den installationsmetod som kan använda befintlig utrustning. Åtkomligheten till den yta där lagret ska göras påverkar också valet av installationsmetod.

## 7. SLUTSATSER

- \* Skarvfritt enkelt U-rör som installeras med slangstickningsmetoden får den lägsta totalkostnaden för högtemperaturvärmelagring då lagrets djup är max 18 meter och leran relativt lös samt energitekniska förutsättningar enligt kapitel 3.
- \* Om en pålkran finns tillgänglig på en arbetsplats och lerdjupet är 15 - 18 meter eller kring 30 meter så att en skarvning kan vara lönsam kan installationen med pålkran vara lämplig. Fast lera gynnar metodens tillämpbarhet. Pålkranen kan installera enkelt U-rör, korsat och parallellt dubbelt U-rör.
- \* Om en kalkpelarmaskin eller dränsättningsmaskin redan finns på en byggarbetsplats är det troligt att den värmeväxlare och den installationsteknik bör användas som passar till maskintypen. Ingen praktisk erfarenhet finns från dessa maskiner men de bedöms kunna användas för installation av samma värmeväxlartyper som pålkranen kan installera och till minst samma djup. Skarvfria värmeväxlarinstallationer bör kunna utvecklas för alla maskintyper.
- \* Spiralförmad slang bedöms vara mycket svår att installera i lös lera då slangen troligtvis vill följa med nedtryckningsverktyget när det dras upp.
- \* Spiralförmad slang som installeras där leran är fast och till ringa djup så att ett hål kan skruvas upp utan någon stabiliserande slurry ger en ointressant lagergeometri. Om en slurry används för att kunna göra djupare hål uppstår problem med att få ner slangen i hålet med slurryn.
- \* Med slangstickningsmetoden kan det vara möjligt att bygga ett värmelager där framkomligheten är begränsad då denna metod använder en betydligt mindre maskin än tex pålkranen. Metoden är också lämplig för byggande av små lager.
- \* Effektöverföringsförmågan är bäst för en spiralförmad värmeväxlare, därefter är det parallella och det korsade dubbla U-rören likvärdiga och den sämsta kapaciteten har det enkla U-röret. Centrumavståndet 2.2 meter för de dubbla U-rören motsvara tex 2.4 meter för en spiral och 1.8 meter med enkelt U-rör. Samtliga skänkelavstånd är 0.5 meter.
- \* Högtemperaturvärmelager i kombination med en solfångaranläggning där ingen värmepump behövs kan vara ekonomiskt i jämförelse med ett lågtemperaturvärmelager, uteluftkylare och värmepump.
- \* Kostnad för isolering, diffusionsspärr, dränering med mera som behövs för att hålla värmeförlusterna nere vid högtemperaturvärmelagring är i storleksordningen 40 % av lagerkostnaden.
- \* Installationskostnaden (slanginstallation, sammankopplingar och kopplingar) kan minskas från ca 30 % av lagerkostnaden till ca 20 % med slangstickningsmetoden.
- \* Totalt blir ett fiktivt högtemperaturvärmelager i Söderköping med skarvfritt enkelt U-rör installerat med slangstickningsmetoden ca 18 % billigare än ett motsvarande lager byggt på traditionellt vis.

## 8. REFERENSER

U Bergdahl. Resultat av vingprovning med olika vingmetoder. Försök vid SGI:s provfält i Norrköping. Linköping 1983.

L Engvall. Energilagring i lera, ny metod för installation av värmväxlarrör. BFR R92:1986. Stockholm 1986.

C Magnusson, J Sundberg. Markvärmeteknik, handledning för planering och projektering. BFR T6:1990. Stockholm 1990.

Hellström et al. PC-program for Ground Heat Systems. Department of Mathematical Physics, University of Lund. Lund 1989.

B Rydell, T Abrahamsson, K Adolfsson, C Palmgren. Värmelagring i lera för skola och sporthall i Söderköping, förstudie. BFR R181:1984. Stockholm 1984.

B Rydell, C Magnusson, P Dahlöf. Värmelagring i lera med värmepump för skola och sporthall i Söderköping, projektering. SGI Varia 186. Linköping 1986.

J Sundberg. Högtemperaturlager i lera - Geoteknik, systemteknik och kostnadskalkyler. BFR R40:1990. Stockholm 1990.

O.J. Svec. Spiral heat exchangers - Demonstration of a new ground source heat pump technology. Jigastock 88, oktober 1988, Versailles, Frankrike.

B-A Torstensson. Kohesionspålar i lös lera, en fältstudie i modellskala. Chalmers tekniska högskola, institutionen för geoteknik med grundläggning. Göteborg 1973.

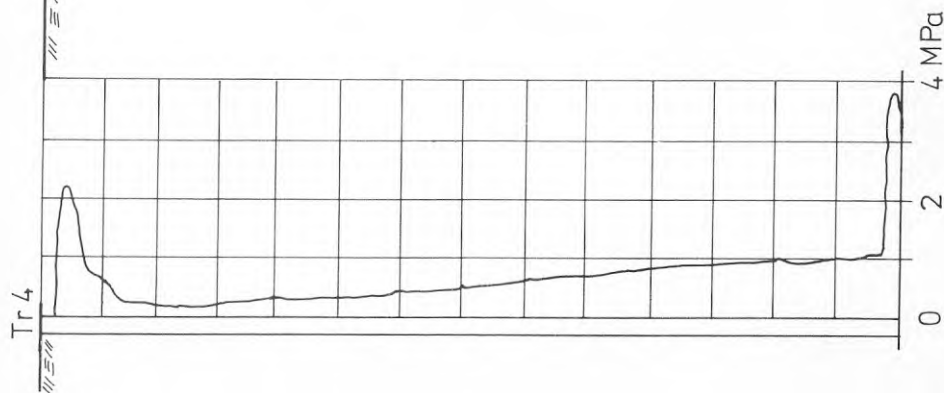
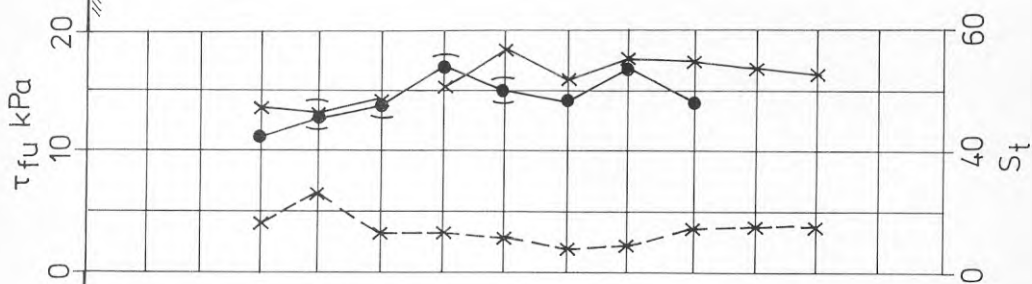
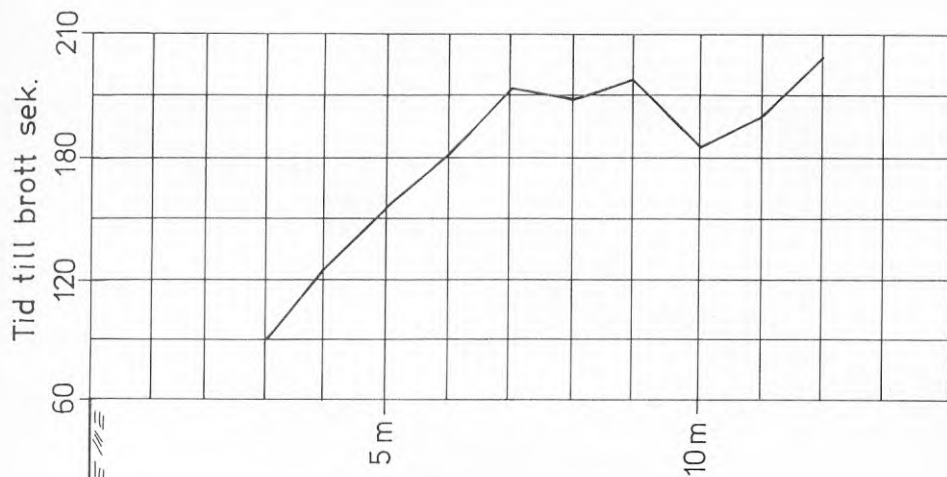
P Wilén, A Johansson, I Rhen. Teknikutveckling för värmelagring med vertikala rör i jord och berg. BFR rapport R33:1988. Stockholm 1988.

RESULTAT AV VINGSONDERING MED OLIKA VINGMETODER

SGI:s PROVÄLT NORRKÖPING

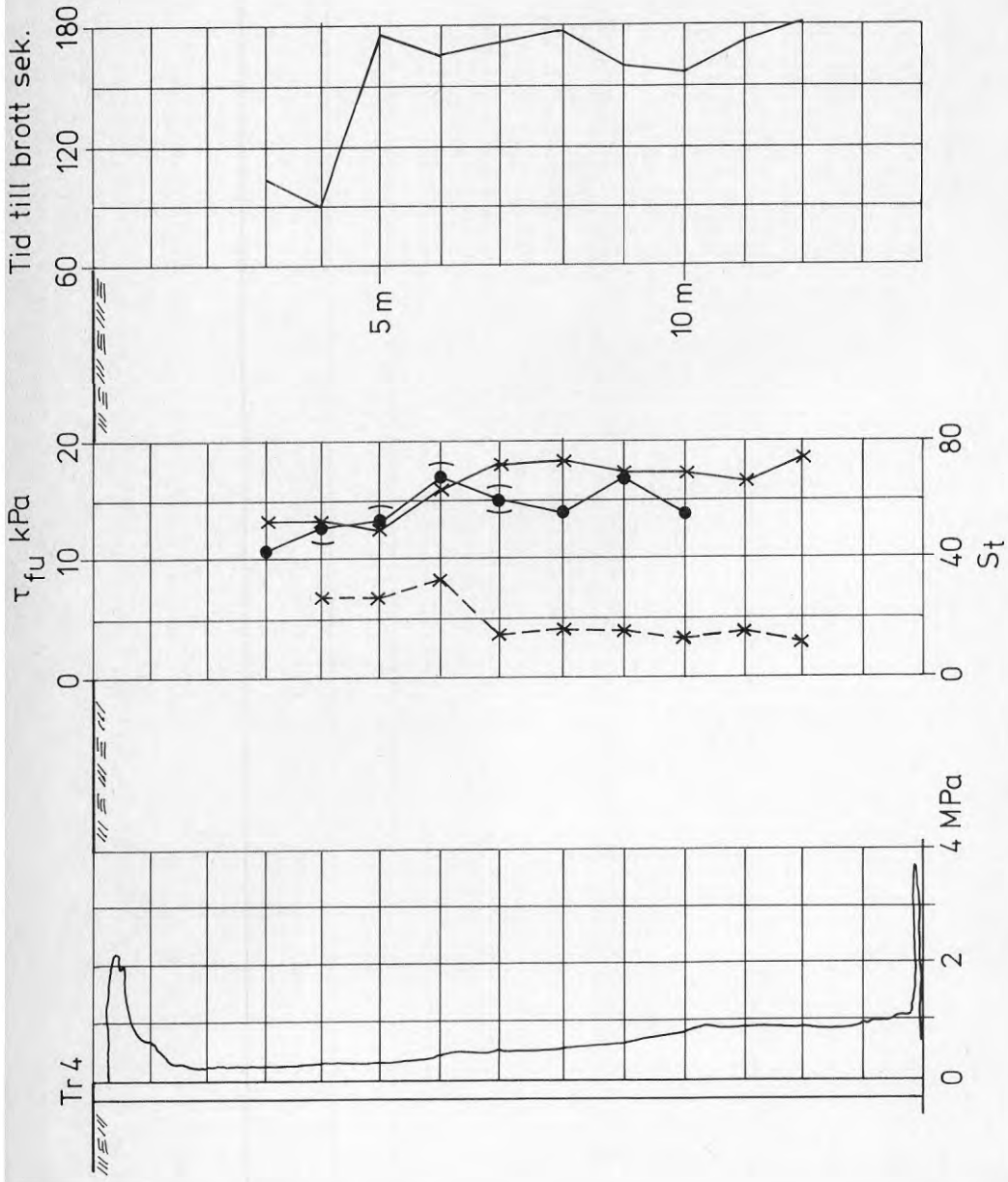
Bh 2, SGI 65x130 mm MANUELL

DATUM 82-10-25



RESULTAT AV VINGSONDERING MED OLIKA  
VINGMETODER  
SGI:s PROVFÄLT NORRKÖPING

Bh 6, SGI 65x130 mm MOTORDRIFT  
DATUM 82-10-25



Medelvärdesbildning av  $\tau_{fu}$  och St

|            | Borrhål 2       |                 | Borrhål 6       |                 | Medelvärde $\bar{x}$ |    |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|----|
|            | $\tau_{fu}$     | St              | $\tau_{fu}$     | St              | $\tau_{fu}$          | St |
| 5 meter    | 14 kPa          | 15              | 12 kPa          | 25              | 13 kPa               | 20 |
| 10 meter   | 17 kPa          | 15              | 17 kPa          | 10              | 17 kPa               | 12 |
| 3-10 meter | (kPa)           |                 | (kPa)           |                 |                      |    |
| 3 m        | 14              | 15              | 13              | -               |                      |    |
|            | 13              | 25              | 13              | 25              |                      |    |
| 5 m        | 14 $\bar{x}=14$ | 15 $\bar{x}=18$ | 12 $\bar{x}=13$ | 25 $\bar{x}=25$ | 14 kPa               | 22 |
|            | 15              | 15              | 16              | 30              |                      |    |
|            | 18              | 15              | 18              | 15              |                      |    |
|            | 16              | 10              | 18              | 15              |                      |    |
|            | 18              | 10              | 17              | 15              |                      |    |
| 10 m       | 17 $\bar{x}=16$ | 15 $\bar{x}=15$ | 17 $\bar{x}=16$ | 10 $\bar{x}=19$ | 16 kPa               | 17 |



|                                   | CC-avstånd<br>(m)              | Projektering               | Etablering | Avschaktning | Slanginbäddning | Lägga isolering | Aterfyllning | Slanginstallation | Slangkostnad PEX | Slangkostnad PEM | Sammankoppling | Kopplingar | Sand | Leca | Diffusionsspärr | Isolering 23 cm | Dränkud | Provtryckning | Värmebärarfluid | Kulvert | Byggnadskofbrutsett<br>15% | Moms 25% |      |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------------|------------------|------------------|----------------|------------|------|------|-----------------|-----------------|---------|---------------|-----------------|---------|----------------------------|----------|------|
| Enkelt<br>U-rör                   | 2,4                            | 49                         | 41         | 21           | 49              | 566             | 340          | 26                | 141              | 86               | 386            | 17         | 1198 | 29   | 36              | 3209            | 3690    | 4613          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 2,2                            | 42                         | 35         | 18           | 42              | 578             | 347          | 26                | 144              | 74               | 335            | 15         | 1040 | 25   | 37              | 2983            | 3430    | 4288          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 2,0                            | 37                         | 31         | 16           | 37              | 608             | 364          | 28                | 152              | 65               | 294            | 13         | 913  | 22   | 38              | 2843            | 3269    | 4086          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,8                            | 33                         | 27         | 14           | 33              | 660             | 396          | 30                | 165              | 58               | 262            | 12         | 813  | 20   | 42              | 2790            | 3209    | 4011          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,7                            | 32                         | 26         | 13           | 32              | 717             | 430          | 33                | 179              | 57               | 254            | 11         | 790  | 19   | 45              | 2863            | 3292    | 4115          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,6                            | 30                         | 25         | 13           | 20              | 775             | 465          | 35                | 194              | 54               | 244            | 11         | 759  | 19   | 49              | 2928            | 3367    | 4209          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,5                            | 29                         | 24         | 12           | 29              | 846             | 507          | 39                | 211              | 53               | 235            | 11         | 731  | 18   | 53              | 3023            | 3476    | 4345          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,4                            | 28                         | 23         | 12           | 28              | 940             | 563          | 43                | 235              | 51               | 228            | 10         | 710  | 17   | 59              | 3172            | 3648    | 4560          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,3                            | 28                         | 23         | 12           | 28              | 1058            | 635          | 48                | 264              | 50               | 222            | 10         | 691  | 17   | 67              | 3378            | 3885    | 4856          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,2                            | 27                         | 22         | 11           | 27              | 1211            | 726          | 55                | 303              | 49               | 218            | 10         | 676  | 17   | 76              | 3653            | 4201    | 5251          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | Skarvfritt<br>enkelt<br>U-rör  | 2,4                        | 49         | 21           | 49              | 354             | 340          | 7                 | 35               | 386              | 17             | 1199       | 29   | 36   | 2722            | 3130            | 3913    |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,2                        | 42         | 18           | 42              | 361             | 347          | 7                 | 36               | 335              | 15             | 1040       | 25   | 37   | 2505            | 2881            | 3601    |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,0                        | 37         | 16           | 37              | 380             | 364          | 7                 | 38               | 294              | 13             | 914        | 22   | 38   | 2360            | 2714            | 3393    |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,8                               |                                | 33                         | 14         | 33           | 413             | 396             | 8            | 41                | 262              | 12               | 813            | 20         | 42   | 2287 | 2630            | 3288            |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,7                               |                                | 32                         | 13         | 32           | 448             | 430             | 9            | 45                | 254              | 11               | 790            | 19         | 45   | 2328 | 2677            | 3346            |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,6                               |                                | 30                         | 13         | 30           | 484             | 465             | 9            | 49                | 244              | 11               | 759            | 19         | 49   | 2362 | 2716            | 3395            |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,5                               |                                | 29                         | 12         | 29           | 529             | 507             | 10           | 53                | 235              | 11               | 731            | 18         | 53   | 2417 | 2779            | 3474            |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,4                               |                                | 28                         | 12         | 28           | 563             | 563             | 11           | 59                | 228              | 10               | 710            | 17         | 59   | 2512 | 2889            | 3611            |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,3                               |                                | 28                         | 12         | 28           | 661             | 635             | 12           | 66                | 222              | 10               | 690            | 17         | 67   | 2648 | 3045            | 3806            |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,2                               |                                | 27                         | 11         | 27           | 757             | 726             | 14           | 76                | 218              | 10               | 676            | 17         | 76   | 2835 | 3260            | 4075            |         |               |                 |         |                            |          |      |
| Korsat<br>dubbelt<br>U-rör        |                                | 2,4                        | 36         | 30           | 15              | 36              | 413          | 495               | 32               | 206              | 64             | 289        | 13   | 891  | 22              | 26              | 2805    | 3226          | 4033            |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,2                        | 33         | 27           | 14              | 33              | 447          | 536               | 42               | 223              | 59             | 261        | 12   | 821  | 20              | 28              | 2784    | 3203          | 4003            |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,0                        | 30         | 25           | 13              | 30              | 497          | 596               | 45               | 248              | 55             | 245        | 11   | 761  | 19              | 32              | 2832    | 3257          | 4071            |         |                            |          |      |
|                                   | 1,8                            | 28                         | 24         | 12           | 28              | 574             | 688          | 52                | 287              | 51               | 231            | 10         | 716  | 17   | 36              | 2979            | 3426    | 4283          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,7                            | 28                         | 23         | 12           | 28              | 627             | 752          | 57                | 313              | 50               | 225            | 10         | 698  | 17   | 40              | 3105            | 3571    | 4464          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,6                            | 27                         | 23         | 12           | 27              | 690             | 828          | 63                | 345              | 49               | 220            | 10         | 683  | 17   | 44              | 3263            | 3752    | 4690          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,5                            | 26                         | 22         | 11           | 26              | 769             | 923          | 70                | 384              | 48               | 216            | 10         | 671  | 16   | 49              | 3466            | 3986    | 4983          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,4                            | 26                         | 22         | 11           | 26              | 867             | 1040         | 78                | 433              | 47               | 212            | 10         | 660  | 16   | 55              | 3728            | 4287    | 5359          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,3                            | 26                         | 21         | 11           | 26              | 992             | 1190         | 90                | 496              | 46               | 210            | 10         | 652  | 16   | 62              | 4074            | 4685    | 5856          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,2                            | 25                         | 21         | 11           | 25              | 1149            | 1379         | 104               | 574              | 46               | 208            | 9          | 644  | 16   | 72              | 4508            | 5184    | 6480          |                 |         |                            |          |      |
|                                   | Parallellt<br>dubbelt<br>U-rör | 2,4                        | 37         | 31           | 16              | 37              | 425          | 510               | 20               | 106              | 66             | 296        | 13   | 919  | 22              | 27              | 2750    | 3163          | 3954            |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,2                        | 34         | 28           | 14              | 34              | 457          | 548               | 21               | 114              | 60             | 270        | 12   | 838  | 20              | 29              | 2704    | 3110          | 3888            |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,0                        | 31         | 26           | 13              | 31              | 508          | 609               | 23               | 127              | 56             | 249        | 11   | 774  | 19              | 32              | 2734    | 3144          | 3930            |         |                            |          |      |
| 1,8                               |                                | 29                         | 24         | 12           | 29              | 583             | 698          | 27                | 145              | 52               | 234            | 11         | 725  | 18   | 37              | 2848            | 3275    | 4094          |                 |         |                            |          |      |
| 1,7                               |                                | 28                         | 23         | 12           | 28              | 634             | 760          | 29                | 158              | 51               | 228            | 10         | 707  | 17   | 40              | 2950            | 3393    | 4241          |                 |         |                            |          |      |
| 1,6                               |                                | 27                         | 23         | 12           | 27              | 697             | 836          | 32                | 174              | 50               | 222            | 10         | 690  | 17   | 44              | 3086            | 3549    | 4436          |                 |         |                            |          |      |
| 1,5                               |                                | 27                         | 22         | 11           | 27              | 775             | 929          | 35                | 194              | 49               | 218            | 10         | 676  | 17   | 49              | 3264            | 3754    | 4693          |                 |         |                            |          |      |
| 1,4                               |                                | 26                         | 22         | 11           | 26              | 874             | 1048         | 40                | 218              | 48               | 214            | 10         | 664  | 16   | 55              | 3497            | 4022    | 5028          |                 |         |                            |          |      |
| 1,3                               |                                | 26                         | 22         | 11           | 26              | 997             | 1196         | 45                | 249              | 47               | 211            | 10         | 655  | 16   | 63              | 3799            | 4369    | 5461          |                 |         |                            |          |      |
| 1,2                               |                                | 25                         | 21         | 11           | 25              | 1155            | 1385         | 52                | 289              | 47               | 209            | 9          | 648  | 16   | 73              | 4190            | 4819    | 6524          |                 |         |                            |          |      |
| Spiral<br>enligt<br>metod<br>Wiik |                                | 2,4                        | 33         | 27           | 14              | 33              |              | 687               | 18               | 29               | 60             | 268        | 12   | 833  | 20              | 24              |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,2                        | 31         | 25           | 13              | 31              |              | 752               | 19               | 31               | 55             | 248        | 11   | 772  | 19              | 27              |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,0                        | 29         | 24           | 12              | 29              |              | 848               | 22               | 35               | 52             | 234        | 11   | 725  | 18              | 30              |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,8                            | 27                         | 22         | 12           | 27              |                 | 994          | 25                | 41               | 50               | 222            | 10         | 690  | 17   | 35              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,7                            | 27                         | 22         | 11           | 27              |                 | 1089         | 28                | 45               | 49               | 218            | 10         | 677  | 17   | 38              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,6                            | 26                         | 21         | 11           | 26              |                 | 1207         | 31                | 50               | 48               | 215            | 10         | 666  | 16   | 42              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,5                            | 26                         | 21         | 11           | 26              |                 | 1353         | 34                | 56               | 47               | 212            | 10         | 657  | 16   | 47              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,4                            | 25                         | 21         | 11           | 25              |                 | 1531         | 39                | 64               | 47               | 209            | 9          | 648  | 16   | 54              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,3                            | 25                         | 21         | 11           | 25              |                 | 1757         | 44                | 73               | 46               | 207            | 9          | 643  | 16   | 61              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   | 1,2                            | 25                         | 20         | 11           | 25              |                 | 2039         | 51                | 85               | 46               | 205            | 9          | 637  | 16   | 71              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   | Spiral<br>enligt<br>Kanada     | 2,4                        | 33         | 27           | 14              | 33              |              | 687               | 18               | 29               | 60             | 268        | 12   | 833  | 20              | 24              |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,2                        | 31         | 25           | 13              | 31              |              | 752               | 19               | 31               | 55             | 248        | 11   | 772  | 19              | 27              |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   |                                | 2,0                        | 29         | 24           | 12              | 29              |              | 848               | 22               | 35               | 52             | 234        | 11   | 725  | 18              | 30              |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,8                               |                                | 27                         | 22         | 12           | 27              |                 | 994          | 25                | 41               | 50               | 222            | 10         | 690  | 17   | 35              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,7                               |                                | 27                         | 22         | 11           | 27              |                 | 1089         | 28                | 45               | 49               | 218            | 10         | 677  | 17   | 38              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,6                               |                                | 26                         | 21         | 11           | 26              |                 | 1207         | 31                | 50               | 48               | 215            | 10         | 666  | 16   | 42              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,5                               |                                | 26                         | 21         | 11           | 26              |                 | 1353         | 34                | 56               | 47               | 212            | 10         | 657  | 16   | 47              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,4                               |                                | 25                         | 21         | 11           | 25              |                 | 1531         | 39                | 64               | 47               | 209            | 9          | 648  | 16   | 54              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,3                               |                                | 25                         | 21         | 11           | 25              |                 | 1757         | 44                | 73               | 46               | 207            | 9          | 643  | 16   | 61              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
| 1,2                               |                                | 25                         | 20         | 11           | 25              |                 | 2039         | 51                | 85               | 46               | 205            | 9          | 637  | 16   | 71              |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
| Söderköping<br>idag               |                                |                            |            |              |                 |                 |              |                   |                  |                  |                |            |      |      |                 |                 |         |               |                 |         |                            |          |      |
|                                   |                                | Korsat<br>dubbelt<br>U-rör | 2,4        | 100<br>50    | 23              | 19              | 10           | 20                | 308              | 120              | 24             | 9          | 24   |      |                 |                 | 100     |               | 24              | 90      | 75                         | 996      | 1145 |

## PROTOKOLL FRÅN FÄLTFÖRSÖK

## BILAGA 4

## Installation med vertikal neddrivningslans

Vid den första provomgången användes 100 meter PEX-slang. Slangen drogs ut från rullen till formen av en spiral, enligt figur 1 för att senare manuellt "rätas ut".

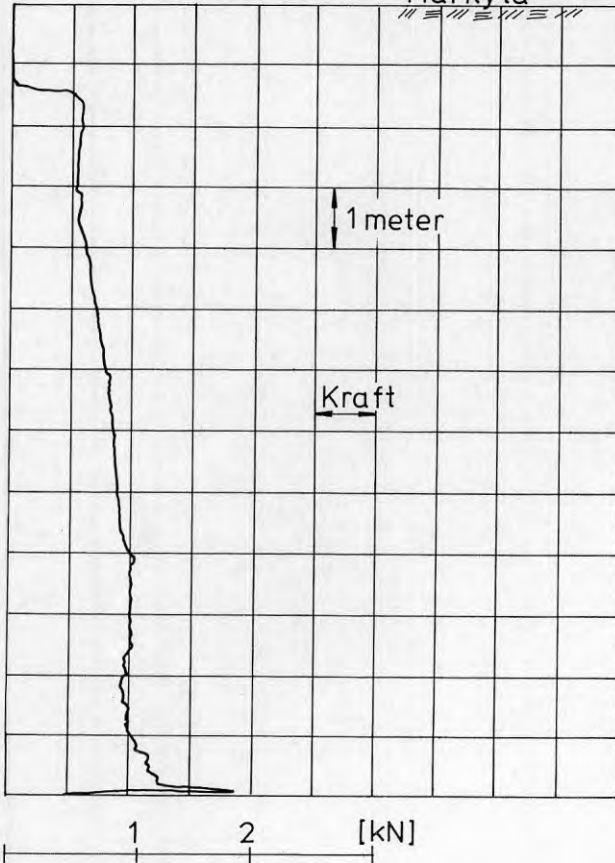


Figur 1. Spiralformad slang utlagd på markytan.

Denna metod rekommenderas ej eftersom veck uppstod på slangen då den rätades ut för att matas till installationsverktyget. Figur 2 visar ett skadat slangparti.

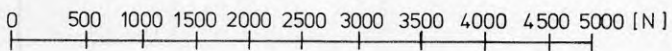
Neddrivningskraft, stick 4

Markyta



Kalibreringskurva, kraft

Mercedes Unimog 90-10-01



|                             | CC-avstånd<br>(m)       | Markväx.<br>(St) | Lagervolym<br>(m <sup>3</sup> ) | Lageryta<br>(m <sup>2</sup> ) | Isol. lageryta<br>(m <sup>2</sup> ) | Volym sand/lera<br>(m <sup>3</sup> ) | Slanglängd<br>(m) | Slanglängd, stam<br>(m) | Kost. norm. koppl.<br>(St) | Kopplingar<br>(St) |      |
|-----------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|------|
| Enkelt U-rör                | 2,4                     | 707              | 73300                           | 4072                          | 4735                                | 1421                                 | 28280             | 800                     | 1414                       | 848                |      |
|                             | 2,2                     | 722              | 62900                           | 3494                          | 4110                                | 1233                                 | 28880             | 700                     | 1444                       | 866                |      |
|                             | 2,0                     | 759              | 54600                           | 3033                          | 3609                                | 1083                                 | 30360             | 600                     | 1518                       | 911                |      |
|                             | 1,8                     | 825              | 48100                           | 2672                          | 3214                                | 964                                  | 33000             | 500                     | 1650                       | 990                |      |
|                             | 1,7                     | 896              | 46600                           | 2589                          | 3123                                | 937                                  | 35840             | 500                     | 1792                       | 1075               |      |
|                             | 1,6                     | 968              | 44600                           | 2478                          | 3001                                | 900                                  | 38720             | 500                     | 1936                       | 1162               |      |
|                             | 1,5                     | 1057             | 42800                           | 2378                          | 2891                                | 867                                  | 42280             | 500                     | 2114                       | 1268               |      |
|                             | 1,4                     | 1174             | 41400                           | 2300                          | 2805                                | 841                                  | 46960             | 500                     | 2348                       | 1409               |      |
|                             | 1,3                     | 1322             | 40200                           | 2233                          | 2731                                | 819                                  | 52880             | 500                     | 2644                       | 1586               |      |
|                             | 1,2                     | 1513             | 39200                           | 2178                          | 2670                                | 801                                  | 60520             | 400                     | 3026                       | 1816               |      |
|                             | Korsat dubbelt<br>U-rör | 2,4              | 516                             | 53500                         | 2972                                | 3542                                 | 1063              | 41280                   | 600                        | 2064               | 1238 |
|                             |                         | 2,2              | 558                             | 48600                         | 2700                                | 3245                                 | 973               | 44640                   | 500                        | 2232               | 1339 |
| 2,0                         |                         | 621              | 44700                           | 2483                          | 3006                                | 902                                  | 49680             | 500                     | 2484                       | 1490               |      |
| 1,8                         |                         | 717              | 41800                           | 2322                          | 2829                                | 849                                  | 57360             | 500                     | 2868                       | 1721               |      |
| 1,7                         |                         | 783              | 40700                           | 2261                          | 2761                                | 828                                  | 62640             | 500                     | 3132                       | 1879               |      |
| 1,6                         |                         | 862              | 39700                           | 2206                          | 2701                                | 810                                  | 68960             | 400                     | 3448                       | 2069               |      |
| 1,5                         |                         | 961              | 38900                           | 2161                          | 2651                                | 795                                  | 76880             | 400                     | 3844                       | 2306               |      |
| 1,4                         |                         | 1083             | 38200                           | 2122                          | 2608                                | 782                                  | 86640             | 400                     | 4332                       | 2599               |      |
| 1,3                         |                         | 1240             | 37700                           | 2094                          | 2577                                | 773                                  | 99200             | 400                     | 4960                       | 2976               |      |
| 1,2                         |                         | 1436             | 37200                           | 2067                          | 2547                                | 764                                  | 114880            | 400                     | 5744                       | 3446               |      |
| Parallellt<br>dubbelt U-rör |                         | 2,4              | 531                             | 55000                         | 3056                                | 3634                                 | 1090              | 42480                   | 600                        | 1062               | 637  |
|                             |                         | 2,2              | 571                             | 49700                         | 2761                                | 3311                                 | 993               | 45680                   | 500                        | 1142               | 685  |
|                             | 2,0                     | 634              | 45600                           | 2533                          | 3061                                | 918                                  | 50720             | 500                     | 1268                       | 761                |      |
|                             | 1,8                     | 727              | 42400                           | 2356                          | 2866                                | 860                                  | 58160             | 500                     | 1454                       | 872                |      |
|                             | 1,7                     | 792              | 41200                           | 2289                          | 2792                                | 838                                  | 63360             | 500                     | 1584                       | 950                |      |
|                             | 1,6                     | 871              | 40100                           | 2228                          | 2725                                | 818                                  | 69680             | 500                     | 1742                       | 1045               |      |
|                             | 1,5                     | 968              | 39200                           | 2178                          | 2670                                | 801                                  | 77440             | 400                     | 1936                       | 1162               |      |
|                             | 1,4                     | 1092             | 38500                           | 2139                          | 2626                                | 788                                  | 87360             | 400                     | 2184                       | 1310               |      |
|                             | 1,3                     | 1246             | 37900                           | 2106                          | 2590                                | 777                                  | 99680             | 400                     | 2492                       | 1495               |      |
|                             | 1,2                     | 1443             | 37400                           | 2078                          | 2559                                | 768                                  | 115440            | 400                     | 2886                       | 1732               |      |
|                             | Spiral                  | 2,4              | 477                             | 49400                         | 2744                                | 3293                                 | 988               | 57240                   | 500                        | 954                | 572  |
|                             |                         | 2,2              | 522                             | 45400                         | 2522                                | 3049                                 | 915               | 62640                   | 500                        | 1044               | 626  |
| 2,0                         |                         | 589              | 42400                           | 2356                          | 2866                                | 860                                  | 70680             | 500                     | 1178                       | 707                |      |
| 1,8                         |                         | 690              | 40200                           | 2233                          | 2731                                | 819                                  | 24800             | 500                     | 1380                       | 828                |      |
| 1,7                         |                         | 756              | 39300                           | 2183                          | 2675                                | 803                                  | 90720             | 400                     | 1512                       | 907                |      |
| 1,6                         |                         | 838              | 38600                           | 2144                          | 2632                                | 790                                  | 100560            | 400                     | 1676                       | 1006               |      |
| 1,5                         |                         | 939              | 38000                           | 2111                          | 2595                                | 779                                  | 112680            | 400                     | 1878                       | 1127               |      |
| 1,4                         |                         | 1063             | 37500                           | 2083                          | 2564                                | 769                                  | 127560            | 400                     | 2126                       | 1276               |      |
| 1,3                         |                         | 1220             | 37100                           | 2061                          | 2540                                | 762                                  | 146400            | 400                     | 2440                       | 1464               |      |
| 1,2                         |                         | 1416             | 36700                           | 2029                          | 2516                                | 755                                  | 169920            | 400                     | 2832                       | 1699               |      |
| Söderköping<br>idag         | 2,4                     | 384              | 36000                           | 2000                          | 2000                                | 400                                  | 30000             | 400                     | 100                        | 800                |      |

### Installation med snedställd neddrivningslans

Till andra omgångens prov användes 100 meter PEX-slang. Slangen rullades ut till formen av en linje, se figur 3. Denna metod användes för att kunna mata fram slang utan veck till varje ny installationsplats.



Figur 3. Slang utrullad på linje.

---

|                |                    |   |
|----------------|--------------------|---|
| <u>Stick 5</u> | Djup:              | 10 meter  |
|                | Tidsåtgång:        | 10 minuter, neddrivning<br>7 minuter, uppdragning |
|                | Matningshastighet: | 2 * sonderingshastighet                           |

Övrigt: Snedställd lans.

Tidsåtgång för förflyttning: 5 minuter

---







Figur 2. Kasserad slang med veck.

---

|                |                    |                     |
|----------------|--------------------|---------------------|
| <u>Stick 1</u> | Djup:              | 10 meter            |
|                | Tidsåtgång:        | 20 minuter          |
|                | Matningshastighet: | sonderingshastighet |

Tidsåtgång inkluderar tiden för neddrivning, påskavning av stål, uppdragning och demontering av sonderingsstål.

Övrigt: Verktøget fettades in före första nedstick för att lättare kunna skilja verktyg och slang vid uppdragning. Upprepades ej. För att skydda slangen vid neddrivning var det tänkt att montera en torpedplåt som skydd. Tidigare har så gjorts då verktyget används för mjukare PEM slang. Svårigheter att fästa plåten samt att PEX slang tål mekanisk belastning bättre, gjorde att plåten ej användes i något fall. En lös plåt i marken kan göra mer skada än nytta!

Tidsåtgång för förflyttning: 5 minuter

Anmärkning: I momentet ingår uppfällning av neddrivningslans innan framkörning, backning till ny installationsplats och färdigställande av neddrivningslans. Innan neddrivningslansen kan fällas tillbaka måste tillräcklig mängd slang matas "förbi" den tilltänkta installationsplatsen.

---

---

|                |                        |  |
|----------------|------------------------|--|
| <u>Stick 2</u> | Djup:                  | 10 meter   |
|                | Tidsåtgång:            | 10 minuter, neddrivning<br>10 minuter, uppdragning |
|                | Matningshastighet:     | 2 * sonderingshastighet                            |
|                | CC-avstånd föregående: | 1.5 meter  |

Anmärkning: I samband med att slangen matades fram till det andra sticket uppstod ett veck. Veckets placering innebar att slangen kapades. Den efterföljande markvärmväxlaren kunde därför bara monteras till 7 meters djup. PEX-slangen levereras på rulle i längder upp till 240 meter. Vid det första försöket "drogs" rullen ut till formen av en spiral. vid matning till verktyget måste slang löpa på linje. Då spiralen manuellt skulle rätas ut, vilket inte görs så lätt med en spiral på 50 meter, trasslade sig slangen och ett veck uppstod. Slangen är stel och därför svår att arbeta med. Hantering och matning av slang kräver ett hjälpmedel, typ roterande trumma.

Tidsåtgång för förflyttning: 5 minuter

---

|                |                        |                         |
|----------------|------------------------|-------------------------|
| <u>Stick 3</u> | Djup:                  | 7 meter                 |
|                | Tidsåtgång:            | (20 minuter, avbrutet)  |
|                | Matningshastighet:     | 2 * sonderingshastighet |
|                | CC-avstånd föregående: | 1.5 meter               |

Övrigt: Verktyget rengjordes från lera

Anmärkning: Vid uppdragning lossnar ej slangen från verktyget. Slangen tas upp. verktyget snedställs 15° i axialplanet. Nytt försök. Misslyckas igen. Avbryter. Tänkbara orsaker är dels det faktum att verktyget rengjordes före nedtryckning vilket eventuellt kilar fast slangen längre in mot botten på verktyget, dels monterades slangen på ett större djup vilket kan ha påverkat det omgivande materialets förmåga att "låsa" slangen i sin nedersta position.

Tidsåtgång för förflyttning: 5 minuter

---

|                |                    |   |
|----------------|--------------------|---|
| <u>Stick 4</u> | Djup:              | 14 meter  |
|                | Tidsåtgång:        | 15 minuter, neddrivning<br>5 minuter, uppdragning |
|                | Matningshastighet: | 2 * sonderingshastighet                           |

Anmärkning: Resterande slang från den första hundrametersrullen användes till neddrivning till maximalt djup. Erforderligt jorddjup begränsade försöket till 14 meter.

Tidsåtgång för förflyttning: 5 minuter

---





R37: 1991

ISBN 91-540-5347-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6811037

Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirkapris: 48 kr exkl moms