



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.



MARTI LEHTMETS

Markvärmelager i lös jord

R4: 1993

Förbättrad installationsteknik för markvärmeväxlare

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129246



BYGGFORSKNINGSRÅDET

R4:1993

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD
BIBLIOTEKET

Markvärmelager i lös jord

Förbättrad installationsteknik för markvärmeväxlare

Marti Lehtmets

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
900401-2 från Byggforskningsrådet till Statens
geotekniska institut, Linköping.

Referat

Genom att minska investeringskostnaden för ett värmelager ökar förutsättningarna för att med god lönsamhet kunna komplettera ett värmeförsörjningssystem så att värmekostnaden kan minskas.

I rapporten redovisas de praktiska erfarenheterna av en nyutvecklad installationsmetod för ett markvärmelager i jord med vertikalt slangsystem. Genom att i ett arbetsmoment installera och sammanfoga flera slangslingor kan personalkostnaden och maskintiden och därmed lagrets investeringskostnad minskas.

Resultaten av fältförsöken har visat att installationsmetoden fungerar bra i lös lera. För att undvika slangbrott, vid stora installationsdjup, måste noggranna förundersökningar genomföras.

Beräkningar visar att installationskostnaden, för ett fiktivt 40 000 m³ stort markvärmelager i lera, har minskat med storleksordningen 400 000 kr, jämfört med etablerad installationsteknik. Denna besparing motsvarar knappt tio procent av totala lagerkostnaden. Den redan tidigare billigaste lagertypen har därmed förutsättningar att öka marknadspotentialen.

Installationsmetoden har med gott resultat använts i ett parallellt forskningsprojekt där ett värmelager tagits i drift.

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.

R4:1993

ISBN 91-540-5508-3
Byggeforskningsrådet, Stockholm

Innehållsförteckning

FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	6
SLUTSATSER	7
1 BAKGRUND OCH SYFTE	8
2 INSTALLATIONSMETOD	10
3 FÖRBEREDELSE FÖR FÄLTFÖRSÖK	13
3.1 Installationsverktyg och slangvinda	
3.2 Provtryckning	
3.3 Avluftningsförsök i laboratorium	
4 FÄLTFÖRSÖK	18
4.1 Grävning av installationsdike	
4.2 Slanginstallation med geoteknisk sonderingsmaskin	
4.3 Slanginstallation med kalkpelarmaskin	
4.4 Neddrivningskraft	
5 KOSTNADSKALKYL	26
6 VÄRDERING	30
7 REFERENSER	32

Förord

Denna rapport utgör redovisning av ett samfinansierat BFR- och SGIprojekt (BFR-nr. 900923-6 och SGI-diariernr. 1-351/90) och behandlar installationsteknik för vertikala slangvärmväxlare i jord. Projektet har verifierat fördelarna med en ny installationsmetod genom praktiska fältförsök.

Syftet med projektet har varit att rationalisera installationsmetoden för vertikala slangvärmväxlare i lösa jordar. En speciell installationsmetod har använts som minskar installationskostnaden och risken för framtida funktionsstörningar. Då metoden har visat sig fungera väl i lös lera skapas ekonomiska förutsättningar att sänka totalkostnaden för både låg- och högt tempererade markvärmelager i lera. Rapporten grundar sig på erfarenheter från en förstudie av installationsmetoden, fältförsök i projektet samt erfarenheter från ett parallellt projekt omfattande byggande av ett värmelager i Linköping.

Projektorganisationen har bestått och drivits av personal från SGI. Projektledare har varit Marti Lehtmets. Installationsverktyg och provtryckningsmetodik har konstruerats av Swen Arnekull. Kjell Hidsjö har bidragit med synpunkter inför fältarbetet. Under projektets gång har kontakter tagits och erfarenheter erhållits från, materialleverantör (slang) Wirsbo VVS-System i Västerås / (Aspenberg, Westberg) och entreprenör BPA-installtion i Göteborg / (Holmqvist, Sandberg). Verktygsframtagning, slanginstallation med geoteknisk borrhög och provtryckning har utförts av SGI. Slanginstallation med kalkpelarmaskin har utfört av BPA-installation. Ögräv i Linköping har svarat för grävarbeten. Stubbtjänst i Norrköping AB har fräst installationsdike.

Linköping, september 1992

Marti Lehtmets

Sammanfattning

Det finns förutsättningar att minska kostnaden för producerad värme genom att komplettera ett värmeförsörjningssystem med ett värmelager. Kan dessutom lagerkostnaden hållas låg finns goda möjligheter till lönsamhet. En möjlighet att reducera lagerkostnaden för ett markvärmelager i jord med vertikala slangslingor är att rationalisera installationsmetoden. Detta kan ske genom att integrera slanginstallation och sammankoppling av flera slangslingor i ett arbetsmoment.

Metoden bygger på att slang "sys ned" kontinuerligt i långa slangsektioner med färre kopplingar mellan slangkretsarna än vad som varit brukligt tidigare. Hanteringskostnaden för slanginstallation, slangmatning och kopplingsarbete samt maskintid kan på så sätt reduceras. För installationsarbetet kan olika installationsmaskiner utnyttjas.

För att genomföra installationsarbetet har installationsverktyg, slangvinda och provtryckningsmetodik tillverkats/utformats. Fältförsök har utförts i lös lera dels med en geoteknisk borrhög, dels med en kalkpelarmaskin. Den förra maskinen har anpassats till installation av en enkel U-formad slangslinga (Markvärmeväxlare, U-rör) medan den senare har utformats för att installera ett dubbelt parallellt U-rör. Efter installationsarbetet har slangarnas funktion kontrollerats genom provtryckning.

Resultaten av fältförsöken i lera har visat att metoden fungerar med båda installationsmaskinerna. Används för klen slang ökar dock risken för slangbrott med installationsdjupet. Vid tre maxdjuptest har slangerna gått av (dragbrott) strax ovan fast botten, 17 meter under markytan. Ej brutna slangar har provtryckts utan anmärkning.

En kostnadskalkyl visar att installationskapaciteten har ökat med den nyutvecklade metoden. Baserat på minskade installationskostnader, jämfört med tidigare installationsmetodik, har lagrets totala kostnad reducerats med storleksordningen tio procent.

Erhållna resultat i projektet indikerar att installationsmetoden har goda förutsättningar att kunna användas vid byggande av markvärmelager i lös jord med vertikala slangslingor. Det är emellertid viktigt med noggranna förundersökningar så att lämpliga åtgärder mot slangbrott kan väljas vid stora lerdjup. Installationsmetodens potential har verifierats med goda erfarenheter i ett parallellt pågående projekt.

Slutsatser

- En förbättrad installationsmetod för slangvärmväxlare i lös jord har utvecklats med gott resultat.
- Metoden integrerar slanginstallationen och kopplingsarbetet i ett moment. Jämfört med tidigare använda metoder kan slang installationen installeras kontinuerligt samtidigt som kopplingsarbetet begränsas.
- Metoden förutsätter installationsverktyg, installationsmaskin, slangvinda, grävmaskin, slang och provtryckningsutrustning.
- Kalkpelarmaskinen har bäst installationsprestanda. Per dag kan cirka 80 markvärmväxlare installeras. Geoteknisk sonderingsmaskin klarar cirka 30 markvärmväxlare per dag.
- Totala lagerkostnaden har, jämfört med tidigare installationsteknik, reducerats med knappt tio procent med den nya installationsmetoden.
- Vid för stort installationsdjup har slangslingar dragits av.
- Provtryckning av installerad slang förutsätter dokumenterade rutiner och erfaren personal.
- Installationsmetoden har med gott resultat provats i ett driftsatt värmelager.

I. Bakgrund och syfte

Det finns förutsättningar att minska kostnaden för producerad värme genom att komplettera ett värmeförsörjningssystem med ett värmelager.

Lönsamheten för ett värmelager i kombination med ett system för värmeförsörjning påverkas dels av investeringskostnaden, dels av prisskillnaden mellan inlagrad och ersatt energi. Lönsamheten har ofta varit dålig i de anläggningar som hittills byggts. Kostnaden för investering och inlagrad energi måste därför sänkas ytterligare. Samtidigt förbättras lönsamheten om priset på ersatt energi (el/olja) ökar.

En intressant teknik är markvärmelagring i lösa jordar med ett vertikalt slangsystem. Tekniken är beprövad med goda resultat. Investeringskostnaden är låg relativt andra lagertyper. Dessutom är de geologiska förutsättningarna goda på många håll i Sverige. Cirka 10% av landområden inom större tätorter utgörs av lera mäktigare än 10 meter. Betydligt större lerdjup förekommer främst i Göteborg, Kungsbacka, Uddevalla, Norrköping och Uppsala. Ett markvärmelager har låg effektkapacitet, vilket gör att det bäst lämpar sig för säsongslagring.

Ett vertikalt slangsystem, i ett markvärmelager i lös jord, är normalt sammansatt av enkla eller dubbla vertikalt U-formade (U-rör/markvärmeväxlare) slangsektioner av plast. Slangen installeras ofta med en pålkran som trycker ner U-rören i jorden. U-rören kopplas manuellt ihop vid markytan till ett slutet system av slangsektioner. Samtliga slangsektioner är sammankopplade via ett nät av samlingsledningar till två huvudstammar för anslutning till värmeförsörjningssystemet. För att öka lagrets effektkapacitet placeras i regel en ackumulator (vattenburet korttidslager) mellan lagret och värmeförsörjningssystemet. I plastslangarna cirkuleras en värmeöverförande vätska som beroende av värmebehovet laddar eller tömmer marklagret.

Investeringskostnaden för markvärmeväxlare i lera (installation och material) utgör en stor andel (30%) av totalkostnaden för ett högt tempererat markvärmelager, Magnusson et al 1990 [4]. Samtidigt är potentialen för att minska kostnaden stor enligt samma studie. Övriga kostnadsposter för ett markvärmelager omfattar markarbeten, isolering och dygnsackumulator motsvarande cirka 5, 25 respektive 40 procent av lagrets totalkostnad.

SYFTET med projektet har varit att minska investeringskostnaden för markvärmelager i jord genom att rationalisera installationsmetoden för vertikala markvärmväxlare.

En ny installationsteknik utvecklas som reducerar installationskostnaden och förbättrar systemets tillgänglighet. Kostnaderna minskas genom att slanginstallation och sammankoppling av slangarna integreras i ett arbetsmoment. Slangarna installeras i långa sammanhängande sektioner. Antalet kopplingsarmaturer reduceras avsevärt samtidigt som behovet av monteringsarbete minskar. Dessutom ökar systemets driftsäkerhet eftersom potentiella läckagekällor står i proportion till antalet kopplingspunkter.

2. Installationsmetod

Den nya installationsmetoden "syr" ned slang kontinuerligt i långa slangsektioner så att antalet kopplingsanordningar reduceras, jämfört med den gamla metoden. Den gamla metoden utnyttjar kopplingar mellan varje markvärmväxlare/U-rör. Med den nya metoden behövs kopplingar endast mellan var tredje upp till var tionde markvärmväxlare, beroende på installationsdjupet.

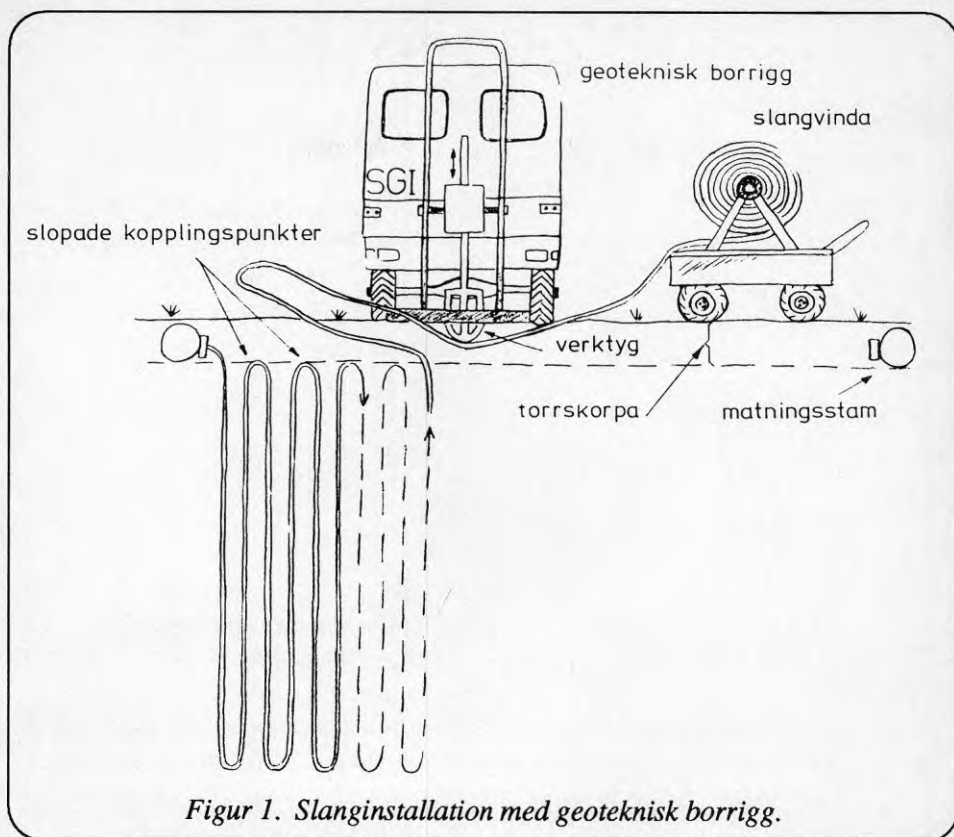
Längden på varje slangsektion begränsas av tillåtet tryckfall samt val av dimension för att säkerställa turbulent flöde. Som ekonomiskt bivillkor eftersträvas minsta möjliga slangdimension med tillräcklig hållfasthet för de mekaniska påfrestningarna vid installationsarbetet.

I projektet har en kemiskt förmätad polyetenslang använts. Slangens hållfasthet klarar de mekaniska påfrestningarna vid installationsarbetet samtidigt som slangens temperaturlåghet möjliggör lagring vid höga temperaturer (90°C). Den använda slangen är av storleksordningen tre gånger så dyr som den slang som använts i tidigare lågtempererade marklager. Vid installation av tidigare lager har en slang med sämre hållfasthet (PEM) använts. Under installationen har slangen skyddats mot mekanisk belastning i en ihålig "påle". Den ihåliga pålen har omöjliggjort kontinuerlig installation av på varandra efterföljande markvärmväxlare.

Installationsarbetet inleds med att den aktuella markytan med organiskt material schaktas av. På så vis undviks lukt från lagerytan när lagret blir varmt. Före installationen av slangen grävs ett smalt dike till lämpligt djup. Diket förhindrar att slangen riskerar att skadas vid tryckning genom den hårda torrskorpan. Byggs ett stort lager måste diken grävas omgångsvis och i rätt ordning så att arbetet kan löpa utan förhinder. Det grävda diket, ned till lösare jordlager, möjliggör också en mjuk inbäddning av slangen i den översta delen av lagret. Lagervolymen ovan dikets botten kan dessutom ses som en passiv isolering.

Slangen levereras i rätt längd på rulle och placeras i en slangvinda i förlängningen av det grävda diket. Slangen matas ut för hand och läggs i botten på diket. Den fria änden matas förbi den tänkta installationspunkten med marginal till planerat installationsdjup och planerad anslutningspunkt.

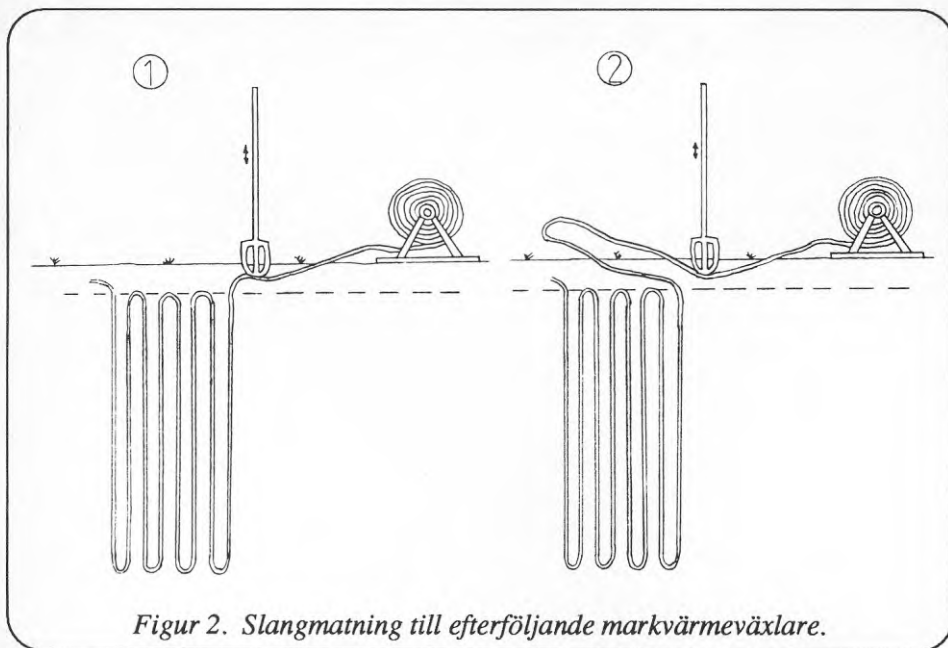
Slangen trycks ned med en lämplig installationsmaskin utrustad med en vertikal neddrivningsanordning (figur 1). På neddrivningsanordningen monteras ett, för



Figur 1. Slanginstallation med geoteknisk borryg.

slangdimensionen, anpassat verktyg. Installationsmaskinen placeras grensle, tvärs eller bredvid det grävda diket. Verktöget appliceras mot slangen i botten på diket. Slang och verktyg trycks ned till önskat installationsdjup. Verktöget dras åter upp till markytan, varvid slangen fixeras i lagret. Fordonet rangeras längs diket till platsen för efterföljande markvärmväxlare. Efterföljande markvärmväxlare installeras kontinuerligt och med mjuk övergång i översta lerskiktet via matning från slangvindan. Förloppet upprepas tills önskat antal markvärmväxlare installerats, det vill säga till dess slangvindan blir tom.

När slang installeras finns två möjligheter att mata fram slang från slangvindan (figur 2). Dels kan slangen tryckas ned kontinuerligt direkt efter föregående uppgående part (metod 1, enligt föregående text), dels kan man manuellt mata förbi slangen vid verktöget motsvarande installationsdjupet (metod 2). Vid den förra metoden, under förutsättning att leran orkar hålla tillbaka föregående uppgående part, glider eller rullar slangen runt neddrivningsverktöget under hela installationsprocessen. Fördelen är att installationen kan avbrytas på valfritt djup. Till nackdelarna räknas sannolikt större belastning på slangen samt lättare avvikelser



Figur 2. Slangmatning till efterföljande markvärmväxlare.

från tänkt installationslinje. Den senare metoden förutsätter att slang matas förbi verktyget motsvarande djupet på markvärmväxlaren. Nackdelarna är manuellt merarbete samt att en ögla kan uppstå om man av någon anledning ej uppnår tänkt installationsdjup. Eventuellt måste öglan kortas av med en koppling.

Före återfyllning av diket funktionsprovas installerad slang genom provtryckning.

Installationsmetodiken är flexibel. Två parallella slangslingor (dubbelt U-rör) kan installeras samtidigt om verktyg och dikesbredd anpassas härför. Slangslingorna kan med rätt maskin installeras med en viss avvikelse från vertikallinjen. Med dagens maskinpark klaras 20 meter i installationsdjup.

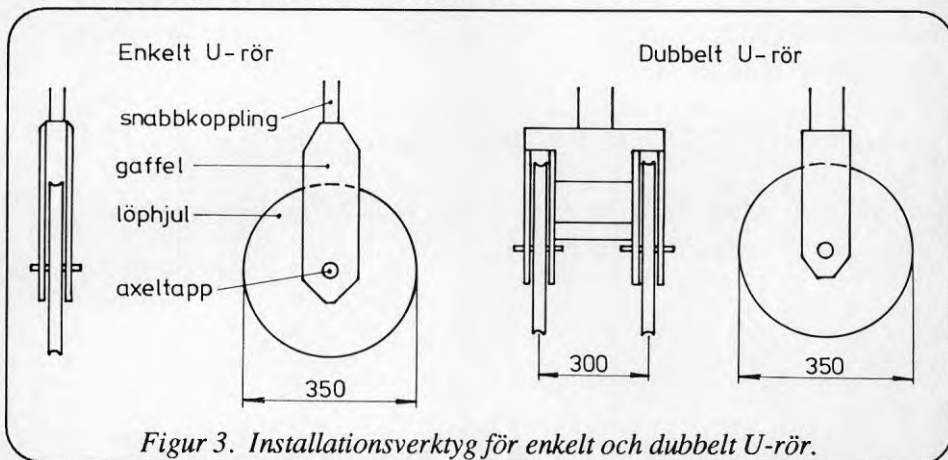
3. Förberedelser för fältförsök

Som en förberedelse för fältförsöken har två installationsverktyg konstruerats och tillverkats. En metodik för provtryckning av installerade slangar har tagits fram. Dessutom har laboratorieförsök genomförts med avseende på avluftningsmöjligheterna hos seriekopplade vertikala slangslingor.

Vid provtryckning av plastslangar är man hänvisad till subjektiva bedömningar. För att minska felkällorna är en mätmetodik framtagen. Avluftningen av slangsystemen fungerar om vattnets strömningshastighet är högre än 0,5 m/s.

3.1 Installationsverktyg och slangvinda

För att kunna installera slang har två verktyg konstruerats och tillverkats på SGI (figur 3). Det ena verktyget har anpassats för installation med en geoteknisk borrhög. Denna mindre maskin är flexibel och relativt billig att utnyttja. Däremot är kapaciteten begränsad och arbetsmomenten orationella vid slanginstallation, bland annat på grund av tidsåtgången för skarvning av borrhåll. Till detta fordon har ett verktyg tillverkats för enkelt U-rör. Det andra verktyget har anpassats för en traditionell maskin avsedd för installation av kalkpelare. Maskinen har hög installationskapacitet men är av storleksordningen 50% dyrare att använda än den geotekniska borrhögen. Till kalkpelarmaskinen har ett verktyg tillverkats för installation av dubbla U-rör (parallella enkla U-rör). Det senare verktyget är en tandemversion av verktyget för enkelt U-rör.



Figur 3. Installationsverktyg för enkelt och dubbelt U-rör.

Konstruktionen av verktygen har baserats på resultaten av en förstudie rapporterad i BFR:s rapportserie, Lehtnets och Magnusson 1991 [3]. Dessutom har verktygets dimensioner anpassats efter värmetekniska beräkningar.

Några av de viktigaste kraven på installationsverktyget är:

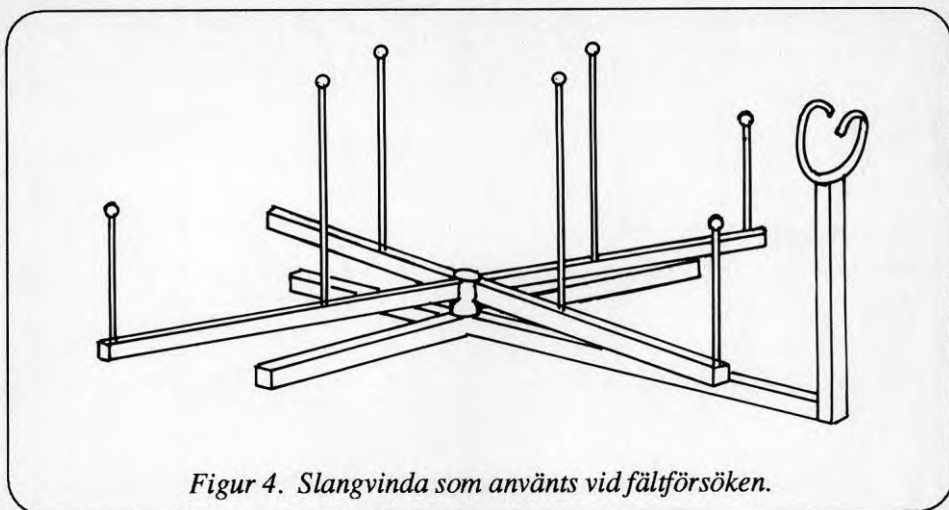
- Verktygets utseende styrs av, slangmaterial/krökningsradie/släppning/hållfasthet/material hos verktyg/installationsmetod
- Verktygets dimension bestäms av, slangdimension/skänkelavstånd
- Verktyget skall vara flexibelt och anpassas till, parallella slangslingor/olika installationsutrustningar
- Verktygskostnaden skall vara låg vilket bestäms av, konstruktion/material/tillverkning

Verktygen har satts samman av en gaffel och ett löpande hjul. Det löpande hjulet har försetts med ett konkavt tangentiellt spår vari slangen placeras vid neddrivningen.

Gaffeln är tillverkad av stål. Dess övre del är anpassad till respektive installationsmaskin med en snabbkoppling. Nederdelen består av två respektive fyra (dubbelt U-rör) gaffelben. Mellan varje gaffelpar monteras det löpande hjulet med en axeltapp. Löphjulen är identiska för de båda installationsverktygen. Hjulet är sammansatt av två runda plåtsidor förenade med en rund plan plastkärna. Plastkärnan, med ett konkavt tangentiellt spår, utgör själva löphjulet för slangen. Plåtsidorna tar upp belastningen i löphjulets lagring samt styr slangen att ligga kvar i det tangentiella spåret.

För hantering av slang har en liggande slangvinda köpts in enligt figur 4.

Slangvindan har placerats, på marken eller på en släpkärra efter en personbil, i förlängningen av installationsdiket.

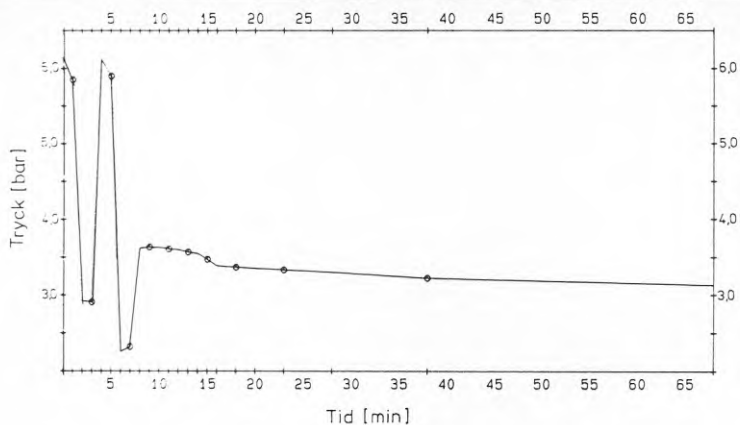


Figur 4. Slangvinda som använts vid fältförsöken.

3.2 Provtryckning

Provtryckning av installerad slang är en viktig del i ett värmelagers kvalitetssäkring. Ett problem i sammanhanget är att det inte existerar någon provtryckningsnorm för plastslangar. En anledning till detta är säkert att det är svårt att mäta någon fysikaliskt stabil storhet vid provtryckning av plastslang. Plastmaterialet är nämligen inte formstabil vid belastning (viscoelastisk krypning), varför ett successivt tryckfall uppträder vid en provtryckning. Därför blir man i praktiken hänvisad till en subjektiv bedömning av tryckfallet vid provtryckning av plastslangar. Den subjektiva bedömningen gör att det är svårt att provtrycka enstaka objekt. Finns däremot flera likvärdiga slanginstallationer kan tryckfallet jämföras mellan de olika provtryckningarna. Avvikelser i tryckfall kan då ge indikation på läckage.

För att kontrollera tätheten hos installerad slang har en mätmetodik tagits fram. Vid provtryckningen är slangen fylld med vatten. Slangen trycksätts och tryckfallet studeras dels för en opåverkad slang, dels vid ett kontrollerat läckage av samma slang. Ett exempel på tryckfallskurva visas i figur 5.



Figur 5. Tryckfallskurva vid provtryckning av slang.

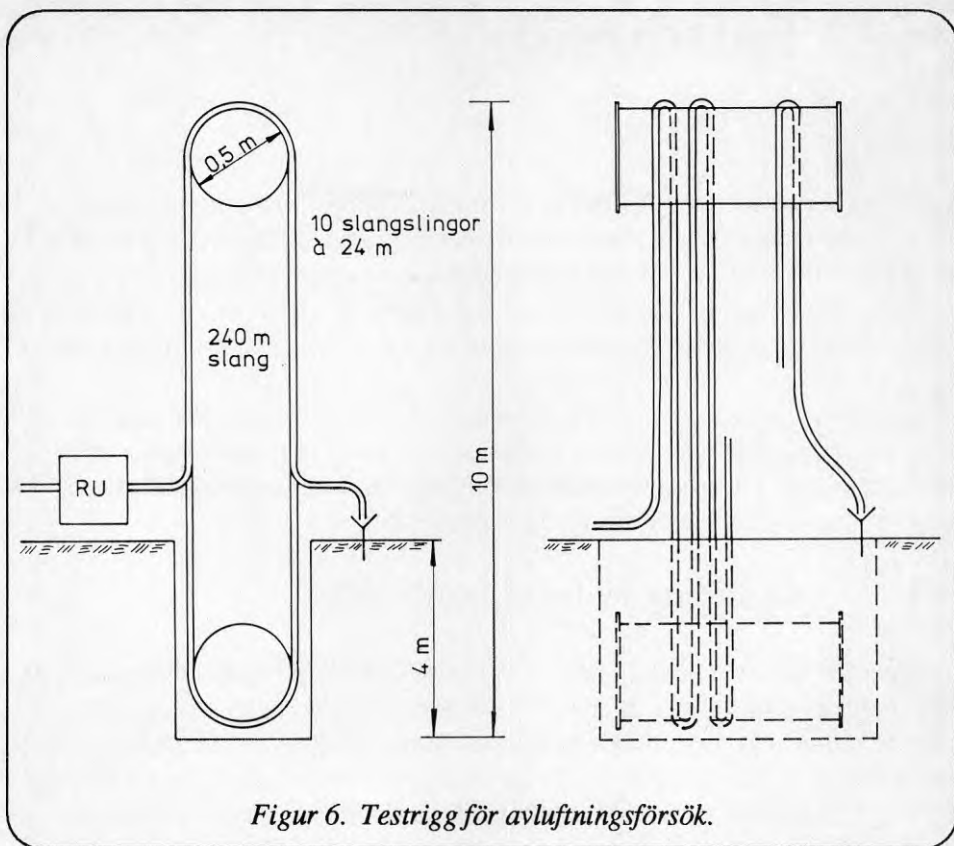
3.3 Avluftningsförsök i laboratorium

Ett slangvärmelager i mark byggs normalt upp från två stamledningar. Utgående stamledning förgrenas i parallella stråk där markvärmeväxlarna ansluts i serie efter varandra. Varje parallell slinga återförenas i returgående stamledning.

När systemet fylls med vatten samt under drift måste all luft i slangsystemet evakueras. Blir luft kvar i systemet kan problem med korrosion uppstå. Dessutom kan flödet försämrats och till och med upphöra om luft samlas i höjdpunkterna i en serieslinga. Förenklat summeras alla luftpelare per markvärmeväxlare och serieslinga till en hög luftpelare som verkar som ett motstånd i ledningen. Flödet går minsta motståndets väg. Resultatet blir att en luftfylld slangslinga slås ut. Värmelagret tappar kapacitet trots att flödet omfördelas i resterande slangslingar. Dessutom ökar driftskostnaderna på grund av progressivt ökat tryckfall i fungerande slangslingar.

Laboratorieförsökets SYFTE har varit att undersöka vilket minsta flöde som behövs för att avlufta systemet samt om ett driftfall med luftinblandning i systemet kan få cirkulationen att avstanna.

I SGI:s testhall har en testrigg, enligt figur 6, byggts upp bestående av 10 seriekopplade slangslingar till en höjd av 10 meter. Anläggningen har byggts upp genom att mata 240 meter slang runt två trummor. Den översta trumman har placerades på en byggställning 6 meter över golvet. I ett schakt 4 meter under golvet har den undre vändpunkten för slangslingorna fixerats.



Figur 6. Testrigg för avluftningsförsök.

RESULTATEN har visat att med en tillräckligt hög strömningshastighet i slangsystemet (0,5 m/s) går det bra att fylla slangarna med vatten och att under drift, det vill säga vid cirkulation, evakuera små mängder luft som av olika anledningar kan söka sig in i systemet. Med en högre strömningshastighet ökar friktionsförlusterna. Genom att tillföra en stor luftmängd med tryckluft i vattenflödet har höga bromsande luftpelare bildats i slangslingorna. Luftpelarnas höjd ökade successivt och till slut orkade vattenledningstrycket inte att upprätthålla flödet. Det senare driftsfallet är emellertid osannolikt vid en normal driftssituation eller idriftsättning.

4. Fältförsök

Projektet har omfattat tre fältförsök. Metoden att gräva installationsdike har utförts med olika redskap. Slang har installerats vid två tillfällen dels med geoteknisk sonderingsmaskin, dels med kalkpelarmaskin. I det förra fallet har enkelt U-rör installerats. Med kalkpelarmaskinen har dubbellt U-rör installerats (parallella enkla U-rör). Nedrivningskraften har mätts med geoteknisk sonderingsmaskin.

Grävning av dike görs bäst med grävmaskin. Fräsning av dike i lera fungerar ej med använd kedjegrävare. Slanginstallation kan med gott resultat utföras både med geoteknisk sonderingsmaskin och kalkpelarmaskin. Teoretiskt beräknad neddrivningskraft är något mindre än uppmätt kraft.

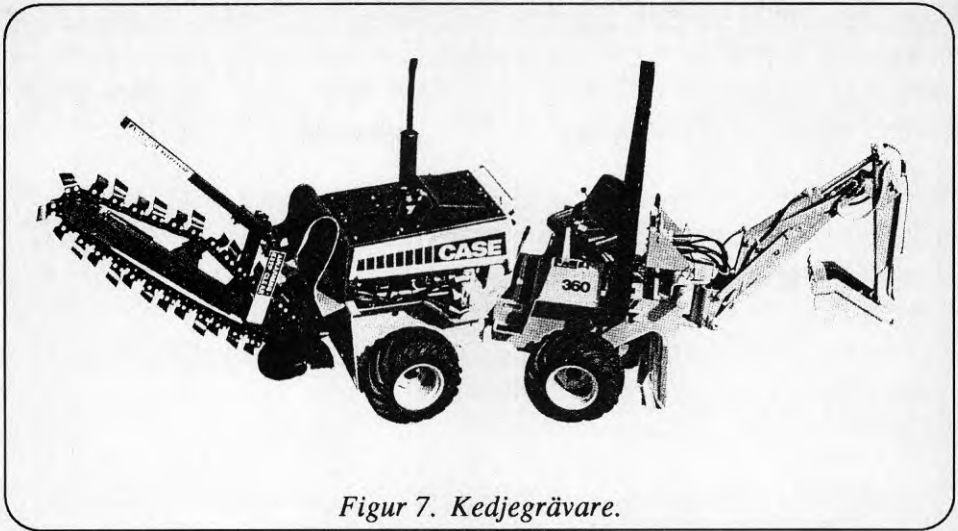
4.1 Grävning av installationsdike

Den maskinpark som normalt behövs vid byggande av ett markvärmelager, i lera med vertikalt slangsystem, är en installationsmaskin och någon form av gräv- eller schaktmaskin. Grävmaskinen används främst till att planera lagerytan, gräva och återfylla installationsdiken samt till täckning av installerat lager. En lämplig maskin att utnyttja för samtliga behov är en traktorgrävare. Skall ett stort lager byggas blir emellertid tidsåtgången för grävning och återfyllning av installationsdiken stor. En alternativ maskin att använda för detta ändamål är en kedjegrävare.

SYFTET med fältförsöket har varit att undersöka en kedjegrävares förmåga att snabbt och effektivt gräva och återfylla ett installationsdike ned till en meters djup.

En kedjegrävare används normalt till att förlägga kablar ned till cirka 0,6 meters djup. Maskinen kan arbeta i olika stenfria jordar ned till drygt en meters djup. Maskinen är uppbyggd runt en mindre traktor enligt figur 7.

Kedjegrävaren är monterad på fronten och består av en ändlös löpande kedja bestyckad med "fräständer". Bak på traktorn är en grävskopa och ett schaktblad monterat. Vid grävning av ett dike pressas den löpande kedjan ned i marken samtidigt som maskinen förflyttas långsamt. Jordmaterial kastas upp och förs åt båda sidorna om diket med en roterande skruv. Diket kan efter slanginstallation återfyllas med skopan eller schaktbladet.



Figur 7. Kedjegrävare.

Under försöken har ett 15 meter långt dike grävts enligt figur 8. RESULTATEN



har visat att den aktuella maskinen är för klen. Maskinen förmår endast att gräva ett 0,5 meter djupt dike i "tung" lera (SGI:s provfält i Norrköpings 9204) under kontinuerlig drift.

Inte desto mindre är metoden intressant. På marknaden existerar större maskiner som sannolikt klarar det önskvärda dikesdjupet. Kostnaden per grävd meter är av storleksordningen hälften av vad en traktorgrävare kostar.

Figur 8. Kedjegrävare under arbete.

En stor nackdel med kedjegrävda diken är att slanginstallation knappast kan ske genom att gränsla diket på grund av upplagda grävmassor. Därför måste slanginstallation ske från sidan vilket medför sämre överblick. Dessutom måste installationsmaskinen ha tillräckligt stort överhäng.

4.2 Slanginstallation med geoteknisk sonderingsmaskin

SYFTET med försöket har varit att prova ett nyttillverkat installationsverktyg för enkelt U-rör samt att verifiera möjligheterna till kontinuerlig installation av vertikala markvärmväxlare med geoteknisk sonderingsmaskin.

Försöken har utförts vid SGI:s provfält vid Stångån i Linköping. Tre delförsök har genomförts med olika preparering av marken (schaktning och dikesutseende), olika slangdimension samt olika installationsdjup. Erfarenheter har dessutom erhållits av installationsverktyg, slangvinda, fixeringsverktyg, slangmatning från slangvinda (se sida 14), sned slanginstallation samt maximalt möjligt neddrivningsdjup.

Ett fixeringsverktyg har använts för att förhindra att den installerade markvärmväxlaren dras upp vid installation av efterföljande markvärmväxlare. Verktyget har fixerats runt slangen mellan markvärmväxlarna vid installation enligt metod 1 på sidan 11.

Varje nedstick av slang har utförts med en avvikelse från lodlinjen. Avsikten var att mildra följderna av en sättning som kan tänkas uppstå vid drift av ett markvärmelager med vertikalt slangsystem. Slangen "lägger sig ned" istället för att "knycklas" ihop.

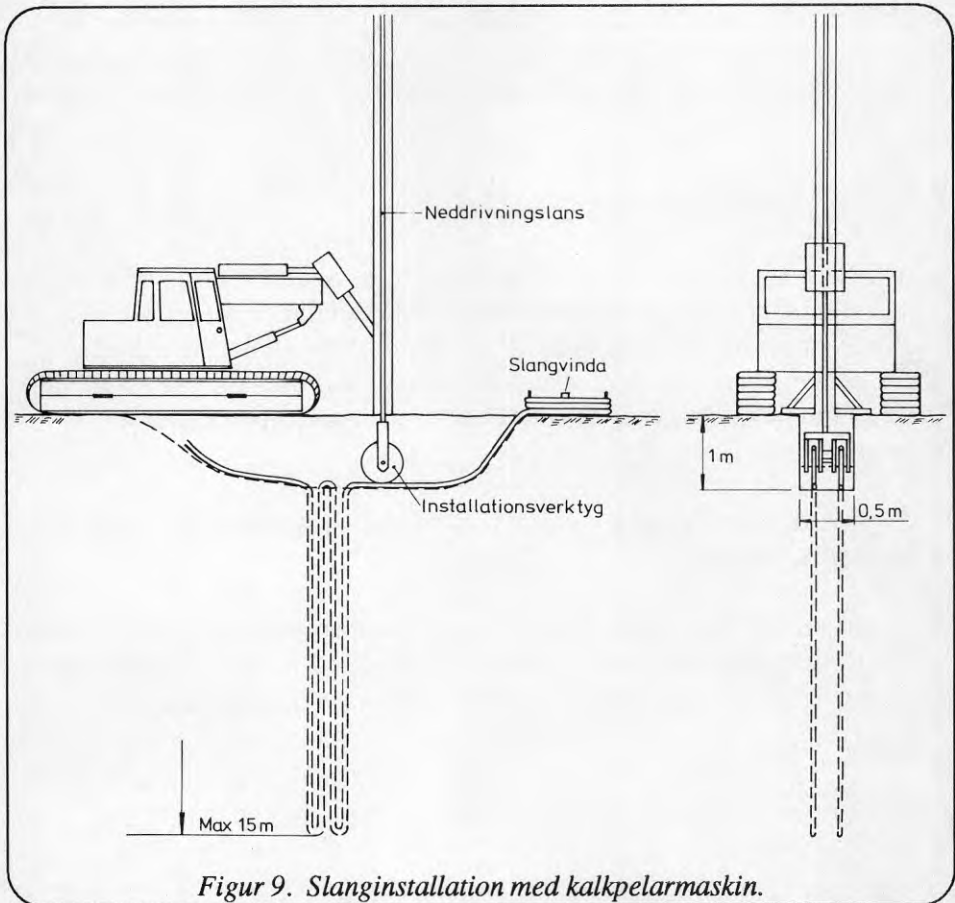
Varje installerad slangslinga har provtryckts enligt principerna redovisade på sid 15.

RESULTATEN av försöken har visat att utrustningen och metoden fungerar bra ned till tio meters installationsdjup. Vid maxdjuptest av den klenare slangdimensionen 20x2,0 mm har slangen brustit (dragbrott) vid tre tillfällen. Slangen har gått av på mellan 16 och 17 meters djup under markytan, en meter över fast botten. Typ av slangmatning från slangvindan, enligt kapitel 2, har ej påverkat förekomsten av slangbrott. Maxdjuptest har ej utförts med slangdimension 25x2,3 mm, dock ned till 15 meters installationsdjup enligt kapitel 4.3.

Varje markvärmväxlare, om tio meters installationsdjup, installerades på knappt 15 minuter inklusive förflyttning av installationsmaskinen. Fixeringsverktyget fungerade inte bra men var heller ej nödvändigt vid de aktuella jordförhållanderna. Normal snedställning av lansen uppgick till 13 grader, och fungerade bra. Vid överdriven snedställning av lansen vek verktyget av från den tänkta installationslinjen. Vid provtryckning läckte provningsutrustningens anslutningar. Efter tätning fanns ingen anmärkning.

4.3 Slanginstallation med kalkpelarmaskin

SYFTET med försöket har varit att prova ett nyttillverkat installationsverktyg för dubbla U-rör samt att verifiera möjligheterna till kontinuerlig installation av vertikala markvärmväxlare med kalkpelarmaskin.



Figur 9. Slanginstallation med kalkpelarmaskin.

Försöken har utförts vid SGI:s provfält vid Stångån i Linköping 9204 enligt figur 8 och försöksprotokoll i bilaga 5. Försöket har omfattat grävning av installationsdike samt installation av dubbla U-rör, 2x250 meter slang. Erfarenheter har erhållits av installationsverktyg, slangvinda med dubbla slangrullar, sned slanginstallation samt olika installationshastigheter.

Varje installerad slangslinga har provtryckts enligt principerna redovisade på sid 15.

RESULTATEN av försöken har visat att såväl utrustning som installationsmetod fungerar bra. Markvärmaväxlare har installerats ned till 15 meters djup vilket är kalkpelarmaskinens fysiska begränsning.

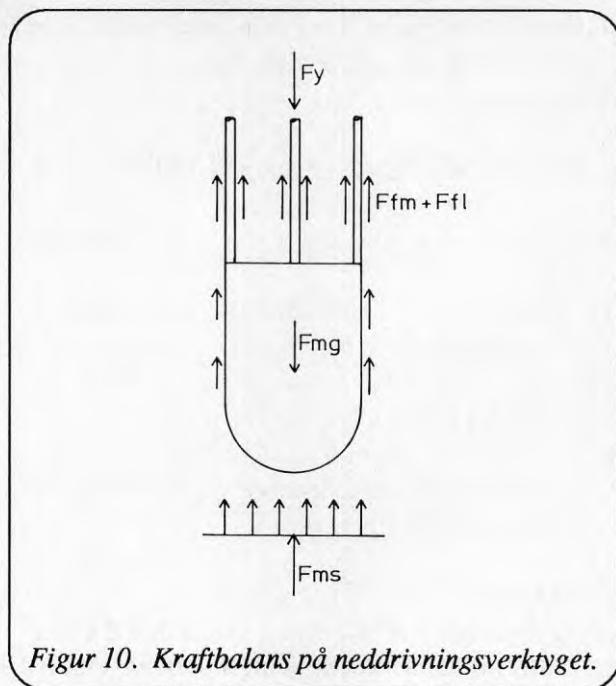
Kalkpelarmaskinens tryckkapacitet medgav installation av dubbelt U-rör. Varje markvärmväxlare tog maximalt 10 minuter att installera inklusive förflyttning av installationsmaskinen. 500 meter slang installerades på mindre än en timma. Installation med snedställd neddrivningslans (10°) gick att utföra utan anmärkning. Större snedställning rekommenderas ej på grund av den veka konstruktionen hos kalkpelarmaskinens lans. Installerade slangslingar var täta vid provtryckning.

4.4 Neddrivningskraft

Med vetskap om de olika, på neddrivningsverktyget verkande, installationskrafterna finns möjlighet att teoretiskt BESTÄMMA FÖRVÄNTAD NEDDRIVNINGSKRAFT. Denna kunskap är avgörande för om det finns förutsättningar, det vill säga erforderlig hydraulisk kapacitet hos installationsmaskinen, för att kunna installera slang med den utvecklade installationsmetoden på olika platser.

På det geotekniska sonderingsfordonet finns möjlighet att mäta neddrivningskraften hydrauliskt.

Den totala kraft F_y som behövs för att driva ned en markvärmväxlare är sammansatt av ett spetsmotstånd F_{ms} , en friktionskraft F_{fm} längs mantelytan på borrstål och slang, verktygets tyngdkraft F_{mg} samt flytkraften F_{fl} enligt figur 10.



Figur 10. Kraftbalans på neddrivningsverktyget.

Spetsmotsåndet och friktionskraften kan enligt referens, Lehtmetts och Magnusson 1991 [3], skrivas som $N \times A \times \tau_v$ respektive $(A_1 + A_2) \times \tau_v / S_t$. Tyngdkraften beror av verktygets massa och jordaccelerationen. Flytkraften baseras på Archimedes princip och innebär att lyftkraften sätts samman av den undanträngda massans densitet (lera), undanträngda volymen samt jordaccelerationen.

Uttrycket för neddrivningskraft kan sålunda formuleras

$$F_y = (N \times A \times \tau_v) + ((A_1 + A_2) \times \tau_v / S_t) + (\rho \times V \times g) - (m \times g) \quad [\text{N}]$$

där	N	=	Bärighetsfaktor, vanligen 9	[-]
	A	=	Verktygets projicerade horisontella area	[m ²]
	τ_v	=	Skjuvhållfasthetsvärde enl. vingprovning	[N/m ²]
	A_1	=	Slangens mantelarea	[m ²]
	A_2	=	Borrstålets mantelarea	[m ²]
	S_t	=	Lerans sensitivitet enl. vingprovning	[-]
	ρ	=	Lerans densitet	[kg/m ³]
	V	=	Undanträngd volym	[m ³]
	g	=	Jordaccelerationen	[m/s ²]
	m	=	Verktygets och slangans massa	[kg]

Eftersom neddrivningskraften i regel ökar med djupet, undantaget torrskorpan, är det lämpligt att beräkna den slutliga maximala neddrivningskraften vid botten av en projekterad markvärmväxlare.

För det aktuella fältförsöket med geoteknisk sonderingsmaskin fås med följande indata,

$$\begin{aligned} N &= 9 \\ A &= ((0,35 \times 0,04) + (0,065 \times 0,12) - (0,04 \times 0,12)) = 0,017 \text{ m}^2 \\ \tau_v &= 21 \times 10^3 \text{ N/m}^2 (10 \text{ m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= (0,025 \times \pi \times 10 \times 2) = 1,57 \text{ m}^2 \\ A_2 &= (0,036 \times \pi \times 10) = 1,13 \text{ m}^2 \\ \tau_v &= 20 \times 10^3 \text{ N/m}^2 (\text{medelvärde}) \\ S_i &= 13 (\text{medelvärde}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= 1500 \text{ kg/m}^3 \\ V &= ((\pi \times 0,0175^2 \times 0,04) + (0,3 \times 0,12 \times 0,01 \times 2) + \\ &\quad + (\pi \times (0,03^2 - 0,015^2) \times 0,1) + (0,0125^2 \times \pi \times 10 \times 2) + \\ &\quad + (0,018^2 \times \pi \times 10)) = 0,021 \text{ m}^3 \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= (18 + (10 \times 6) + (10 \times 2 \times 0,172)) = 81 \text{ kg} \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

den teoretiska neddrivningskraften på 10 meters djup till,

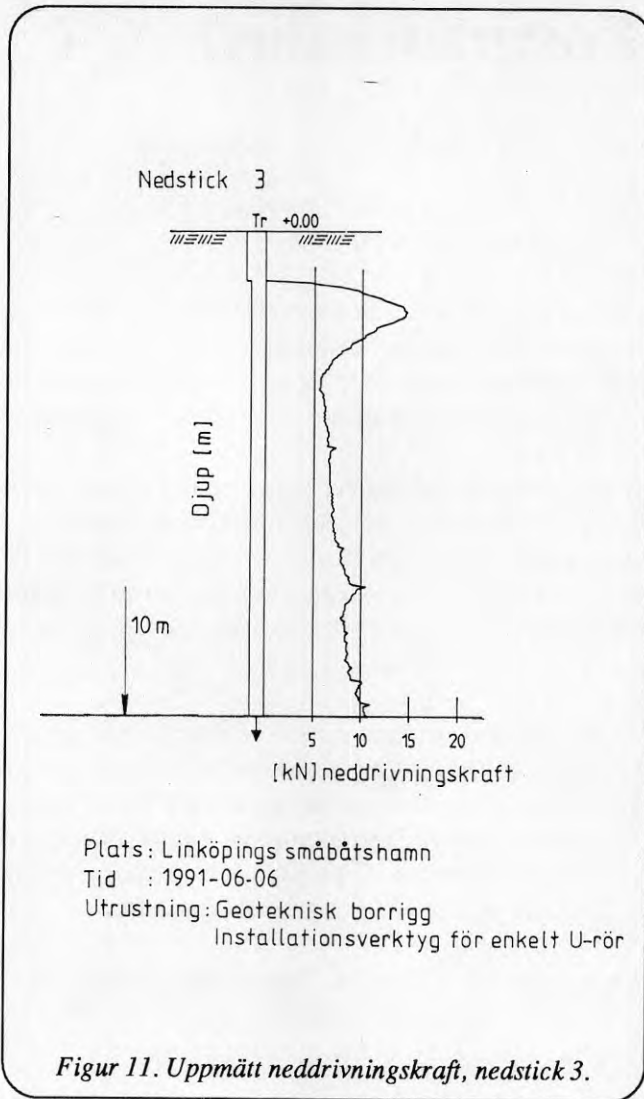
$$F_y = (N \times A \times \tau_v) + ((A_1 + A_2) \times \tau_v / S_i) + (\rho \times V \times g) - (m \times g) \text{ [N]}$$

$$\begin{aligned} F_y &= (9 \times 0,017 \times 21 \times 10^3) + ((1,57 + 1,13) \times 20 \times 10^3 / 13) + \\ &\quad + (1500 \times 0,021 \times 9,81) - (81 \times 9,81) \end{aligned}$$

$$F_y = 3213 + 4154 + 309 - 795$$

$$F_y = 6881 \text{ N.}$$

RESULTATET av studien visar att teoretisk neddrivningskraft är 6,9 kN, jämfört med uppmätta neddrivningskraften som är mellan 8 och 11 kN.



I figur 11 är den uppmätta neddrivningskraften på 10 meters djup 10 kN.

5. Kostnadskalkyl

För att belysa den förbättrade installationsmetodens EKONOMISKA BESPARING har en kostnadskalkyl ställts samman.

Kostnadskalkylen är baserad på ett fiktivt, 40 000 m³ stort högtempererat markvärmelager i lera. Kalkylen omfattar kostnaderna för installation av markvärmewäxlarna, det vill säga materialkostnaderna för slang och kopplingar samt kostnaden för personal och maskintid när markvärmewäxlarna trycks ned i jorden.

Avvikande installationskostnader har jämförts mellan ett referensalternativ, som utnyttjar etablerad installationsteknik med en pålkran och skarvkopplingar mellan varje markvärmewäxlare, samt ett alternativ med nyutvecklade skarvfria tekniker. Utifrån projektet har antagits att en kalkpelarmaskin och en geoteknisk sonderingsmaskin installerar 80 respektive 30 markvärmewäxlare (20 meter djupa) per dag.

Totalkostnaden för ett högtempererat, 40 000 m³ stort, markvärmelager i lera är enligt referens, Sundberg 1990 [5], av storleksordningen 125 kr/m³ lagervolym (lagerkostnad/5 miljoner). Installationskostnaderna motsvarar cirka 30% av lagrets totala kostnad (35-40 kr/m³ lagervolym). Ett markvärmelagers övriga kostnadsposter omfattar markarbeten, isolering och dygnsackumulator motsvarande cirka 5, 25 respektive 40 procent av lagrets totala kostnad.

RESULTATEN av kostnadskalkylen har visat att installationskostnaden minskat med storleksordningen 350 000 kr för enkelt U-rör och 400 000 kr för dubbelt U-rör. Den aktuella totala lagerkostnaden har sålunda reducerats med 7 respektive 8 procent.

Kostnadskalkyl av fiktivt markvärmelager i lera

Baserat på ett fiktivt högtempererat markvärmelager i lera har följande prestanda och kostnader tagits fram.

Lagervolym	40 000 m ³
Lagerdjup	20 m
Slitslängd	1 000 m
Grävkapacitet	10 m/tim
Antal markvärmeväxlare (centrumavstånd 2 m)	500 st
Antal slingor om fem markvärmeväxlare	100 st
Slangmaterial	PEX
Installationskapacitet (markvärmeväxlare-mv vx)	
geotekniskt sonderingsmaskin	30 st/dag
kalkpelarmaskin	80 st/dag
Slangkopplingskapacitet	48 st/dag
Slangkostnad	20 :-/m
Grävning av slits	2 400 :-/dag
Etableringskostnad inkl 20 meter mastlängd och verktyg	
geotekniskt sonderingsfordon	25 000 :-
kalkpelarmaskin	50 000 :-
Installationskostnad	
geotekniskt fordon+förare (förare hanterar slang)	5 000 :-/dag
kalkpelarmaskin+2 man (1 man hanterar slang)	7 200 :-/dag
pålkran (inklusive etableringskostnad)	900 :-/mv vx
Slangvindor	10 000 :-/gång
Kopplingar	60 :-/st
Kopplingsarbete	350 :-/tim
Material provtryckning	10 000 :-/gång
Provtryckningsarbete	500 :-/slinga

Samtliga kostnader i 1992 års kostnadsläge exklusive moms.

Erfarenheter i projektet har utgjort huvudunderlag för angivna kostnader. Dessutom har uppgifter hämtats ur referens, Lehtmets och Magnusson 1991 [3], samt från personliga kontakter med materialleverantörer och entreprenör för slanginstallation. I förekommande fall har angivna kostnader räknats upp med fem procent per år.

I kostnads kalkylen görs jämförelse mellan enkelt och dubbelt U-rör. Jämförelse mellan grupperna är inte relevant eftersom nyttan av ett lager med olika utseende på markvärmaväxlarna är olika, bland annat avseende effektkapacitet.

Kostnads kalkyl (tkr)

Enkelt U-rör (100 slingor)

	Referens	Utvecklad teknik	Utvecklad teknik
	Pålkran	Geotekniskt fordon	Kalkpelarmaskin
Slangmaterial*	-	-	-
Grävning	-	30	30
Etablering	-	25	50
Installation	450	83	45
Slangvindor	-	10	10
Kopplingar	24	-	-
Kopplingsarbete	23	-	-
Provtryckning*	-	-	-
Summering	497	148	135
Besparing	-	349	362

*Kostnader utan inbördes påverkan anges ej

Dubbelt U-rör (200 slingor)

	Referens	Utvecklad teknik
	Pålkran	Kalkpelarmaskin
Slangmaterial*	-	-
Grävning	-	30
Etablering	-	50
Installation	450	45
Slangvindor	-	10
Kopplingar	48	-
Kopplingsarbete	46	-
Provtryckning*	-	-
Summering	544	135
Besparing	-	409

*Kostnader utan inbördes påverkan anges ej

6. Värdering

Projektet har visat att den förbättrade INSTALLATIONSMETODEN, vilken integrerar slanginstallation och kopplingsarbete i ett moment, fungerar på ett bra sätt. Vid kommersiellt byggande av större lager kommer sannolikt kalkpelarskinen bäst till sin rätt. Den har hög installationskapacitet och flexibilitet, jämfört med den geotekniska sonderingsmaskinen.

För att förvissa sig om att slangbrott inte inträffar är det av vikt att göra noggranna förundersökningar av aktuella förhållanden. Viktiga parametrar är geotekniska förhållanden och slangkvalitet. Geotekniska undersökningar ger svar på lerans hållfasthet och sensitivitet som kan utnyttjas till att beräkna neddrivningskraften. Sonderingar visar lermäktighet och eventuell förekomst av icke önskvärd sten eller fastare skikt i lagervolymen. Ett neddrivningsförsök bör göras med en verktygsprototyp vid planerat djup på installationsdike och med aktuell slangdimension. Genom att använda grövre slang, eller slang med tryckklass 1 MPa istället för som brukligt 0,6 MPa, fås en större säkerhet med avseende på draghållfasthet. Den förra slangkvaliteten är dock dyrare och uppvisar sämre värmeöverförande egenskaper. Genom vattenspolning i dikesbotten minskar sannolikt neddrivningskraften. Mindre friktion gör också att säkerheten mot slangbrott ökar.

TOTALKOSTNADEN för ett markvärmelager i lera har minskat med cirka tio procent som ett resultat av teknikutvecklingen i det genomförda projektet. Kostnadsreduceringarna har uppstått som ett resultat av rationell slanginstallation, smidig slanghantering och begränsat kopplingsarbete. Arbets- och maskintiden har på så sätt reducerats. Materialkostnaden för kopplingarna har också reducerats. Kostnadsberäkningen är baserad på detta begränsade forskningsprojekt.

Vid byggande av ett stort kommersiellt lager kan sannolikt skalfördelar utnyttjas som ytterligare minskar kostnaderna. Ytterligare förändringar av installation och hantering av slang kan sannolikt endast minska installationskostnaden marginellt. Slangkostnaden däremot, vilken utgör cirka 50 % av kostnaden för slanginstallationen borde kunna reduceras genom stärkt konkurrens och rätt upphandlingsform.

Vid konstruktion och tillverkning av INSTALLATIONSVERKTYGEN har gemensamma detaljer samutnyttjats. Verktygen har fungerat bra utan konstaterade skador på slang. Verktygen har släppt slang på valt installationsdjup. Detta

förhållande som har varit ett problem under förstudien har rapporterats i referens, Lehtmets och Magnusson 1991 [3]. Den roterande rörelsen av verktygets hjul har sannolikt inte fungerat. Detta innebär att slangen har glidit, istället för att rulla, runt verktygshjulet vid installation enligt metod 1 på sidan 11. Hur detta har påverkat slangen, vid till exempel slangbrott, är oklart. Slangvindan har förhindrat skador på slangen och minskat personalbehovet vid matning av slang till installationsverktyget.

PROVTRYCKNING av installerad slang är svår att göra. Resultatet baseras på erfarenhet och subjektiva bedömningar. Det är därför av vikt att samma utrustning och personal utnyttjas i så stor omfattning som möjligt. Provtryckningsmetoden baseras på jämförelser mellan flera installerade slingor. Få slingor eller slingor med olika längd gör att resultaten blir svårare att utvärdera. Det är också viktigt att täthetskontrollera mätutrustningen i sig. Med dessa råd i åtanke finns goda förutsättningar att upptäcka läckande slangslingor.

Installationsmetodens tillförlitlighet har visat sig vara stor då positiva erfarenheter vunnits i ett nyligen påbörjat experimentbyggnadsprojekt. Projektet finansieras av Byggeforskningsrådet (BFR-projekt 900904-0) och omfattar byggande och drift av ett FÖRSÖKSFÄLT för värmelagring i lera. I projektet har 5 500 meter slang installerats fördelade på 225 markvärmväxlare. Erfarenheter från byggandet av anläggningen har rapporterats i referens, Lehtmets et al 1992 [1]. Störningsfri drift har pågått ett halvår, av tre års planerad drift.

7. Referenser

- [1] Lehtmets, M., Bergenståhl, L och Gabrielsson, A. (1992). Försöksfält för värmelagring - byggnationsrapport. Statens geotekniska institut, SGI Varia 372. Linköping.
- [2] Lehtmets, M., Bergenståhl, L. och Gabrielsson, A. (1992). Försöksfält för värmelagring - konstruktionsunderlag. Statens geotekniska institut, SGI Varia 373. Linköping.
- [3] Lehtmets, M. och Magnusson, C. (1991). Markvärmväxlare för högtemperaturlager i lera, Byggeforskningsrådet, R37. Stockholm.
- [4] Magnusson, C., Lehtmets, M., Sundberg, J. Eriksson, L. och Zinko, H. (1990). Teknisk och ekonomiskt underlag för forsknings- och teknikutvecklingsinsatser vid värmelagring i mark och vatten, Statens geotekniska institut, SGI Varia 271. Linköping.
- [5] Sundberg, J. (1990). Högtemperaturlager i lera - geoteknik, systemteknik och kostnadskalkyler. Byggeforskningsrådet, R40. Stockholm.

R4:1993

ISBN 91-540-5508-3

Byggeforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6813004

Abonnemansgrupp:

Ingår ej i abonnemang

Distribution:

Svensk Byggtjänst

171 88 Solna

Cirkapris: 75 kr inkl moms