



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

R44:1988

Teknikupphandling av markvärmelager

Bengt Rydell
Sven-Erik Lundin
Jan Sundberg

R
Jull

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	ser

Byggforskningsrådet

R44:1988

TEKNIKUPPHANDLING AV MARKVÄRMELAGER

Bengt Rydell
Sven-Erik Lundin
Jan Sundberg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 851175-2
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
geotekniska institut, Linköping.

REFERAT

Syftet har varit att klargöra potential och identifiera avnämare för markvärmelager i jord. Resultatet skall ligga till grund för en teknikupphandling av ett antal värmeför-sörjningsanläggningar med värmepump och markvärmelager.

Genom en samverkan mellan ägarna till dessa gruppcentraler och med en gemensam satsning på teknikupphandling kan system, material, maskiner och byggande av värmelager utvecklas för att förbättra dess ekonomi. Genom att samla ett antal potentiella beställare skapas ett intresse hos entreprenörer och FoU-organ som stimulerar till en snabbare utveckling.

I rapporten beskrivs en modell för teknikupphandling av markvärmelager. Teknikutvecklingen utförs i en specifikations- respektive prototypfas. I specifikationsfasen klarläggs vissa grundförutsättningar, upprättas en kravspecifikation och utförs en upphandling av teknikutvecklingens första fas. I prototypfasen genomförs teknikutveckling, pilotförsök och byggande av prototypanläggningar i full skala i olika geologiska miljöer. Under förutsättning att kommersiellt intressanta kostnadsnivåer erhålls påbörjas en seriefas med målet att bygga 10-15 anläggningar. Efter anbudsvärdering och gemensam upphandling genomförs de olika projekten med kontrakt mellan beställare och entreprenörer/leverantörer för de enskilda projekten.

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.

R44:1988

ISBN 91-540-4883-4
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
Svenskt Tryck Stockholm 1988

INNEHALLSFÖRTECKNING

FÖRORD

SAMMANFATTNING

1.	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Genomförande	3
2.	LAGER I VÄRMESYSTEM	4
2.1	Lager i värmesystemen	4
2.2	Lagertyper	4
2.3	Markvärmelager-Tillämpningar	5
3.	TEKNIKLÄGE	9
3.1	Allmänt	9
3.2	Olika lagringstekniker i mark	9
3.3	Byggda fullskaleprojekt	10
3.4	Ekonomi och potential	12
3.5	Markvärmetekniken i ett internationellt perspektiv	13
4.	ANLÄGGNINGSTEKNIK FÖR MARKVÄRMELAGER	20
4.1	Metoder för installation av markvärmeväxlare	21
4.2	Markvärmeväxlare	28
5.	KOSTNADER FÖR MARKVÄRMELAGER	36
5.1	Dagsläge och kostnadskrav	36
5.2	Utvecklingsmöjligheter - delkostnader	39
6.	UTVECKLINGSBEHOV	42
6.1	Allmänt	42
6.2	Markvärmelager	43
7.	POTENTIAL OCH MARKNADSINTRESSE FÖR GRUPP-CENTRALER INOM GEOLOGISKT LÄMPLIGA OMRÅDEN	44
7.1	Bakgrund och syfte	44
7.2	Genomförande av inventering	44
7.3	Marknadsbedömning	46
7.4	Nyttjat källmaterial	49

8.	INTRESSETER OCH PROJEKT FÖR MARKVÄRMELAGER I GRUPPCENTRALER	52
9.	TEKNIKUPPHANDLING - EN UTVECKLINGSPROCESS	58
9.1	Allmänt	58
9.2	Teknikupphandling av värmesystem med värmelager	62
10	PROJEKTGENOMFÖRANDE-KOSTNADER-TIDPLAN	70
	REFERENSER	72

SAMMANFATTNING

Naturliga värmekällor, t ex sol, uteluft samt yt- och grundvatten, i kombination med värmepump utnyttjas i stor omfattning idag. Genom att komplettera värmepumpen med ett säsongsvärmelager i mark erhålls en värmekälla med jämnare och högre temperatur under vintersäsongen, varigenom värmepumpens tillgänglighet och värmefaktor ökar och dess drifteknologi förbättras.

Syftet med detta projekt har varit att klargöra potential och identifiera avnämare för markvärmelager i jord. Resultatet skall ligga till grund för en teknikupphandling av ett antal värneförsörjningsanläggningar med värmepump och markvärmelager.

Säsongslagring av värme i jord, berg och vatten har studerats i Sverige sedan början av 1980-talet. Systemvarianterna är många och ett värmelager kan utnyttjas för ett flertal syften. De lokala förhållandena, såsom bl a bebyggelsen, värmesystemet och geologin, bestämmer förutsättningarna för att utnyttja ett värmelager och styr också de ekonomiska möjligheterna.

Kunskapsläget för lagring av värme i jord är idag tillfredsställande, bl a beroende på att ett 10-tal fullskaleanläggningar uppförts i olika geologiska miljöer. Värmelager i jord består av ett antal markvärmväxlare, ett rörsystem, som överför energi mellan jorden och en värmetransporterande vätska. Hitintills har företrädesvis använts polyetenslang med 15-40 mm diameter, som nedförts i jorden.

För vertikala lager används U-formade rör som drivs ned till önskat djup. Rören sammankopplas i markytan med horisontella samlingsledningar. Vertikala värmelager har i Sverige endast byggts i lera. Pålkranar kompletterade med neddrivningsanordning för U-slangarna har använts vid de större lager som för närvarande är i funktion. Ett flertal olika metoder för neddrivning av slangar både med pålningsutrustning och hydrauliska borrhjull har utvecklats i avsikt att effektivisera anläggningsarbetena såväl i lera som i silt och sand. Utrust-

ning och metoder bedöms dock kunna utvecklas ytterligare genom framtagning av specialmaskiner och nya komponenter. Även markvärmelagrens utformning har utvecklats genom teoretiska beräkningar och fullskaleförsök. Erfarenheterna visar att värmelagren bör utformas med två U-rör placerade vinkelrätt mot varandra och med ett skänkelavstånd mellan U-rören större än 30 cm. Rörens diameter bör vara större än 20 mm.

Horisontella värmelager utgörs av ett system med rör av plast eller metall i ett antal horisontella lager. Ett specialfall utgör ytjordvärmesystem, där rör är förlagda på endast en nivå. Då slangen lagts på flera nivåer erfordras laddning och återställning av den ursprungliga marktemperaturen, vilket vid ett ytjordvärmesystem sker på naturlig väg genom solinstrålning och nederbörd. Slangarna plöjs eller grävs ner i jorden med olika typer av plogar eller grävmaskiner. De horisontella värmelager som hittills byggts i Sverige har utförts i torv, men samma princip kan tillämpas även i lera och sand. En speciell tillämpning är att förlägga ett horisontellt rörsystem i sjöars bottensediment.

Det främsta syftet med säsongslagring av värme är att utjämna tillgång av värme under året och därigenom erhålla en lägre uppvärmningskostnad. En kapitalisering av kostnaden för värmelagret bör därför kompenseras av lägre driftkostnader. Nyttan med ett värmelager kan bedömas genom att studera lagrets marginalkostnad jämfört med motsvarande värmeanläggning utan värmelager. Härvid kan anges gränskostnader för lagret för olika utföranden av värmesystemet och alternativa energipriser. Kostnaden för värmelager med dagens teknik ligger dock över den nivå som kan tillåtas för att värmelager skall vara kommersiella. Anläggningskostnaderna för de i Sverige byggda markvärmelagren varierar kraftigt, bl a beroende på att samtliga lager är experimentbyggnadsanläggningar. Detta innebär att kostnaderna för utveckling av ny utrustning och bedömda risker belastar det enskilda projektet.

Kostnaderna för ett markvärmelager fördelar sig på olika delar av lagret. För de vertikala lager som hittills byggts har rördrivning

inkl U-rör utgjort ca 25-35% av totalkostnaden, kopplingsarbete och samlingsledningar i markytan ca 35-40% samt schaktning och återställning ca 30-40%.

Det fortsatta utvecklingsarbetet för markvärmelager bör främst inriktas mot att sänka anläggningskostnaderna med 20-40%, att finna nya systemtillämpningar samt att uppföra ytterligare fullskaleanläggningar. Nya komponenter för markvärmeväxlare (slangar, kopplingar etc) och specialmaskiner är nödvändiga för att nå kostnadsmålen. Större temperaturutnyttjande (värme, kyla) och bättre optimering av lagret är angeläget.

Den största potentialen för värmepumpsystem med markvärmelager bedöms finnas i konvertering av oljeeldade gruppcentraler. Marknaden för markvärmelager har kartlagts genom en inventering av landets ca 8000 gruppcentraler inom kommuner med respektive utan fjärrvärme. Inventeringen har dock begränsats till de ca 2600 gruppcentraler som har en oljeförbrukning av minst 200 m³/år. Industriella gruppcentraler har inte ingått i denna inventering. Vid bedömningen av antalet gruppcentraler som kan vara aktuella att komplettera med markvärmelager i lera, silt, sand och torv har hänsyn tagits till geologiska förhållandena och eventuella framtida anslutningar till fjärrvärme. Inventeringen visar att den sammanlagda potentialen kan uppskattas till mellan 1000 och 1300 gruppcentraler. För drygt hälften av dessa är värmelager i lera den aktuella tekniken.

Någon central organisation för ägare till enskilda gruppcentraler finns inte. Intresset för att delta i en teknikupphandling av markvärmelager har därför undersökts genom en enkät under våren 1986 till ett 50-tal allmännyttiga bostadsföretag och landsting. I huvudsak har positiva svar erhållits, där ägarna har gruppcentraler med sådan storlek att de omfattas av detta projekt. Med utgångspunkt från denna enkät och från tidigare kända projekt, bl a från BFR-studier, har ett 40-tal gruppcentraler identifierats möjliga att komplettera med markvärmelager. Dessa omfattar ca 14000 lägenheter och med en sammanlagd oljeförbrukning om 29000 m³/år.

Någon form av samverkan mellan ägarna till dessa gruppcentraler bör etableras men där varje nyttjare har enskilt ansvar för genomförande av sitt projekt. Målet är att utnyttja fördelarna med en gemensam satsning på teknikupphandling. Härigenom kan utvecklas system, material, maskiner och byggande av värmelager för att förbättra dess ekonomi. Genom att samla ett antal potentiella beställare skapas ett intresse hos entreprenörer och FoU-organ som stimulerar till en snabbare utveckling. Detta ställer emellertid stora administrativa och juridiska krav på upphandling och genomförande.

I rapporten beskrivs en modell för teknikupphandling av markvärmelager. Teknikutvecklingen utförs i en specifikations- respektive prototypfas. I specifikationsfasen klarläggs vissa grundförutsättningar (beställare, kostnadsnivåer m m). Dessutom inventeras lokala förutsättningar för respektive gruppcentral (geologi, befintligt värmesystem m m). Vidare upprättas en kravspecifikation grundad på behov, funktion och kostnadsmål avseende värmelagret och övriga delar av värmesystemet. En värdering och upphandling av teknikutvecklingens första fas genomförs baserat på infordrade förslag från entreprenörer/leverantörer av en fiktiv anläggning.

I prototypfasen genomförs teknikutveckling och pilotförsök av några olika metoder och utrustningar för värmelager i olika jordarter. Därefter byggs en prototypanläggning i full skala i olika geologiska miljöer.

Under förutsättning att kommersiellt intressanta kostnadsnivåer erhålls påbörjas en seriefas med målet att bygga 10-15 anläggningar. Denna inleds med projektering och upprättande av förfrågningsunderlag för totalentreprenad med specificering av risker och med möjlighet till incitamentsavtal. Efter anbudsvärdering och gemensam upphandling genomförs de olika projekten med kontrakt mellan beställare och entreprenörer/leverantör för de enskilda projekten. Anläggningarna bör efter färdigställandet utvärderas tekniskt och ekonomiskt under en två-årsperiod.

Denna utredning visar att det finns en stor potential för markvärmelager i kombination med värmepump för gruppcentraler. Det finns ett intresse hos beställarkategorin att utnyttja denna nya energiteknik. Utredningen visar vidare att en intressant kostnadsnivå kan nås efter viss teknikutveckling. Härigenom finns en marknad som torde skapa ett aktivt engagemang från entreprenörer/leverantörer. Genom teknikupphandling kan utvecklingsarbetet samordnas och finansieras gemensamt av beställare, entreprenör/leverantör och statligt FoU-organ.

FÖRORD

Detta forskningsprojekt har genomförts i samverkan mellan energitekniker och markvärmetekniker. Det är en följd av diskussioner som förts mellan Statens råd för byggforskning (BFR), Styrelsen för teknisk utveckling (STU) och Statens geotekniska institut (SGI) i avsikt att undersöka förutsättningarna för introduktion av system baserade på värmelager i jord i det svenska energisamhället. Projektet har finansierats av Statens råd för Byggnadsforskning.

Projektledare har varit Bengt Rydell, Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping. Utredningsarbetet har huvudsakligen utförts av Jan Sundberg, SGI och Sven-Erik Lundin, Kjessler & Mannerstråle. Vid inventering av lämpliga gruppcentraler för konvertering till markvärmesystem har dessutom Rolf Westerlund, K-konsult, Stockholm, medverkat.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Naturliga värmekällor i form av sol, uteluft samt yt- och grundvatten har under de senaste åren i stor omfattning introducerats i Sverige. Med hjälp av värmepump täcks i allmänhet storleksordningen 60-70% av det erforderliga värmebehovet. Resterande värmemängd måste tillgodoses genom form av spetsvärme, i de flesta fall olja.

Genom att komplettera en värmepump baserad på naturvärme med ett säsongsvärmelager kan en större del av värmebehovet täckas, upp till 90% av det totala behovet. Det är även fördelaktigt att kunna lagra spillvärme från olika industriella processer från sommar till vinter. Markvärmelager kan även utnyttjas vid differentierade fjärrvärmefaktor, s k satellitlager. Värmelagring i jord (lera och torv) utförs normalt för en temperatur som understiger ca 40°C och lagret utnyttjas då som värmekälla för värmepumpen. Genom att värmepumpen kan utnyttja en värmekälla med jämnare och högre temperatur under vintersäsongen förbättras värmepumpens tillgänglighet och värmefaktor och därmed dess driftsekonomi.

De värmelager i jord som hittills byggts har varit experimentbyggnadsprojekt, där anläggningstekniken utvecklats i projekten och därmed varit en del av FoU-verksamheten. Detta har medfört att anläggningskostnaderna blivit relativt höga, då maskinutrustningen som tagits fram för att bygga anläggningarna endast kunnat nyttjas och avskrivas på ett enda projekt.

Vid ett seminarium i Hindås 1985 arrangerat av BFR och med deltagare representerande energidistributör/konsumenter, konsulter och entreprenörer klargjorde aktuella problemställningar vid tillämpning av markvärmelagertekniken. Energidistributörerna/konsumenterna var positiva till värmelagringstekniken om energikostnaderna kan konkurrera med andra energislag. Dessutom betonades nödvändigheten av någon form av driftgaranti. En sådan garanti kan emellertid endast ges då erfa-

renheter från flera anläggningar erhållits. Från entreprenörhåll framfördes att lagrens anläggningskostnader skulle kunna minska kraftigt, kanske 50%, vid en kontinuerlig produktion. Stora kostnadsbesparingar kan göras genom att utveckla maskiner och teknik för att bygga markvärmelager. För de lager som hittills byggts har utnyttjats befintliga utrustningar, såsom t ex pålkranar, vilka ej specifikt är avsedda och utvecklade för byggande av markvärmelager. Sedan något år tillbaka har Byggentreprenörerna bildat en arbetsgrupp för att främja utveckling och tillämpning av lagerbyggnadstekniken.

Genom att identifiera den praktiskt tillgängliga potentialen för markvärmelager och genom medverkan av ett antal intresserade värmeproducenter finns den marknad som skapar ett aktivare engagemang från bl a entreprenörer och möjliggör en bred introduktion av tekniken. Ett sätt att hjälpa system med värmepump och markvärmelager "över tröskeln" är att ett antal projekt, storleksordningen 15-20 st, kommer till stånd genom sk teknikupphandling. Härvid finansieras utvecklingsarbetet gemensamt av beställarna, entreprenörerna och staten.

1.2 Syfte

Projektets huvudsyfte har varit att klargöra potential och identifiera användare för markvärmelager i jord med hänsyn till bebyggelse, uppvärmningssystem, värmekälla samt geologiska förhållanden. Resultatet skall ligga till grund för en teknikupphandling av ett antal värmeförsörjningsanläggningar bestående av värmepump och markvärmelager.

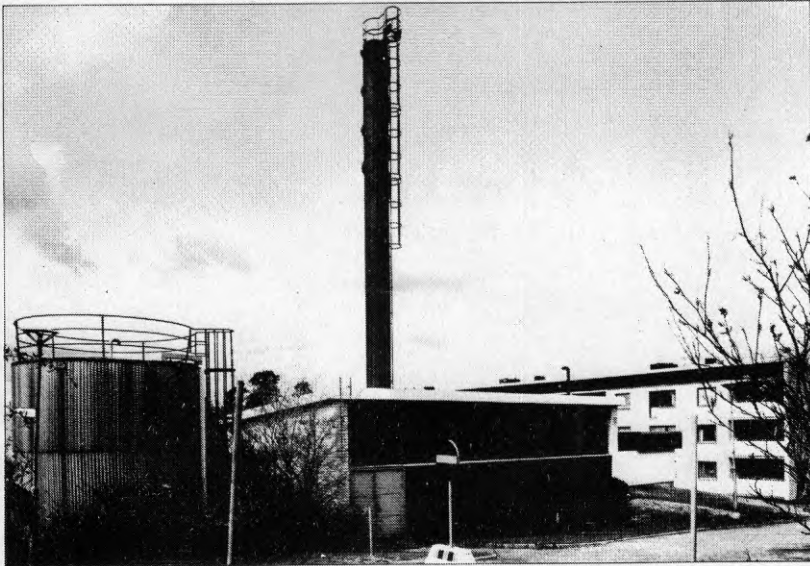
Genom teknikupphandling finns förutsättningar att utveckla tekniken och förbilliga alla ingående delar i sådana värmesystem. Härigenom kan de hinder och problem som idag finns undanröjas och tekniken introduceras och utgöra ett konkurrenskraftigt alternativ.

1.3 Genomförande

Projektet har omfattat studier inom fem huvudområden. Inledningsvis har befintliga gruppcentraler inventerats, där lämpliga förutsättningar finns för konvertering till värmepump och markvärmelager med hänsyn tagen till värmebehov, värmekällor och geologi. Figur 1.1 kan illustrera en typisk gruppcentral. Därefter har dagsläget för värmelagringstekniken beskrivits.

Vidare har undersökts vilka marginalkostnader som kan accepteras för att system med markvärmelager skall vara konkurrenskraftiga gentemot andra uppvärmningsformer. Olika delposters andel av totalkostnaden har klargjorts (värmekälla, värmepump, distributionssystem och markvärmelager) och var de största förutsättningarna för kostnadsminskningar finns.

Lämpliga ägare till gruppcentraler, där förutsättningar finns för konvertering till värmepump med markvärmelager i jord, har identifierats. Slutligen har utarbetats ett förslag till modell för teknikupphandling av värmeförsörjningssystem med värmelager i jord.



Figur 1.1 Oljeeldad gruppcentral.

2 LAGER I VÄRMESYSTEM

2.1 Allmänt

De första idèerna kring värmelagring i större skala i Sverige utvecklades i början på 1970-talet. Ståltankar för hetvattenlagring användes i fjärrvärmesystemen och för spillvärme från kraftvärmeverk. Säsongslagring av värme blev aktuell från 1980 när solvärme blev en prioriterad utvecklingslinje inom BFRs energiforskningsprogram.

Billigt producerad basvärme (kol, spillvärme, naturvärme) kan med hjälp av lager sparas till vintern och då ersätta dyrare spetsvärme som ex olja eller el. Även lagring av kyla utgör ett intressant system.

Med lager kan också differentierade taxor för el och värme utnyttjas bättre. I värmeproduktionen kan de kapa toppar och vara en reservkapacitet.

För att ett energilager ska vara intressant av ekonomiska skäl måste minskade driftkostnader finansiera de ökade kapitalkostnader som ett system med lager innebär.

Kunskapsläget för själva lagringsteknikerna är tillfredsställande men ytterligare specialkunskande om byggandet behövs, liksom systemerfarenheter för att utnyttja lagren på bästa sätt.

2.2 Lagertyper

Värmelagringstekniken indelas ofta efter det material som används som lagringsmedium, tex vatten, mark och akviferer. Säsongs- och korttidslagring är andra indelningar, liksom högtemperatur- respektive lågtemperaturlager. Följande tekniker är nu framtagna och kan nyttjas med god funktion.

- Värmelager i jord (lera, sand, torv, sjösediment)
- Borrhålslager i berg
- Värmelagring i vatten (markgropar, bergrum, tankar)
- Akvifärlager (grundvattenmagasin i jord och berg)

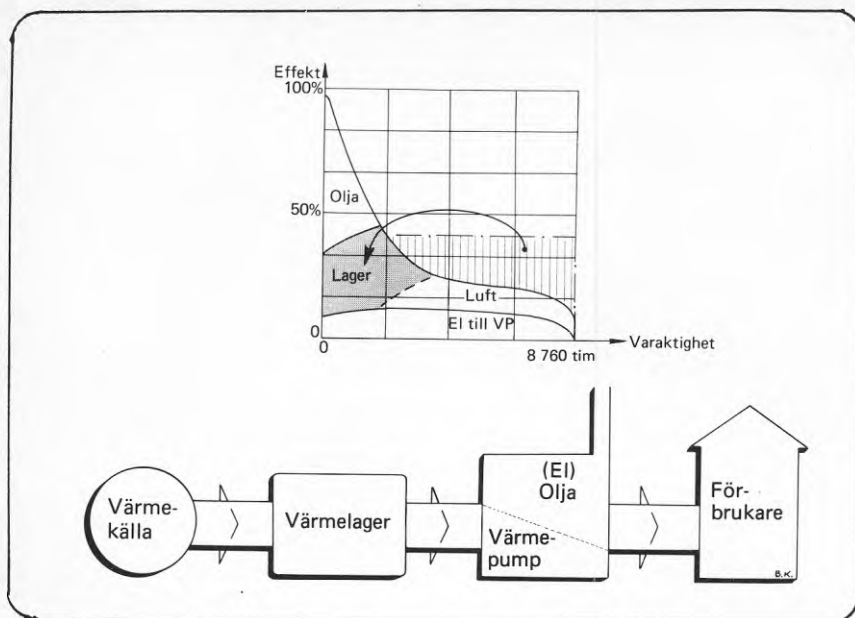
Naturens egna förutsättningar med lagring direkt i undermarkens jord, berg och vatten synes vara de lämpligaste för att anlägga storskaliga och billiga lager.

2.3 Markvärmelager - Tillämpningar

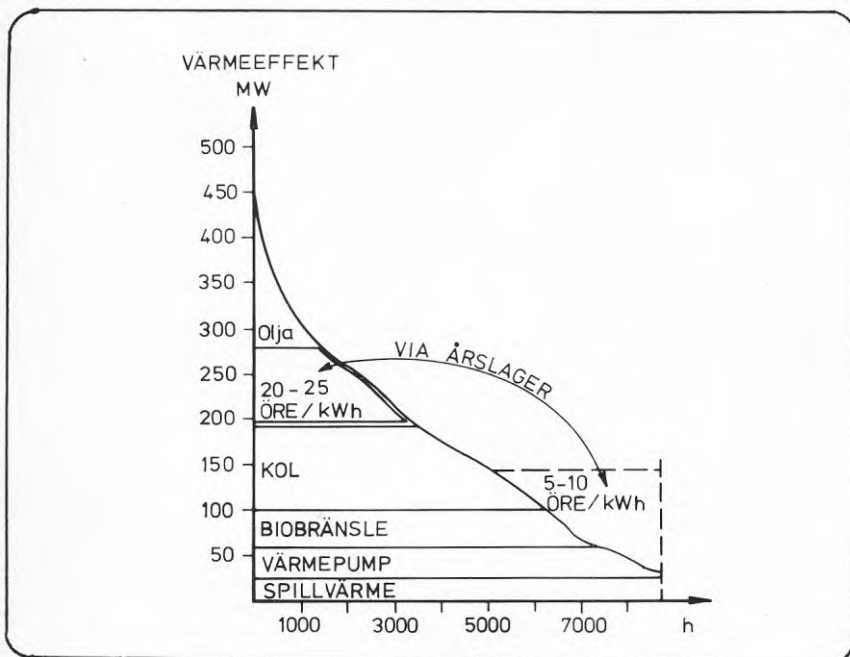
Ett värmelagers funktion och ekonomi styrs i stor utsträckning av det värmesystem i vilket lagret ingår. Allmänt kan konstateras att ett markvärmelager, vars funktion bygger på värmeledning, är ett "långsamt" lager. Detta innebär att markvärmelagret i första hand är lämpligt för säsongslagring. Ett utnyttjande även för korttidslagring kräver normalt någon form av buffert med hög effektkapacitet för att marklagret ska fungera.

I figur 2.1 visas ett exempel på värmesystem med säsongslager och uteluftvärmepump. Genom att komplettera en befintlig oljevärmecentral med värmepump och lager kan värmebehov upp till 90% täckas upp med hjälp av ett sådant lågtemperaturlager (+5/+30). Värmepumpen får en längre driftsperiod/år och en bättre värmefaktor. Lager i lera eller torv är här mest aktuella.

I större anläggningar för värmeproduktion (fjärrvärmeverk, gruppcentraler) finns överkapacitet på sommaren och möjligheterna att utnyttja säsongslager framgår av varaktighetskurvan figur 2.2. Med säsongsdifferentierad produktionskostnad och taxa kan ett ekonomiskt utrymme på 15-20 öre/kWh finnas för ett lager. Det blir då aktuellt med högtemperaturlager upp till kanske +90 C, varför borrhål i berg är det lämpligaste markvärmelagret.



Figur 2.1. Värmesystem baserat på luftvärmepump, säsongslager och spetsvärme i form av olja. Ur rapport G26:1986, byggforskningsrådet.



Figur 2.2. Åskådliggörande av säsongslagring av billigt producerad basvärme i ett varaktighetsdiagram.

Systemvarianterna är många och ett värmelager kan nyttjas för ett flertal syften. Värderingar och val måste dock göras efter lokala förutsättningar som också i hög grad avgör ekonomin.

De tillämpningar med säsongslager i mark som används och är mest lovande i olika hustyper och värmesystem är följande:

TEKNIK/SYSTEM (Säsongslager)	Småhus	Byggn- lokaler	Grupp- centr.	Fjärr- värme
	10 kW	100 kW	1000 kW	10 MW
Lagr i lera,sand	-	S-P-K-N	S-P-K-N	S-P-Sp
torv	-	N-S-K	N-S-K-Sp	Sp
sjösediment	-	Sj	Sj	Sj
Borrhål i berg	(M)	(M)	S-P-Sp	S-P-Sp
Ytjordvärme	(M-K)	(M-K)	-	-

Anm.

(M) = Jord- och bergvärme med naturlig återställning

K = Kyla (från värmepump)

S = Solvärme

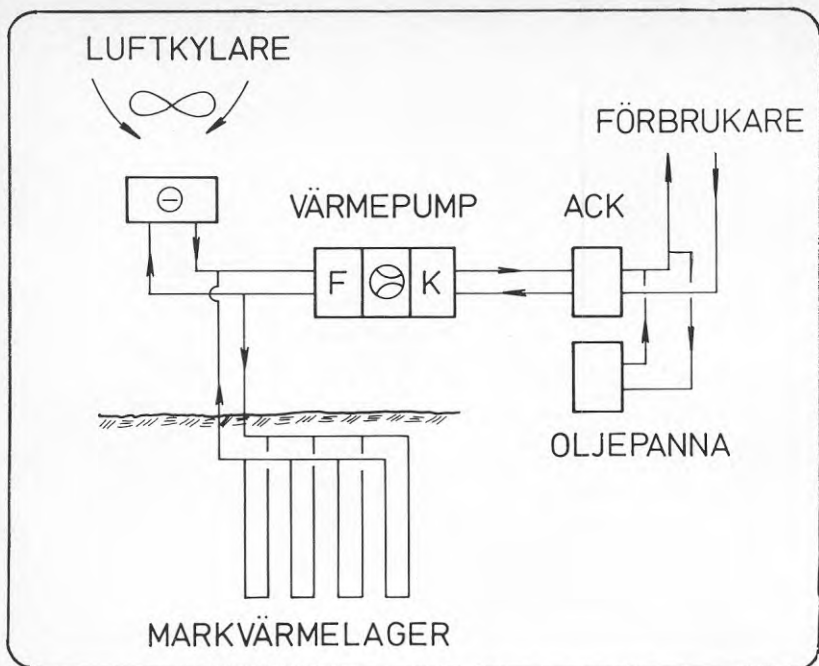
N = Naturvärme/uteluft

P = Basproduktion (billig värme)

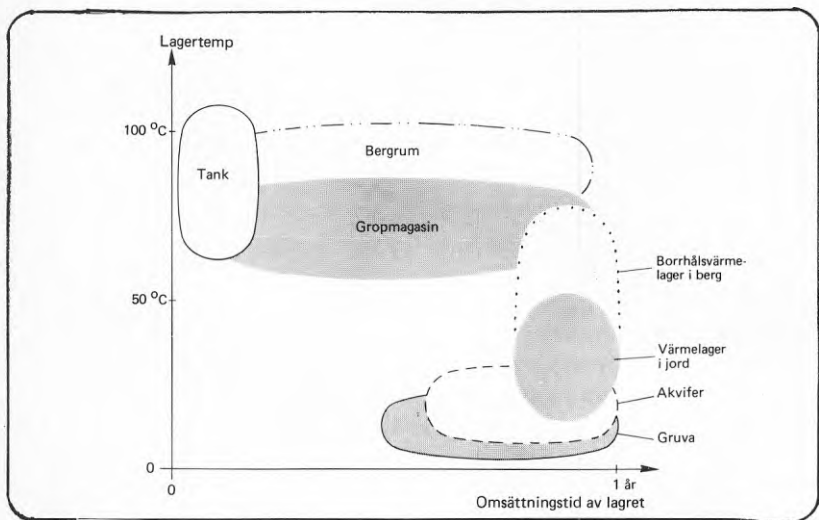
Sj = Sjövärme

Sp = Spillvärme (låg temp)

Hur markvärmelager förhåller sig till andra lagertyper vad gäller omsättningar och temperaturer framgår av figur 2.4.



Figur 2.3. Principschema för värmesystem med luftvärmepump, säsongslager och spetsvärme med oljepanna.



Figur 2.4. Användningsområden för olika lagertyper. Ur rapport G26:1986, byggforskningsrådet.

3 TEKNIKLÄGE

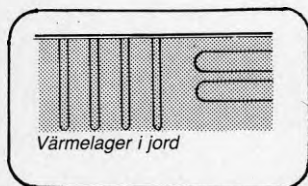
3.1 Allmänt

Tekniken för storskalig lagring av värme har under 1980-talet utvecklats på ett intressant sätt. Forskningen för olika lagringstyper utfördes på en bred front över teoristudier, pilotprojekt, förstudier och till projekt i full skala. En strävan har också varit att driva utvecklingen tvärvetenskapligt mellan forskare - konsulter - industri och byggherrar.

Avgörande utvecklingssteg har kunnat tas genom byggandet av projekt i full skala, där olika systemkombinationer mellan värmekällor och värmeproduktionssystem testats och en realistisk utvärdering kunnat göras. Förutom äldre ståltankar är nu ca 25 värmelager i mark och vatten i drift och erfarenheterna från systemen är i stort sett goda. Undermarksbaserade lager har visat sig mest lämpliga i Sveriges geologi med urberg, grusåsar och lera.

Till tekniken "värmelagring i mark" räknas system där marken är det dominerande lagringsmediet. Laddning och uttag sker genom värmeväxling från en fluid i ett kanalsystem i marken. Värmetransporten i själva marken sker genom ledning.

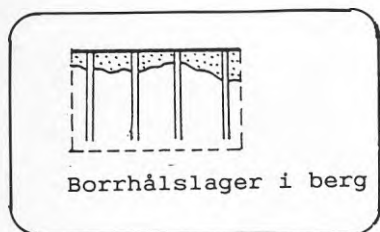
3.2 Olika lagringstekniker i mark



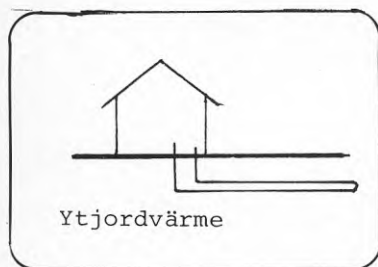
Värmeväxlingen till marken sker med smala plaströr nedförda till 15-30 m djup och på ett avstånd av ca 2-3 m. Lagertemperaturen pendlar mellan +2 och +30 C och värmepump används för uttag. Lagren bör ha en volym på 50.000-100.000 m³ och isolering görs bara av överytan.

I torv lägges vanligen horisontella rörsystem i flera nivåer till några meters djup.

För enbart uttag av värme ur sjösediment läggs slangarna på botten och förankras. I öppna sjövärmesystem kan sommarvärmen lagras i sedimenten om vattnet får cirkulera genom nedplöjda rör i sjöbotten.



I berg kan värme lagras upp till temperaturer på ca +100 C. Överföringen av värme sker i 150 mm borrhål genom öppen vattencirkulation eller i slutna innerrör. Lagren är oisolerade och måste vara av storleksordningen 200.000 m³ för att få små relativa värmeförluster.



Den naturligt lagrade värmen i de övre marklagren kan utnyttjas med sk ytjordvärmepump. En frysvätska cirkulerar i nedgrävda plastslangar, tar upp värmen och tjälar jordlagren. Återladdning sker vanligen passivt under sommaren, men vissa större system kräver "aktiv lagring" i någon form. Kylmagasinet kan utnyttjas på sommaren för komfortkyla.

3.3 Bygda fullskaleprojekt

Sedan 1978 har ett 15-tal markvärmelager byggts i Sverige. Från början hade de karaktär av pilotprojekt och i mindre skala. De senaste åren har projekt i full skala varit mogna att genomföras. Av

tabell 3.1 framgår data för de flesta anläggningarna.

Tabell 3.1 Markvärmelager i drift.

Plats	Byggt	Lagertyp	Volym m ³	Temp °C	Driftår st
Sigtuna	1978	Borrhål i berg	10 000	8-42	8
Luleå	1983	---	120 000	10-80	4
Stora Skuggan	1984	---	210 000	7-50	1
Vallentuna	1983	---	60 000	5-20	3
Vallentuna	1984	---	10 000	0-15	1
Finspång	1985	---	42 000	15-30	2
Höstvetet, Sthm	1985	---	30 000	4-14	1
Finspång	1986	---	25 000	0-30	1
Utby	1979	Slangar i lera	1 200	4-12	8
Kungsbacka	1981	---	87 000	10-16	6
Kullavik	1983	---	8 000	10-55	4
Söderköping	1984	---	2 900	6-15	3
Söderköping	1986	---	36 000	6-28	0
Härryda	1981	Slangar i torv	5 000	6-16	3
Sveg	1982	---	60 000	0-12	4
Vallentuna	1986	Slangar i bottensediment	1 300 000	5-18	1

Till detta finns ett stort antal ytjordvärmeanläggningar för småhus (15.000-20.000) i landet. Dessutom är större system i drift i bl a Mantorp, Vansbro, Mora, Ö Grevie för gruppcentraler. En sammanfattande värdering av dessa finns i Sundberg, (1987).

Beskrivningen över teknikläget och de byggda projekten med värmelagring i lera, torv och sjösediment kompletteras i det följande av figur 3.1-3.5. Underlaget har hämtats från byggforskningens publikationer och Statens energiverks tidning, Energi i utveckling.

3.4 Ekonomi och potential

Kostnadsbilden för markvärmelager behandlas närmare i Kapitel 5. Som en jämförelse med andra lagringstekniker har en sammanställning gjorts i tabell 3.2 och där framgår att marklagren har bland de lägre kostnaderna (8-12 öre/kWh). Ekonomin är dock starkt beroende av den totala systemlösningen (värmekällor och värmeproduktion, utnyttjade temperaturnivåer, lokala markförhållanden, lagerstorlek m m) varför generella samband inte finns.

Värmelager	m ³ x1000	Temperatur °C	Anläggningskostnad kr/m ³	Spec inv kostnad kr/kWh	Omsättn per år	Kapitalkostnad öre/kWh
Ståltank	20	100-50	400	6,9	1,5	40
Grop i jord	20	80-20	350	5,0	1,5	33
Bergrum	300	100-50	150	2,6	1,5	17
Lager i lera	100	16-2	15	1,2	1,0	12
Borrhål i berg	600	100-50	30	1,0	1,2	8
Akvifer i jord	1000	16-2	5	0,5	1,0	5

Kostnader för olika säsongsvärmelager. Målsättningen att kunna bygga lagren för en specifik investeringskostnad av 1-2 kr/kWh har till vissa delar uppnåtts. Kapitalkostnaderna varierar mellan 5 och 30 öre/kWh, beräknat med 6% ränta och 20 års amortering. Främst bör gropmagasinen göras billigare och kostnaderna generellt sänkas för de flesta lagertyperna med ca 30%.

Tab 3.2 Data och kostnader för värmelager
(Från tidskriften Byggforskningen 3:1987)

Lagren är dyra att bygga och får därmed höga kapitalkostnader som ska kompenseras av lägre driftkostnader i det totala värmesystemet. Om lagren används med många energi omsättningar per år (korttidslager) minskar kostnaderna per energienhet betydligt. De lönsammaste tillämpningarna synes nu vara:

- lagring av naturvärme/kyla och spillvärme i akviferer
- korttidslager i ståltankar och ev i gropvärmelager från värmeproduktion
- spillvärme (industri och sopor) i borrhålslager
- sol/luftvärme i jordlager.

Potentialen för att använda lager styrs av de systemmässiga kopplingarna till värmekällor och värmeproduktion samt lönsamheten. Tillämpningen måste ske i större system som gruppcentraler och fjärrvärme. Av Sveriges värmebehov på ca 130 TWh kan 10-15 TWh täckas av system med energilager. Ett storskaligt införande av solvärme kan dock höja andelen till det dubbla.

Värmepumpar och solvärme har i olika former haft införandestöd på 15-50% under vissa perioder. Liknande ekonomiskt stöd för lagringssystemen skulle bidra till en större marknad med prissänkningar och ytterligare utveckling som följd. Lager kan också medverka vid konverteringen från elbaserade värmesystem. Med värmelagring kan primärproduktionen av värme minska, göras effektivare och därmed bidra till en bättre miljö.

Marknadsläget är för närvarande (1987) sådant att de låga oljepriserna tillfälligt har dämpat intresset för värmepumpar och därmed också många av tillämpningarna för lågtemperaturlager. Många projekt är förberedda med projekteringar och utredningar men ekonomin måste bli bättre genom lägre lagringskostnader (ca 20%), alternativt/och oljeprishöjningar med minst 20%.

3.5 Markvärmetekniken i ett internationellt perspektiv

Den svenska energiforskningen har lett till att svensk "know how" och produktutveckling inom markvärmeområdet i många avseenden har ett försprång till utlandet. Detta kan ge exportmöjligheter för svensk industri, såväl konsulttjänster, anläggningskunnande som processutrustning. En speciellt intressant exportmöjlighet kan vara totala systemlösningar där konsulter, tillverkare och entreprenörer tillsammans erbjuder kompletta anläggningar.

Värme lagras under asfaldidrottsplan

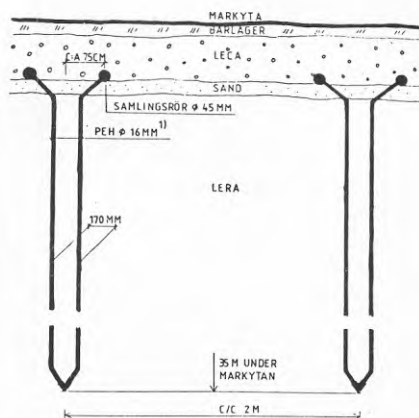
De 800 eleverna vid Lindälvsksolan i Kungsbacka får sin värme från ett lerlagerssystem med rör ända ner till 35 meter i marken.

KUNGSBACKA (värmelager i lera 87 000 m³)

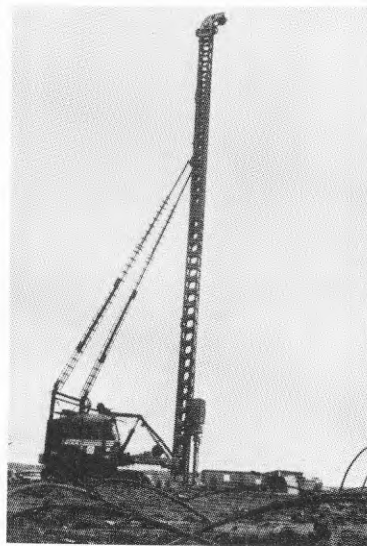
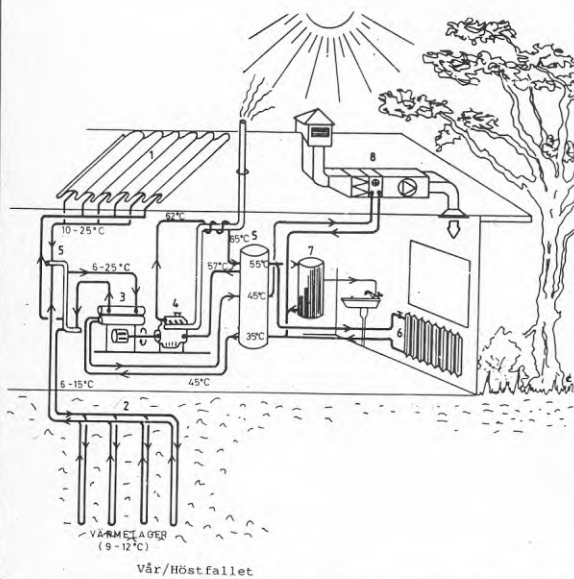
Data

Markslag	Lera (1,0 kWh/m ³ , °C)
Lagringsvolym	87 000 m ³
Lagringsareal	38x65 m (täckt med 30 cm leca-isolering och asfalt)
Antal håll	600
Hålavstånd	2 m
Håldjup	35 m
Cirkulationssystem	U-rör, HDPE 40 mm
Total ledningslängd	42 000 m
Vätska	25% kalciumkloridlösning
Temperatur	8° - 15°C
Värmepump	4x200 kW (diesel)
Idrifttagning	1981

PRINCIPSEKTION MARKACKUMULATOR

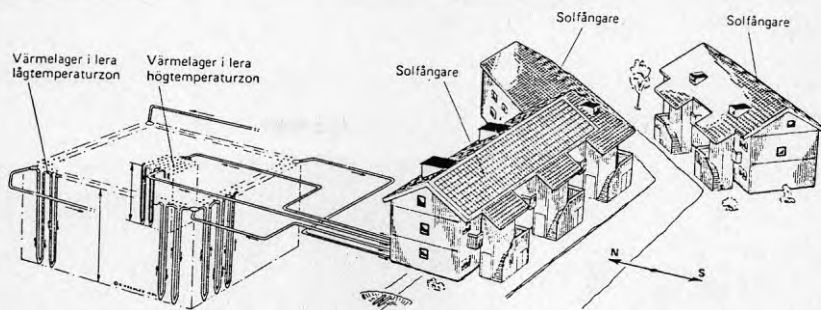


1) TOTAL SLANGLÄNGD 42 000 M



Figur 3.1. Värmelagring i lera med värmepump och solfångare.
Lindälvsksolan i Kungsbacka.

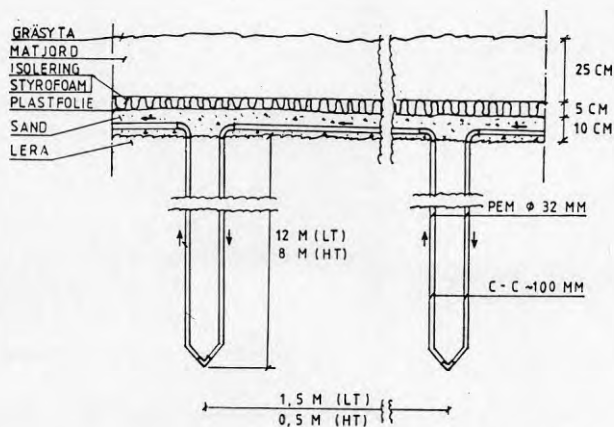
Solenergi i lerlager åt 65 lägenheter



KULLAVIK (värmelager i lera 8 100 m³)

Data

Markslag	Lera
Lagringsvolym	200 + 7 900 m ³
Hålavstånd	0,5 m - 1,5 m
Håldjup	8 och 12 m
Cirkulationssystem	Vertikal U-formad MDPE-ledning, 32 mm
Vätska	Vatten
Temperatur	HT-zon 55 - 30°C LT-zon 25 - 10°C
Värmepump	62 kW, R22
Lagringskapacitet	110 MWh
Idrifttagning	1983

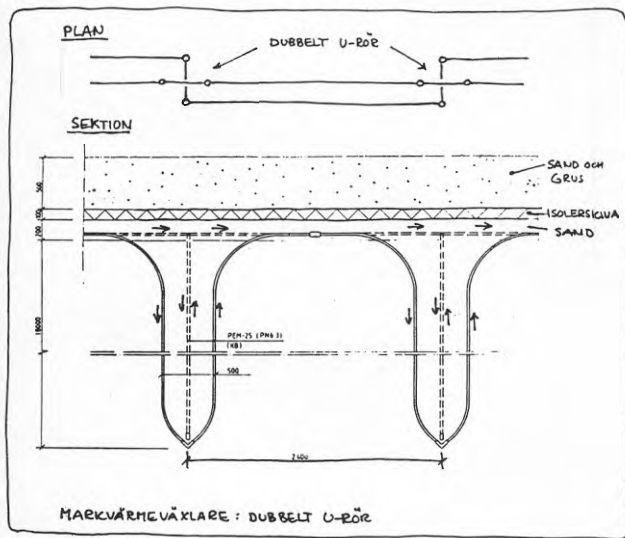
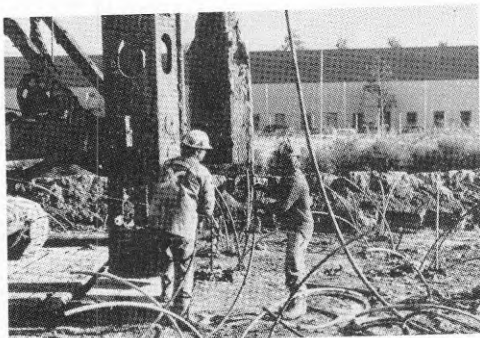
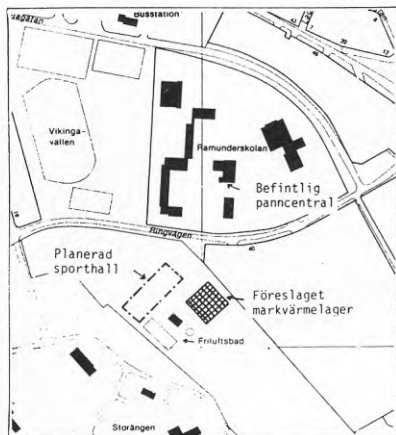


Överbyggnad av ackumulatören och plaströrens inbördes placering.

Figur 3.2. Värmelagring i lera med solvärme och värmepump för bostäder i Kullavik, Kungsbacka.

SÖDERKÖPINGS KOMMUN

VÄRMELAGRING I LERA MED VÄRMEPUMP



TEKNISKA DATA

Värmekälla (uteluftkyllare)

Fabrikat: Fläkt
Köldmedium: CaCl_2 (STAL-BRINE 130)

Värmelager

Typ: marklager i lera
Värmeväxlartyp: dubbla U-rör PEH 25 med skänkelavstånd 0.5m
Volym: 36000m^3 (LxBxH= 55x36x18m)
Temperatursving: $\sim +6^\circ\text{C}$ - $+28^\circ\text{C}$
Värmefforluster: 15-20 %
Uttagen energimängd: ~ 650 MWh/år
Köldmedium: CaCl_2 (STAL-BRINE 130)

Värmepump

Fabrikat: VRP55E
Kompressortyp: Öppen skruvkompressor
Köldmedium: R-12
Motor: el

Täckningsgrad

Oljebesparing: ~ 240 m³
Andel av totalt effektbehov: $\sim 30\%$
Andel av totalt energibehov: $\sim 60\%$

Figur 3.3. Värmelagring i lera med värmepump för skola och sporthall i Söderköping.

Torvmosse värmelager åt skola

I en torvmosse i Härryda ligger ett värmelager bestående av 125 m horisontellt placerade U-rör, i fyra våningar.

Man lade rören i fyra etage för att temperaturskillnaderna mellan brinesystemet och marken skulle kunna utnyttjas effektivt.

Lagret med värmepump levererar värme till en skola. Yta: 7 100 m². Vid den del av markackumulatorn som är närmast skolan, har rören kopplats i hop i en samlingslåda.

Man räknade med att, i de sämsta driftfallet, d v s i februari skulle det gå att hämta hem 145 kWh från ackumulatorn.

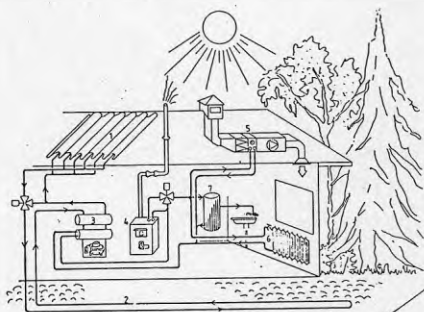
Skolan brann ner efter två års drift, i maj 1984. Den har nu byggts upp och värmelagringssystemet har åter börjat användas. Under de två första driftåren kunde man dock konstatera att temperaturen sjönk

under de beräknade värdena. Miss-tankar finns om att större delen av värmen förlorats i konvektionsströmmar i toven, upp mot markytan.

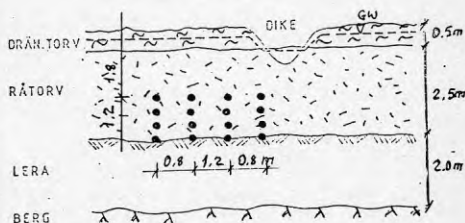
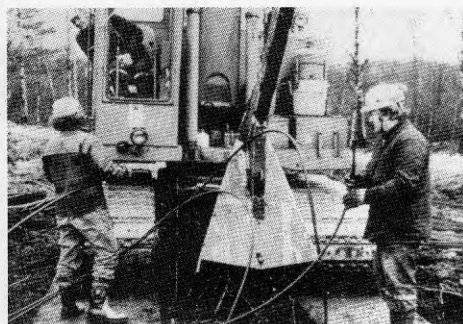
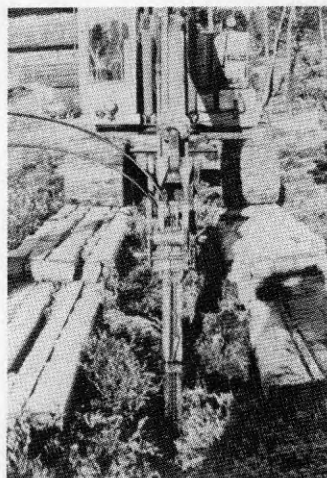
Källa: Slutrapporten "Värmelager i mark, teknikläge och Fou-behov" från BFRs referensgrupp.

HÄRRYDA (lager i torv 5 000 m³)

Data	
Markslag	Torv, vatteninnehåll 92%
Lagringsareal	4 800 m ²
Lagringsdjup	ca 3 m
Cirkulationssystem	LDPE, 20 mm ø
Effektiv rörlängd	19 200 m
Kanalavstånd	horisontellt 0,75–1,25 m vertikalt 0,4 m
Vätska	Glykollösning
Temperatur planerad	16–6°C
Värmepump	200 kW, R22
Lagringskapacitet	110 MWh
Idrifttagning	1981



- 1: Lågtemperatursolfångare
- 2: Marklager
- 3: Eldriven värmepump
- 4: Oljepanna
- 5: Ventilationsaggregat
- 6: Radiatorer

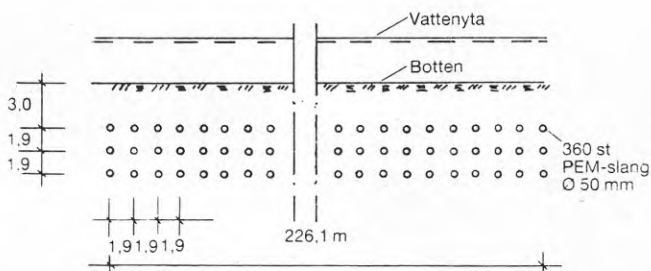
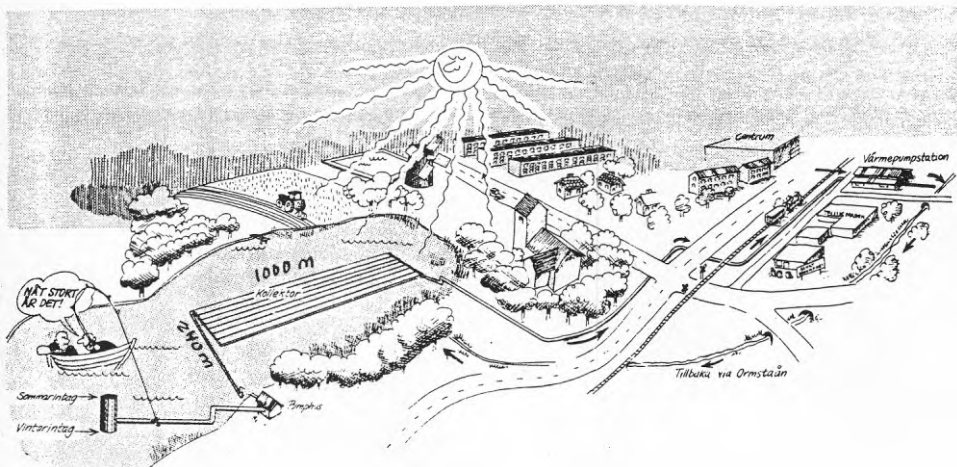


Figur 3.4. Värmelager i torv för bostäder i Härryda.

Vallentunas sjövärmes minskar¹⁸ oljebehov och utsläpp

I Vallentuna kommun norr om Stockholm har ett nytt värmesystem tagits i drift. 36 mil PEM-slangar, nedplöjda i Vallentunasjöns sediment, fungerar som kollektorer i en sedimentvolym på 1,3 miljoner kubikmeter lera. Sjövattnet pumpas genom lagret och uppvärms 5-15°C före energiuttag i en ny värmepumpsanläggning med strilförångare.

Det nya systemet reducerar kommunens oljebehov med ca 85% vilket motsvarar ca 3 200 m³ olja. Rökgasutsläppen beräknas minska med ca 60 ton svaveloxider och 18 ton kväveoxider.

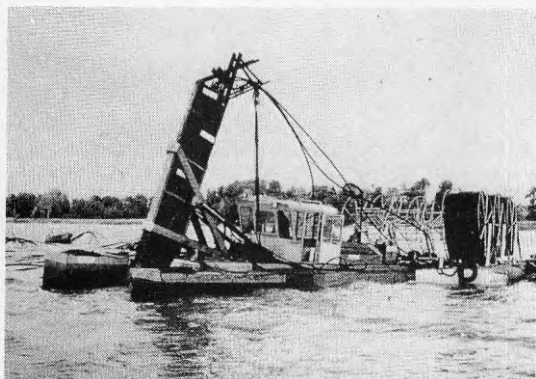


Tvårsnitt av slangkollektor.

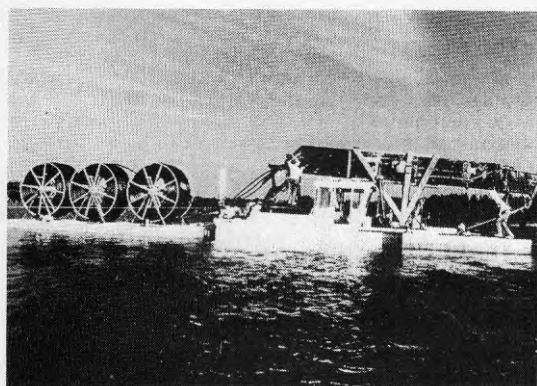
Figur 3.5. Sjövärmepump med värmelager i bottensediment för fjärrvärmesystem i Vallentuna.

Data

Markslag	Bottensediment (gyttja och lera)
Lagringsvolym	1 300 000 m ³
Lagringsyta	240 000 m ²
Total ledningslängd	360 000 m
Ledningsmaterial	PEM, diameter 50 mm
Vätska	sjövatten
Temperatur	5 - 18°C
Värmepump	8,0 MW
Idrifttagning	1986



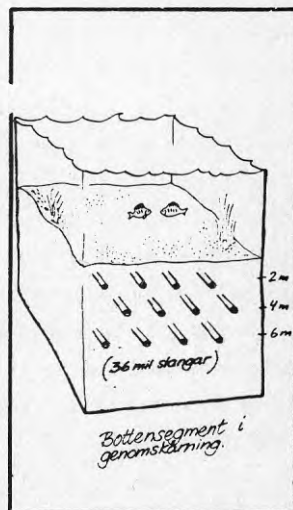
Läggning pågår



Läggningssmaskinen med svärdet i upplyft läge.

Kostnadsfördelning

	Kkr
Värmepumpanläggning inkl byggnad	12.000
Pumpar, ledningar, sjö- vattenintag m m	12.000
Värmelager	4.000
SUMMA	28.000



Figur 3.5. Fortsättning från föregående sida.

4 ANLÄGGNINGSTEKNIK FÖR MARKVÄRMELAGER.

Värmeväxlaren som installeras i marken har till uppgift att överföra energi mellan marken och den värmetransporterande fluiden. Värmeväxlaren skall överföra maximalt med energi till lägsta installationskostnad. För vertikala system utförs värmeväxlaren ofta som ett U-rör. Avståndet mellan U-rörets skänklar är av stor betydelse för dess effektivitet som värmeväxlare. En större värmeväxlareffektivitet medför färre nedstick och färre kopplingar i markytan. För horisontella system är likaså utformningen av markvärmeväxlaren av stor betydelse.

4.1 Metoder för installation av markvärmeväxlare.

4.1.1 Vertikala system

Byggandet av vertikala värmelager i Sverige har uteslutande skett i lera. För de tre större lager som byggts har konventionell pålkran nyttjats. Vid byggandet av värmelager vid Lindälvsskolan i Kungsbacka (1980) och i Kullavik (1983) användes en ihålig rektangulär påle som foderrör. Installationen av plastslangen (värmeväxlaren) i marken med ett cc-avstånd av två meter och med ett skänkelavstånd av 0,1 - 0,2 meter skedde i flera moment. Först drevs pålen ner av pålkran därefter stoppades en u-formad slang ner i pålen och vattenfylldes. Bottenplattan i pålen öppnades därefter med tryckluft och lera strömmade in och höll fast slangen i nederändan varefter pålen drogs upp och slangen fixerades av omslutande lera. Kapaciteten för denna metod uppgår till ca 15 - 20 nedstick om dagen. Metoden är också möjlig att komplettera med sandfyllning kring slang för att åstadkomma ett bättre värmeutbyte mellan slang och mark.

Det senast byggda värmelagret är det vid Ramunderskolan i Söderköping (1987). Här har för första gången dubbla U-rör installerats vid varje

nedstick. Avsikten har varit att förbättra värmeöverföringen och därigenom minska antalet nedstick. U-rören installerades med ett kryssformat foderrör i vilket slangen låg skyddad. Innan nedtryckningen fick därför U-rören stickas in i foderröret underifrån, figur 4.1. I underkant av U-röret najades ett kryssformat neddrivningsskydd fast som även fungerade som ankare för slangen vid uppdragningen av foderröret. U-rörens skänkelavstånd var avsett att bli 0,5 m. Vid mätningar har det dock konstaterats att skänkelavståndet varierar mellan 0,1 och 0,5 med ett snitt på 0,3 - 0,4 m. Detta antas bero på foderrörets utformning i kombination med jordtrycket. Figur 4.2 visar olika varianter av U-rör som värmeväxlare.

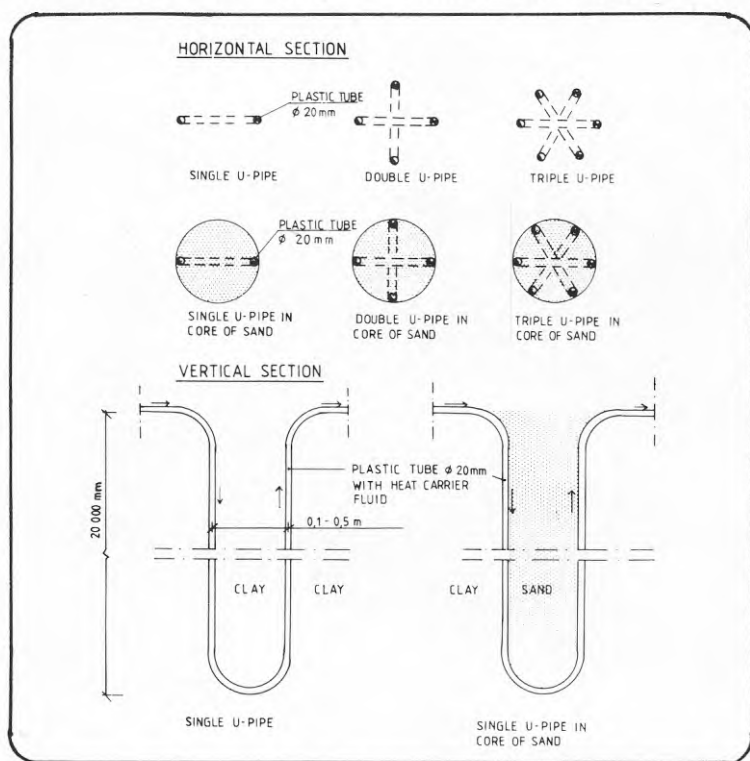


Figur 4.1 Byggande av markvärmelager med dubbla U-rör, Ramunderskolan, Söderköping

Även lättare utrustningar än pålkran har nyttjats. Vid byggandet av det första värmelagret i lera med vertikala rörsystem (Utby, 1977) användes en handdriven kedjematare avsedd för provtagning. Motsvarande

utrustning har också använts i Alingsås för ett par mindre anläggningar. Vid dessa anläggningar användes ej foderrör för att skydda slangen vid neddrivningen.

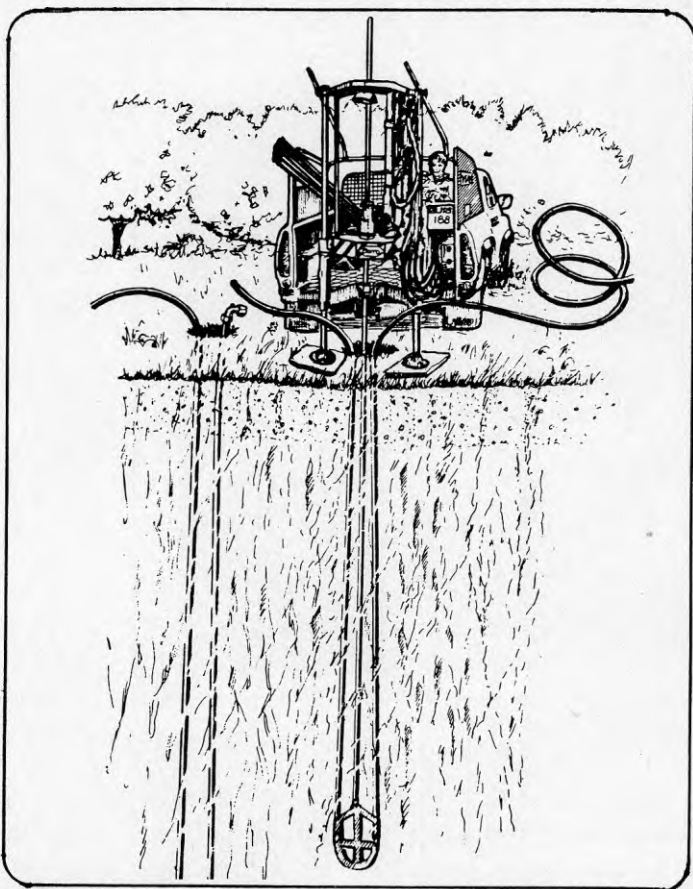
VIAK har utfört försök med neddrivning av vertikala värmeväxlarrör i lera (Engvall, 1986). Försöken utfördes med hjälp av en hydraulisk borrhög av den typ som används vid geotekniska undersökningar, figur 4.3. Arbetet omfattade utveckling av erfoderlig verktyg, test av erfoderlig kraft och möjligt neddrivningsdjup i olika leror samt



Figur 4.2 Markvärmväxlare i form av U-rör,
(Hellström et al, 1985)

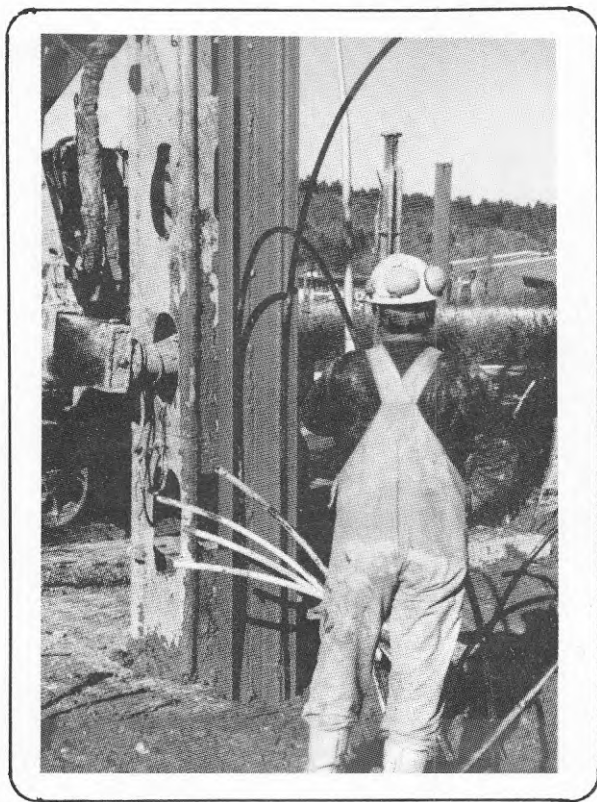
test av kapacitet. Nedtryckningen har skett med borrhög ϕ 32 mm med skarvlängden 2.5 m. Installation av slang (PEM 10, ϕ 32 mm) skedde

samtidigt som neddrivningen med hjälp av en speciell spets med en halvcirkelformad skåra. Skänkelavståndet för U-röret var vid neddrivningen 30 cm. Resultatet från testerna visade att metoden är användbar i lera med en skjuvhållfasthet av max 20 kPa till ett djup av 15-20 m. Vid fastare jord och/eller större djup krävs förankring av borrvaagnen. Kapaciteten uppges till 20 stick till 14 m per arbetsdag för 2 man. Då ingår även tillkapning av slang, förborrning genom torrskorpelera, koppling, vattenfyllning samt provtryckning.



Figur 4.3 Neddrivningsförsök med hjälp av hydraulisk borrarig.
(Engvall 1986)

Avgörande för kapaciteten vid neddrivning av värmväxlare i lera är antalet moment installationen utförs i. Dessa kan reduceras om foderrör ej används och pålkranen eller borrarutrustningen har en tillräckligt hög rigg för att undvika skarvning vid neddrivningen. Avgörande för värmväxlareffektiviteten är främst skänkelavståndet.



Figur 4.4 Neddrivning av enkla U-rör utan foderrör.

Vid neddrivning utan foderrör kan man befara att slangens draghållfasthet överskrids till brott eller plastisk deformation. Försök att driva ner U-rör i lera utan foderrör har utförts vid Geologiska institutionen, CTH (Wilén et al, in paper). Försöken utfördes i anslutning till värmelagret i Söderköping samt vid Sävenäs i Göteborg, figur 4.4. Resultaten tyder på att metoden är användbar i lös lera

ner till 25-30 m:s djup. I leror med större inslag av sand eller siltskikt (Söderköping), där neddrivningslansen ej sjunker av lansens och pålhammarens tyngd, är det viktigt att neddrivningen görs med försiktiga slag och töjningsmätning utförs med jämna mellanrum. I sådan lera är det också troligt att neddrivningsdjupet får begränsas till 15-20 m.

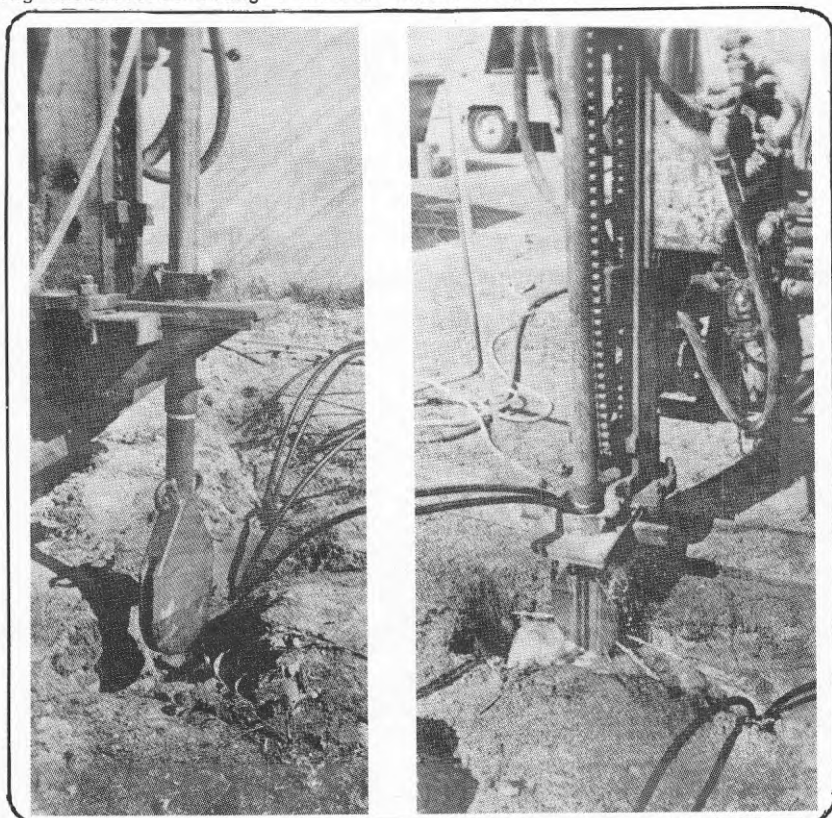
Masthöjden på konventionella pålkranar möjliggör installation av värmväxlarlängder mellan 15 och 21 m utan skarvning. Större längder kan nyttjas efter modifieringar. Kedjematade utrustningar, speciellt avpassade för dränstickdrivning, finns med mastlängder om 12 resp 30 m (Linden-Alimak). Dessa är avpassade för montage på baklastare, grävmaskin och pålkran. Hydraulisk borrhög avsedd för geotekniska undersökningar bör vara den minsta maskinutrustning som kan komma ifråga. Metoden kräver dock skarvning av borrhögder på ca 2.5 m.

Avståndet mellan U-rörets skänklar är av stor betydelse för dess effektivitet som värmväxlare. En större värmväxlareffektivitet medför färre nedstick och färre kopplingar i markytan. Erforderlig kraft är beroende av spetsmotstånd och friktion/kohesion som i sin tur är en funktion av neddrivningsrörets tvärsnittsarea och mantelyta. Utformningen av neddrivningsröret är därför av stor betydelse.

Företaget Akva-Terra i Örebro håller på att utveckla en principiellt annan metod som innebär att plaströr roteras ner i marken med hjälp av en speciellt utformad borrhög. Metodens fördelar kan sammanfattas i stor värmväxlare yta per stick, relativt få kopplingar i markytan samt lägre neddrivningskraft. Teknikutveckling krävs för att utveckla en prototyp och därefter en färdig produkt.

Värmelager i silt och sand har inte byggts i Sverige. I Holland är ett större lager i sand byggt. Där nyttjades en kraftig utrustning för kombinerad vibrering, tryck och spolning av en neddrivningslans till ca 20 m djup. Värmväxlaren installerades samtidigt som neddrivningen. Slangen skyddades vid neddrivningen av en skyddssko vid

spetsen av lansen. Skänkelavståndet blev i praktiken ca 30 cm vilket skall jämföras med avståndet 50 cm vid skyddsskon I USA finns lätt utrustning utprovad för borring av vertikala hål avsedda för värmewäxlare. Övre delen av borrhålet infodras varefter borring sker med högviskös borrhväska som motverkar att hålet kollapsar. Efter borring installeras slang i form av ett U i hålen.



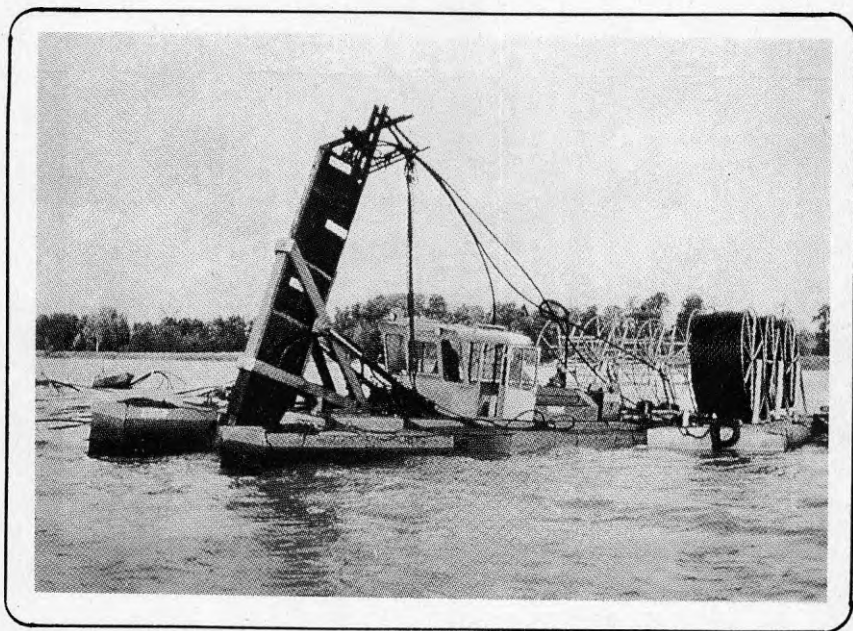
Figur 4.5 Neddrivningsförsök med vattenspolning i sand/silt.
(Rhen, Wilén 1984)

Vid Geologiska institutionen, CTH, har försök utförts att installera vertikala värmewäxlare i sand (Rhen och Wilén, 1984). Neddrivningen av lansen utfördes med hjälp av vibrering och spolning. På grund av för liten utrustning lyckades det inte att driva slangen djupare än 3

m under markytan. Innan stopp inträdde var dock neddrivningshastigheten relativt god. Med kraftigare borrhigg, annat drivningsdon samt större vibrator och vattentryck anser Wilén och Rhen att rörsystem bör kunna installeras i sand och silt, figur 4.5.

4.1.2 Horisontella system

I Sverige har ett fåtal värmelager med horisontella slangsystem byggts och projekterats. Anläggningar finns byggda i t ex Härryda och Brunflo. Det horisontellt förlagda värmelagret kan sägas vara en utveckling av det konventionella ytjordvärmesystemet. Flera stora skillnader finns dock varav de viktigaste är att slangar läggs i flera nivåer varför marken belastas med ett mycket högt värmeuttag samt att något system för återställning av ursprunglig marktemperatur krävs.



Figur 4.6 Slangläggning i Vallentunasjön

Lagren har förlagts till torv eftersom det i en sådan geologisk formation är relativt lätt att installera värmeväxlingslang. Annat nyttjande av torvmark är också starkt begränsad. Den metod som vanligen används är plöjning med en specialtillverkad plog som samtidigt installerar slangerna på flera nivåer.

Ur värmeteknisk synpunkt kan det vara fördelaktigt att förlägga kolektorn i jordarter som lera och sand vilket för övrigt är mer frekvent förekommande än torv i närheten av bebyggelse. För att installation av slang skall kunna ske med hög kapacitet även i lera och friktionsmaterial krävs en viss utveckling av de metoder som idag finns tillgängliga för torv. Framförallt måste ett större nedplöjningsmotstånd övervinnas.

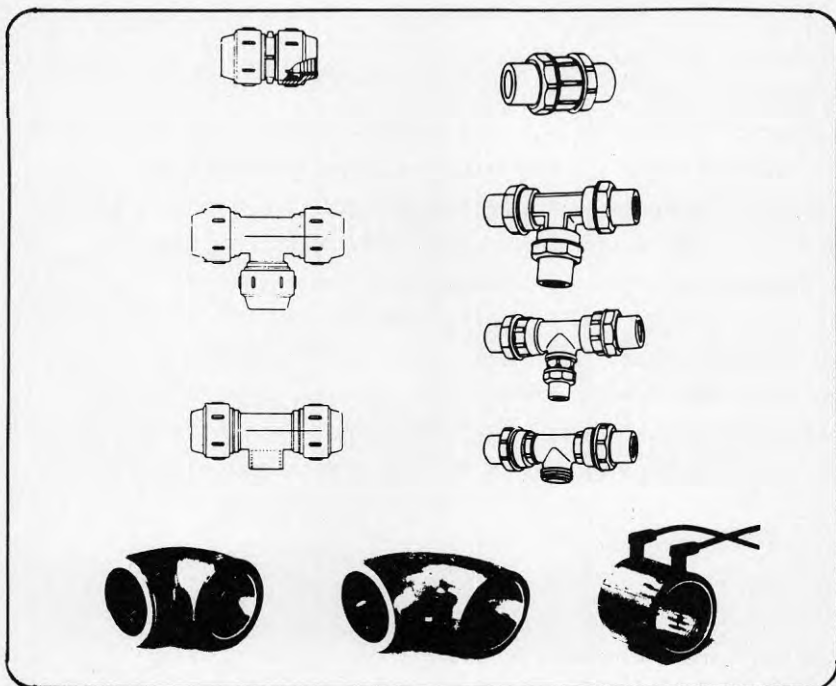
En speciell form av värmelager med horisontella rörsystem är det stora Vallentunalagret, figur 4.6. Där leds sommarvarmt ytvatten genom slangsystem i bottensedimenten varvid värmen lagras i dessa. På vintern värms sedan det kalla sjövattnet upp och är då en mycket god värmekälla för värmepumpen.

4.2 Markvärmväxlare

Värmväxlaren som installeras i marken har till uppgift att överföra energi mellan marken och den värmetransporterande fluiden. Värmväxlaren skall överföra maximalt med energi till lägsta installationskostnad. Huvudsakligen används polyetenslang som förenar god flexibilitet och lågt pris med temperatur och kemikalieresistans (PEM, PEH). Till dess negativa sidor hör låg värmeledningsförmåga, 0.35-0.5 W/mC (PEL-PEH).

Möjlighet finns också att använda plattor eller rör av metall som värmväxlare. Kopparrör används i viss utsträckning vid sk direktförångning från mark i små anläggningar. Fördelen med kopparrör är

dess höga värmeledningsförmåga. Om värmväxlare av t ex koppar kan göras till ett konkurrenskraftigt pris samtidigt som installationsmetoderna utvecklas, kan detta i framtiden bli ett realistiskt alternativ.



Figur 4.7 Rördelar och kopplingar

För både horisontella och vertikala system gäller att ett stort antal sammanfogningar av värmväxlarslang och samlingsledningar måste utföras. Antalet sammanfogningar per enhet lagervolym är en funktion av värmväxlarens utformning och om serie- eller parallellkoppling utförs. Antalet meter värmväxlare i serie begränsas av tryckfallet. Stora krav ställs på sammanfogning av rör i en markvärmearläggning. Antalet kopplingar är stort och dessa skall klara ev markrörelser utan läckage. Ett läckage kan innebära stora kostnader för att lokalisera och åtgärda skadan. Mekaniska kopplingar av plast eller mässing och svetskopplingar finns att tillgå på marknaden, figur 4.7.

Av dessa bör svetskopplingen vara den säkraste eftersom den innebär en sammansmältning av slangen vid skarvstället. Svetsning bör därför framförallt användas vid sådana fall där kopplingarna ej är lätt åtkomliga.

4.2.1 Vertikala system

För vertikala värmelagersystem är U-rörens effektivitet som värmeväxlare beroende av markens termiska egenskaper, avståndet mellan U-rörens skänklar, avståndet mellan värmeväxlarna, rörmaterial och rördiameter samt antalet U-rör per värmeväxlare.

Göran Hellström vid Matematisk fysik, Lunds tekniska högskola, har utvecklat en beräkningsmetod som möjliggör jämförelse mellan olika typer av värmeväxlare. Metoden gäller för effektpulser av längre varaktighet. Den grundläggande formeln för analys av sådana effektpulser är:

$$T_f - T_m = q * m_{sf}$$

där m_{sf} är det totala värmemotståndet, q är effekt per m värmeväxlare och temperaturen i fluid och mark representeras av T_f resp T_m . Det totala värmemotståndet består av flera delmotstånd. En volymetrisk värmeövergångskoefficient, α_v , införs som ett mått på värmeväxlarens prestanda där varje värmeväxlare tillskrivs en markareal, A_p .

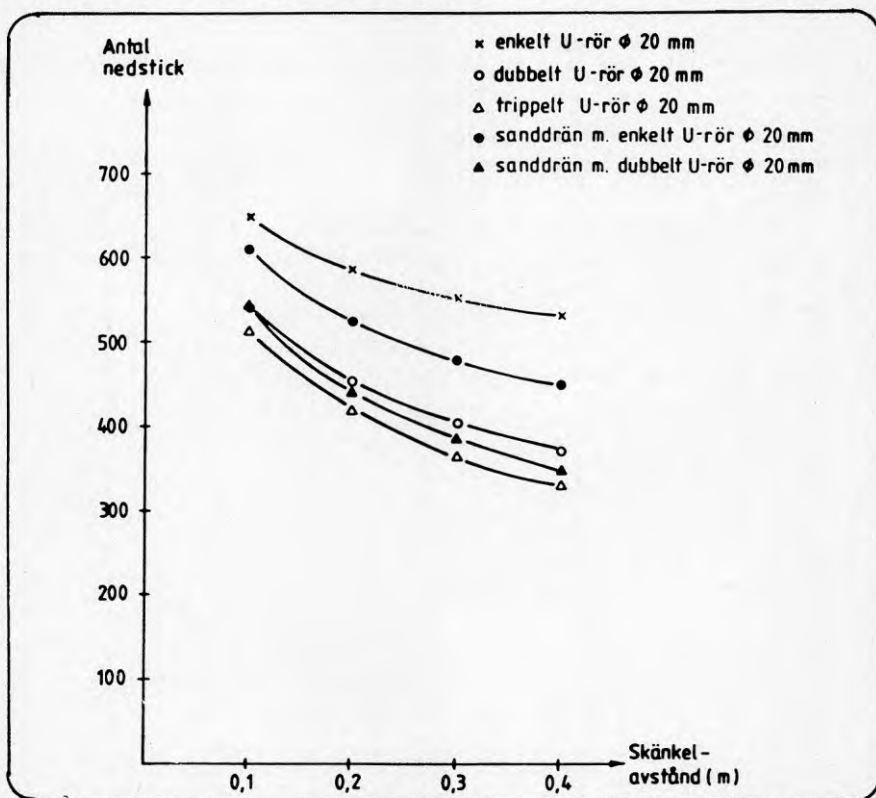
$$\alpha_v = 1/(m_{sf} * A_p)$$

eller

$$q_v = \alpha_v * (T_m - T_{sf}) \text{ där } q_v = q/A_p$$

Vid ett α_v - värde på 0.5 W/m³,K har Wilen och Rhen, 1986, i

diagramform redovisat Hellströms beräkningar. I figur 4.8 redovisas antal nedstick för ett lager med 2500 m² överyta som funktion av skänkelavstånd vid olika värmväxlare. Som framgår av figuren planar

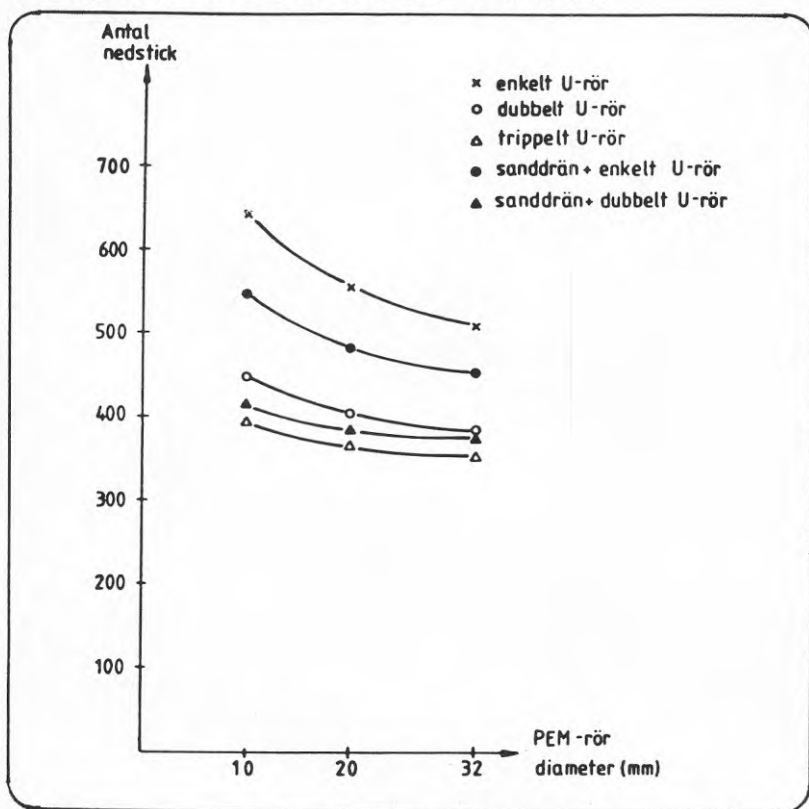


Figur 4.8 Antal nedstick vid olika skänkelavstånd för några olika typer av värmväxlare. Lagerstorlek=40000 m³. (Wilén, Rhen, 1986).

kurvorna succesivt ut vid ökat skänkelavstånd. Vinsten att öka skänkelavståndet från 0.3 till 0.4 m är därför betydligt mindre än att öka från 0.1 till 0.2 m. Dubbla U-rör har en betydligt bättre funktion än enkla U-rör. Antalet nedstick reduceras med ca 25-30%. Förbättringen vid ett trippelt U-rör är betydligt mindre. Sanddrän medför endast en marginell förbättring utom vid enkla U-rör. Sanddrän med enkelt U-rör är dock fortfarande betydligt sämre än dubbelt

U-rör. Vid SGI:s projektering av värmelagret i Söderköping resulterade Hellströms beräkningar i kombination med framtagna kostnader att dubbla U-rör utan sanddrän valdes.

I figur 4.9 redovisas inverkan av slangdiameter. Denna är störst för enkla U-rör. För dubbla och trippla U-rör är inverkan mycket måttlig, speciellt vid diameter större än 20 mm.



Figur 4.9 Antal nedstick vid 0,3 m skänkelavstånd för olika rördimensioner och värmväxlare. Lagerstorlek=40000 m³. (Wilén, Rhen, 1986)

Sammanfattningsvis bör en god värmväxlare för ett vertikalt system i lera i dagsläget väljas som ett dubbelt U-rör, gärna med skänkelav-

stånd större än 0.3 m och slangdiameter större än 20 mm. Korrigering av detta får emellertid göras beroende på temperaturnivåer, effektuttag samt markens termiska egenskaper.

Tabell 4.1 Jämförelse mellan sand/silt och lera som marklager. Marklagret är cylinderformat med volymen 50 000 m³ och djupet 15 m för samtliga beräkningsfall. (Rhen, Wilén 1984).

	lågsta köldbärrar- temperatur från lager år 5			medelköldbärrar- temperatur från lager år 5 (ej viktad)			lagermedeltempe- ratur år 5			värmefaktor q*		
	°C			°C			°C					
Vind- konv. k A (kW/°C)	7	15	30	7	15	30	7	15	30	7	15	30
Lera c/c (m)												
2.0	-2.7	-1.6	-0.6	0.3	2.6	3.8	2.3	5.3	7.0	3.55	3.70	3.80
sand c/c (m)												
2.0	-2.3	-0.7	+0.3	1.5	3.8	5.1	3.1	5.9	7.7	3.58	3.73	3.83
sand c/c (m)												
2.5	-3.0	-2.0	-1.2	0.4	2.3	3.4	3.0	5.7	7.2	3.55	3.69	3.78
sand c/c (m)												
3.0	-4.0	-3.2	-2.9	-1.0	0.6	1.3	2.9	5.3	6.5	3.52	3.65	3.74

* Värmefaktorn inberäknar endast energi till kompressorn och gäller för driftfall värmepump-lager. (Årsvärmefaktor för hela systemet inklusive cirkulationspumpar ligger mellan 2.5 och 3.)

Vertikala rörsystem för värmelagring i sand och silt möjliggör frysning av porvattnet i jorden runt värmeväxlaren utan negativa geotekniska konsekvenser. Ett sådant system kan därför utvinna större energimängd per meter värmeväxlare än ett system utan frysning. Konsekvenserna av detta tillsammans med den högre värmeledningsförmågan för sand/silt jämfört med lera möjliggör ett större cc-avstånd mellan värmeväxlare utan försämrade köldbärartemperatur. Tabell 4.1 redovisar

resultat från simuleringar där jämförelse mellan sand och lera utförts för olika cc-avstånd och vindkonvektorytor. Observera att vid dessa simuleringar fryses porvattnet även i leran, dock i mindre omfattning. Den bättre funktionen för värmeväxlare i sand är därför främst en konsekvens av den högre värmeledningsförmågan. Av tabell 4.1 framgår att ett cc-avstånd av 2 m i lera ungefär motsvaras av 2.5 m för sand. En värmeväxlare i sand kan därför sägas vara ca 60% effektivare i detta låga temperaturområde än motsvarande i lera.

4.2.2 Horisontella system

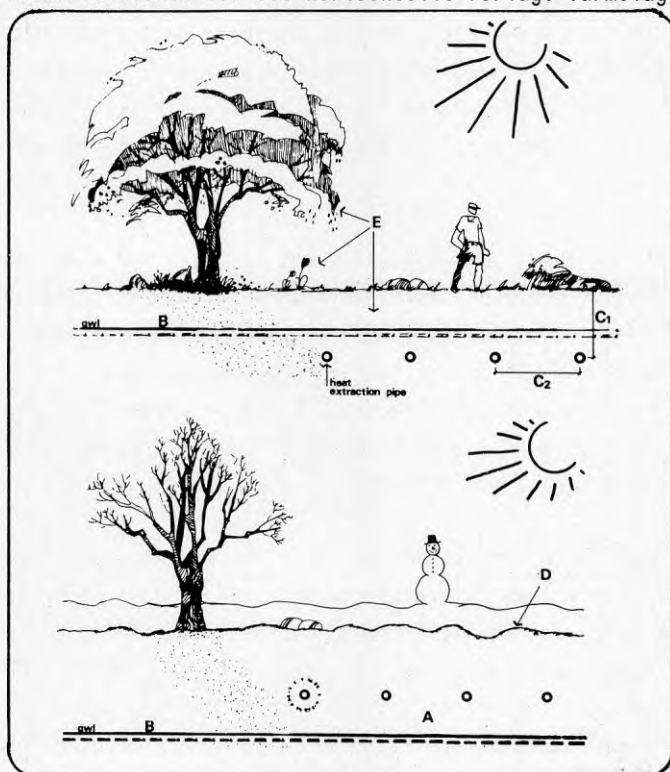
För horisontella lagersystem är läggningsdjupet av slangen begränsat av markens grävbarhet och läggningsmetoden. Avståndet mellan slangarna bestäms främst av jordart och vattenhalt. För att få en uppfattning om storleken på uttagbar värmemängd kan en jämförelse göras med

Tabell 4.2 Schematiskt energiuttag från ytjordvärmekollektorer. Variationerna är att hänföra till olika klimatzoner, förläggningsdjup och cc-avstånd. (Rhen et al, 1986)

Jord	Ung. motsv. Jordart	Min. köldbärartemp. -5°C	
		Toppeffektuttag $\text{kWh/m}^2, \text{år}$	Baseffektuttag $\text{kWh/m}^2, \text{år}$
1	Torv	25-85	60-100
2	Lera	40-80	80-100
5	Torr sand	0-30	15-45
9	Fuktig sand/silt/morän	20-60	50-90
6	Vattenmättad sand	50-100	100->125

konventionella ytjordvärmesystem. Rhen, Sundberg och Modin utförde 1986 värmetekniska dimensioneringsanvisningar för ytjordvärmekollektorer. I tabell 4.2 är resultaten grovt sammanfattade. För ett system i flera nivåer och med temperaturregenerering sommartid bör uttagbara värmemängder kunna fördubblas. Som en jämförelse kan SGI:s dimensionering av ett torrvärmelager i Motala nämnas. Där projekterades värmeuttaget till ca 150 kWh per kvadratmeter och år.

Dimensionerande värmeuttag för ett horisontellt system är normalt mer svårbestämt och komplext på grund av närheten till markytan och att frysning av marken ofta utnyttjas. I figur 4.10 redovisas faktorer som påverkar dimensioneringen av ett ytjordvärmesystem. Dessa faktorer är även relevanta för ett horisontellt förlagt värmelager.



Figur 4.10 Faktorer som påverkar dimensionering av ett ytjordvärmesysteme. (Rhen et al 1986).
 A jordens värmeöverförande egenskaper
 B grundvattenytans läge (påverkar A)
 C kollektorns placering i marken
 D ev. risk för tjälhävning
 E växtlighetens känslighet för nedkylning av marken.

5 KOSTNADER FÖR MARKVÄRMELAGER

5.1 Dagsläge och kostnadskrav

För alla värmepumptillämpningar gäller att hela värmesystemet måste optimeras för att förväntad kostnadsbesparing skall realiseras. Detta gäller speciellt vid värmelagertillämpningar eftersom den ekonomiska insatsen där är högre. Rent generellt måste värmelagringskostnaden minskas för att värmelager i jord skall bli ett konkurrenskraftigt alternativ till befintlig teknik.

Det främsta syftet med att säsongslagra värme är att erhålla en lägre uppvärmningskostnad. En kapitalisering av merkostnaden för värmelagret bör därför kompenseras av lägre driftkostnader. Kostnaden för i Sverige uppförda värmelager med vertikala rörsystem varierar kraftigt. Det finns en klar tendens i tabell 5.1 att kostnaden blir lägre vid ökat lagerdjup och ökad lagerstorlek. Som framgår av tabellen varierar kostnaden mellan 10 och 50 kr/m³.

Orsakerna till den stora variationen är flera. En viktig orsak torde vara den låga frekvensen av värmelagerbyggande. De byggda anläggningarna är att betrakta som rena experimentbyggnadsanläggningar. Kostnaden för ny utrustning och risk belastar därför enstaka objekt. De byggda objekten är dessutom av helt olika storlek och med olika lagerdjup. Kullaviksanläggningen belastas dessutom av extra kostnader för en högtemperaturzon i centrum av lagret. Av erfarenhet kan det också vara svårt att vid stora entreprenader i efterhand få verkliga kostnader hänförliga till rätt del. En uppräknig av kostnaderna med index överensstämmer ej helt alltid med verkligheten på grund av regionala skillnader i kostnadsutvecklingen samt den specifika entreprenörens situation.

Tabell 5.1 Lagervolymer och installationskostnader för några byggda anläggningar. Kostnaden är uppräknad till 1987.

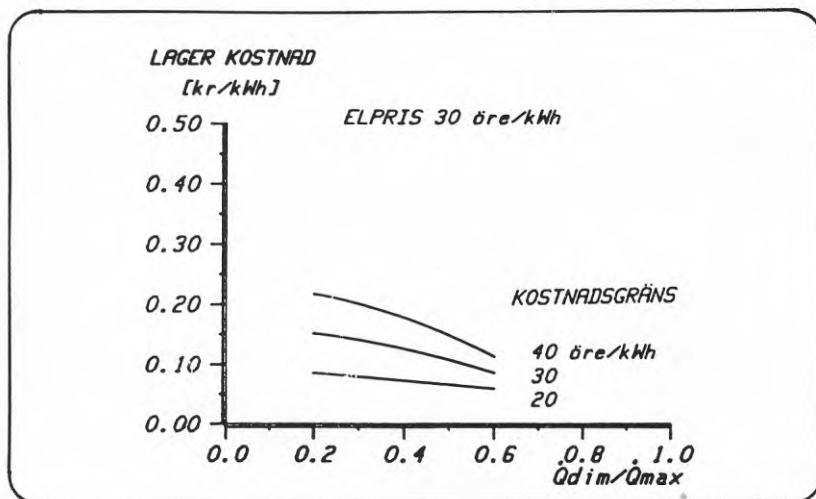
Anläggning	Lagervolym	Lagerkostnad	Specifik lagerkostn.	Djup
	m ³	kkkr	kr/m ³	m
Sun-clay (1980)	87000	820	10	35
Kullavik (1983)	8300	420	51	12
Söderköping(1987)	36000	1700	47	18

BFR:s Program- och utvecklingsgrupp för lager (PUL) har studerat kostnader för värmelager. Anläggningskostnaden för värmelager i lätt-penetrerbar jord uppges till 8-12 kr/m³ för ett lager med volymen 100000 m³.

Ett sätt att värdera nyttan av ett värmelager är att se värmelagrets ekonomiska utrymme jämfört med motsvarande värmeanläggning utan värmelager. I Abel et al, (1986), är sådana jämförelser utförda. För ett lågtemperaturlager med vertikala rör som laddas med värme från uteluft bör en uteluftvärmepump vara en relevant jämförelse. Lagret antas ha ett temperatursving på 10⁰ C (5-15⁰ C) och kapitaliseringen av dess investeringskostnad beräknas utifrån 6% realränta och 30 års avskrivning (annuitet=0.073). Kompressorns drivenergi antas kosta 30 öre/kWh. Lagerstrategin är den att värme tas från uteluften så länge lufttemperaturen är högre än marklagrets temperatur. Övrig tid tas värme från markvärmelagret, se figur 2.1.

I figur 5.1 är olika gränskostnader uppritade som funktion av lagerkostnad per uttagen kWh och år och av värmepumpens effekttäckningsgrad. Med gränskostnad menas kostnad för den ersatta energin, t ex olja. En förutsättning för diagrammet är dock att den totala energi-

kostnaden ej överstiger gränskostnaden. Om PUL-gruppens och de byggda objektens lagerkostnad i tabell 5.1 räknas om till kr/kWh erhålls tabell 5.2.



Figur 5.1 Tillåten lagerkostnad per uttagen kWh och vid olika kostnadsgränser för ersättningsenergin och olika effekt täckningsgrader. (Abel et al, 1986).

Tabell 5.2 Specifik lagerkostnad Lerans värmekapacitet är antagen till $1 \text{ kWh/m}^3, \text{K}$. Temperatursvinget är för jämförelsens skull satt till 10°C . Verkligt temperatursving kan vara annat. Annuitet = 0.073.

PUL-gruppen	0.06-0.09	kr/kWh
Sun-clay	0.07	---
Kullavik	0.37	---
Söderköping	0.34*	---

* Med det verkliga temperatursvinget 22°C erhålls en lagerkostnad av 0.15 kr/kWh.

Anm.: I kostnaderna för de byggda anläggningarna ingår prototyp- och utvecklingskostnad dock ej kostnad för ev tillkommande VVS.

Om siffrorna i tabell 5.2 jämförs med figur 5.1 framgår att lagertekniken i flera fall är konkurrenskraftig vid gränskostnaden 30 öre per kWh. Lagerkostnaden i tabell 5.2 för de byggda lagren inkluderar emellertid ej eventuell merkostnad för övrig VVS jämfört med ett luftvärmepumpsystem. Det bör observeras att de olika lagren i tabell 5.2 för att vara jämförbara nyttjar ett fiktivt temperaturintervall i lagret på 5-15°C. I verkligheten är temperaturintervallen annorlunda i de olika byggda värmelagren. T ex är temperaturdifferensen i Söderköpingslagret 22°C med en lägre kostnad per kWh som följd.

Värmelager med horisontellt förlagda rör i flera nivåer är en relativt ovanlig företeelse och finns endast i några projekt. I Motala har dock SGI projekterat ett större horisontellt värmelager, som ingår i ett system med uteluftvärmepump. Anbud har infordrats men beslut om byggande är i skrivande stund (sept -87) ej taget. Driftstrategin är att uteluften nyttjas tills dess lagertemperaturen överstiger densamma. Därefter tar värmelagret vid. Kostnaderna för värmelagret och till det relaterbara installationer uppgår till ca 8 öre/kWh vid en annuitet på 0.073 enligt föregående. Detta är ungefär en kostnad som ungefär ligger i nivå med vad lagret får kosta vid en gränskostnad av 20-25 öre/kWh för den ersatta energin. Värmelagret i Motala belastas dock av en hög kulvertkostnad som uppgår till ca 20% av totalkostnaden.

Kapitalkostnaden för det stora sedimentvärmelagret i Vallentuna inskränker sig till 3 öre per kWh.

5.2 Utvecklingsmöjligheter - delkostnader

De mest intressanta utvecklingslinjerna för installation av vertikala värmeväxlare är den metod med dubbla U-rör som använts av BPA vid värmelagret i Söderköping, en metod med direktinstallation av värme-

växlarna vid neddrivningen samt den metod att rotera ner värmeväxlarna som föreslagits av Akva-Terra. Metoderna finns beskrivna i kapitel 4.

Wilén, et al, (in paper), har beräknat kostnaderna för ett lågtemperaturlager med de två förstnämnda neddrivningsmetoderna. Lagrets volym har satts till 50000 m³ med ett djup av 20 m. Beräkningen har utförts med för $\alpha_V = 0.5 \text{ W/m}^3, \text{K}$. (α_V -värdet definieras i kapitel 4.) Skillnaden i kostnad för serie- eller parallellkoppling ligger inom felmarginalen. Av tabell 5.3 framgår att en stor andel av kostnaden är att hänföra till arbeten i markytan. Lagerkostnaden blir därför starkt beroende av lagrets djup.

Tabell 5.3 Beräknade delkostnader inkl 10% administrationspåslag för ett seriekopplat lågtemperaturlager i lera. $\alpha_V = 0.5 \text{ W/m}^3, \text{K}$. Skänkelavståndet är 0.35 m och 0.45m för enkla resp dubbla U-rör. Volym=50000 m³. Djup=20m. (Modifierat efter Wilén et al, in paper)

Delarbete	Enkelt U-rör	Dubbelt U-rör
Rördrivning inkl U-rör	22%	35%
Kopplingsarbete	13%	14%
Fördelnings- och samlingsledningar samt kopplingsblock	27%	21%
Schaktning, återställning	38%	30%
Totalkostnad	510 kkr	640 kkr
Kostnad per m ³ lager	10.2 kr	12.8 kr

Delkostnaderna för det projekterade värmelagret i Motala med horisontella slingor kan uppskattas enligt följande:

Slangläggning inkl slang	33%
Samlingsledn., koppl., block, köldbärarvätska	33%
Kulvert mellan lager och värmepump	22%
Del i övrig VVS	12%

Som synes har kulverten en stor andel av kostnaderna som i det här fallet beror på ett relativt stort avstånd mellan värmelager och värmecentral. Det specifika för värmelagret i Motala är också att det är förlagt i torv. Kostnaden för värmelager med horisontella rörsystem i andra jordarter än torv är ej helt klarlagt.

Sammanfattningsvis kan sägas att den möjliga kostnaden för värmelager efter viss teknisk utveckling ligger i nivå med eller underskrider den högsta kostnad som i dagsläget kan tillåtas för att värmelager skall vara kommersiellt intressanta. Arbetet för vertikala lager skall inriktas på metoder som även minskar arbetet i markytan eftersom dessa arbeten svarar för ca 65-80% av totalkostnad.

6 UTVECKLINGSBEHOV

6.1 Allmänt

Tekniken för att lagra energi är känd och i huvudsak utvecklad men de totala systemkostnaderna är fortfarande för höga. Forskningsinsatser behövs också för att erhålla lägre byggkostnader och utveckla både material och specialmaskiner för att bygga markvärmelager. Teorierna får anses väl belagda och utvecklade för markvärmelagren.

Flera fullskaleprojekt med de bästa koncepten bör byggas för att uppnå en utvecklingsvolym och höja kompetensnivån hos entreprenörer, forskare och konsulter. Ett införandestöd liknande det som förekommit till värmepumpar och solvärme är angeläget.

Forskning och utveckling bör de närmaste åren inriktas mot:

- att sänka kostnaderna för lagren med 20-40%
- att finna nya och enkla systemtillämpningar
- att dubbelutnyttja lager för värme och kyla
- att fortsätta utvärderingen av byggda projekt
- att uppföra ytterligare fullskaleanläggningar
- att studera införandehinder
- att stödja grundläggande forskning
- att testa olika jordlager för höga och låga temperaturer (+60° till -0° frysning)

Insatserna måste också styras direkt utifrån de tillämpningsområden som är aktuella och mest lovande (se kapitel 2.3). De största potentiella volymerna för lagring i jord finns inom värmeproduktion baserad på gruppcentralteknik och byggnadsegna större system med värmepumpar.

6.2 Markvärmelager

I ett antal fullskaleprojekt har under åren 1981-86 visats att det är möjligt att lagra värme direkt i marken. Anläggningarna och lagren har i stort fungerat bra. De är dock byggda som "styckeprojekt" med teknik, material och maskiner som används i annat markbyggande, oftast vid grundläggning/pålning. Ytterligare specialutveckling behövs i alla led och utöver allmänna insatser enligt 6.1 bör följande förhållanden studeras:

- Slangmaterial i plast och metall samt kopplingar för markvärmväxlare.
- Optimering av diameter, skänkelavstånd och antal sk U-rör i de vertikala lagren med avseende på olika jordarter och temperaturer.
- Optimering av lagerdjup m a p maskintyper, värmeförluster etc.
- Utnyttjande av olika jordarter för höga och låga temperaturer (+60° - -0° frysning)
- Specialmaskiner och metoder för byggande av vertikala markvärmelager i lera och sand.
- Specialmaskiner (typ plogar) för att lägga horisontella slangar i lera, torv, sjöbottnar till 3-5 m djup.
- Sk smalslangsteknik för mindre markkolektorer.
- Spiralslångsvärmväxlare i plast eller koppar. Det senare möjliggör direktförångning av freon i marken.
- Isoleringsbehov för olika typer av lager.
- Högre värmeuttag (dvs större nedkylning) i ytjordvärmesystem.
- Metodutveckling av arbeten i markytan (kopplingar, markarbeten) eftersom en stor del av kostnaderna för lager är att hänföra till sådana arbeten.

Kostnadskraven för vertikala lager i lera pekar mot 10-20 kr/m³ (5-10 öre/kWh lagrad energi) medan horisontella lager i torv bör byggas för 5 kr/m³ (5-10 öre/kWh).

7 POTENTIAL OCH MARKNADSINTRESSE FÖR GRUPP-CENTRALER INOM GEOLOGISKT LÄMPLIGA OMRÅDEN

7.1 Bakgrund och syfte

Tekniken med lagring av lågtempererad värme i mark (s k markvärmelager) har provats i ett flertal anläggningar. Den är i dag väl känd men kostnaderna är ännu för höga. Teknisk utveckling inom olika områden kan ge sänkta kostnader, men för att dessa skall komma till stånd krävs att en god marknad finns eller är i sikte.

I detta kapitel redovisas ett försök att översiktligt fastställa potentialen för markvärmelager i anslutning till medelstora panncentraler, s k gruppcentraler. Speciellt har studerats antalet gruppcentraler i de delar av landet där geologiska förutsättningar är goda för markvärmelager i lösare jordarter som lera, sand och torv. Vid potentialbedömningen har också beaktats pågående och planerad fjärrvärmeutbyggnad.

Med gruppcentraler menas i denna undersökning panncentraler som förbrukar mer än 200 m³ Eo per år. (Effekt större än 1 MW). Industriella panncentraler ingår inte.

7.2 Genomförande av inventering

Marknaden för markvärmelager har fastställts genom att beräkna antalet gruppcentraler som finns inom de kommuner vars geologi domineras av lösa jordarter. Hänsyn har då tagits till möjligheten att i dag existerande gruppcentraler delvis ansluts till fjärrvärme.

SGI har inventerat vilka kommuner som i huvudsak har stora områden med lera, silt, sand eller torv. Antalet gruppcentraler i dessa kommuner har sedan uppskattats på basis av källmaterial i avsnitt 7.4. Kommunerna i landet har studerats efter följande indelning:

- A Kommuner med fjärrvärme
- A.1 Med lera/silt/sand
- A.2 Med torv, men inte lera/silt/sand
- A.3 Övriga

- B Kommuner utan fjärrvärme
- B.1 Med lera/silt/sand
- B.2 Med torv, men inte lera/silt/sand
- B.3 Övriga

Antalet kommuner i varje kategori och antalet flerbostadshuslägenheter har beräknats. Genom tidigare studier är det erfarenhetsmässigt känt att i kommuner med fjärrvärme finns i medeltal en gruppcentral per 1.000 flerbostadshuslägenheter. I kommuner utan fjärrvärme är motsvarande siffra en gruppcentral per 400 lägenheter.

I kommuner med fjärrvärme beräknas mellan 30 till 50% av gruppcentralerna komma att anslutas till fjärrvärme i framtiden. Kvarvarande gruppcentraler, i kommuner med goda geologiska förutsättningar, kan bli aktuella för markvärmelager. Till dessa gruppcentraler har lagts de som finns i kommuner utan fjärrvärme och med lämplig geologi.

Även om de geologiska förutsättningarna för markvärmelager är allmänt goda i en kommun, kommer ändå inte alla gruppcentraler att ligga på lämplig mark. Gruppcentraler finns, av uppenbara skäl, i allmänhet i tätorter. Andelen gruppcentraler för markvärme på områden med lösa jordarter kan därför uppskattas genom att undersöka hur många av tätorterna, i de intressanta kommunerna, som har dessa geologiska förutsättningar. Denna metod är mest användbar för lera och siltmarker som oftast har stor utbredning.

Torvmarker uppvisar ett helt annat mönster. Små torvområden kan ligga insprängda i andra marktyper. De återfinns vanligen runt tätorternas bygghus och varierar också mycket vad gäller mäktighet etc. Osäkerheter i bedömningen blir i detta fall större än för lera- och siltområden.

Ett antal gruppcentraler har under de senaste åren konverterats till fastbränsle eller värmepumpar. Andra har anslutits till fjärrvärme eller andra gruppcentraler. Antalet nya, tillkommande gruppcentraler, kan förutsättas vara litet.

Med utgångspunkt från antalet gruppcentraler som finns i dag kan man på detta sätt uppskatta den potential som är tillgänglig för markvärmelager.

I studien har ingen hänsyn tagits till ev juridiska problem kring installation och nyttjande av markvärmelagret.

7.3 Marknadsbedömning

7.31 Antal gruppcentraler contra geologiska förhållanden

Totalt fanns 1983 i Sverige ca 8.000 gruppcentraler i bostads- och lokalsektorn (oljaförbrukning 2 milj m^3 /år, 16 TWh/år). Antalet centraler med en förbrukning överstigande 200 m^3 Eo/år är ca 2.600. I denna siffra ingår icke industriella panncentraler som producerar hetvatten för lokaluppvärmning.

Av dessa har ca 100 st gruppcentraler konverterats till fastbränsle eller värmepump. Ytterligare ca 100 har anslutits till fjärrvärme. Den geografiska fördelningen av dessa avgångar har inte studerats. Totalt finns alltså ca 2.400 gruppcentraler kvar i storleksklassen 1 MW och större.

Av de i dag befintliga gruppcentralerna finns ca 1.600 st i kommuner som bedöms ha goda förutsättningar för markvärmelager i lera, silt, sand. Ytterligare ca 450 st ligger i kommuner med torvtillgångar som kan användas som markvärmelager.

7.32 Anslutningar till fjärrvärme i framtiden

De prognoser som finns angående utbyggnaden av fjärrvärme talar om en värmeleverans av mellan 35 och 45 TWh per år kring år 2000. I dag levererar fjärrvärmeverken totalt 29 TWh. Flerbostadshus och lokaler svarar för nästan hela leveransen. I ökningen fram till år 2000 har nyanslutning av befintliga och nybyggda fastigheter inkluderats. Dessutom har rivning av i dag anslutna fastigheter och energibesparingar räknats in.

Nyanslutning av flerbostadshus och lokaler beräknas motsvara mellan 10 och 20 TWh. Detta motsvarar en ökning av leveranserna på mellan 30 och 70%. En stor, men okänd, del av denna ökning utgörs av gruppcentraler. I denna studie antas bortfallet av gruppcentraler till fjärrvärme till mellan 30 och 50%. Avgången av gruppcentraler till fjärrvärme blir givetvis endast aktuellt i de kommuner som har eller planerar fjärrvärme.

Av det totala antalet gruppcentraler som finns i kommuner med goda geologiska förutsättningar, dvs 1.600 st med lera/silt/sand och 450 med torv finns 1.200 respektive 200 i kommuner med fjärrvärme, dock ännu utanför fjärrvärmeområdet. Av dessa kommer sannolikt mellan 30 och 50% att anslutas till fjärrvärme före år 2000.

7.33 Potential för gruppcentraler med markvärmelager

För att undersöka vilka förutsättningar för markvärmelager som finns på lokal nivå har ett femtiotal gruppcentraler lokaliserats (se kapitel 8). Omgivande mark har sedan studerats med hjälp av geologiska kartor. Trots viss osäkerhet om t ex olika jordlagars mäktighet och hur stora avstånd som kan accepteras mellan värmelager och gruppcentral ger detta en god bild av de lokala förutsättningarna för markvärmelager i lermarker. Osäkerheten är större vad gäller torvmarker och sandområden.

Den geologiska undersökningen visar att mellan 50 och 60% av de inventerade gruppcentralerna i kommuner med stor andel "lösa jordarter" ligger på lera. Mellan 30 och 40% ligger på morän och ca 10% på sand. Statistikunderlaget är visserligen litet men tendensen är rätt klar.

I kommuner med goda förutsättningar för sandlager ligger ca 50% av gruppcentralerna på sand. Ytterligare ca 20% ligger på lermark och resten på morän.

I kommuner med goda förutsättningar för torvlager, men inte för lerlager, ligger troligen ca 40% av gruppcentralerna på torvmark och resten på berg. Urvalet är dock litet.

I figur 7.1 och 7.2 visas antalet gruppcentraler över 200 m³ per år som kan vara aktuella för markvärmelager, efter avgång till fjärrvärme och andelen gruppcentraler med lämpliga geologiska förutsättningar. Figur 7.1 omfattar gruppcentraler i kommuner med lera/silt och figur 7.2 kommuner med torv men inte lera/silt.

Minst 50% av gruppcentralerna i kommuner med goda geologiska förutsättningar för lerlager, bedöms verkligen ligga på ler- eller siltjord. Om 30-50% av dessa gruppcentraler kommer att anslutas till fjärrvärme kan marknadspotentialen för lerlager beräknas till mellan 500 och 700 gruppcentraler. Till detta kan läggas ca 100 gruppcentraler som troligen ligger på lermark, trots att de ligger i kommuner med små lerområden, se figur 7.1. På samma sätt bedöms marknaden för torvlager till ca 200 gruppcentraler.

Någon beräkning av marknaden för sandlager har inte gjorts, men antalet bedöms inte överstiga ytterligare 200-300 gruppcentraler.

Den sammanlagda potentialen för markvärmelager i gruppcentraler kan med ovanstående analys uppskattas till mellan 1.000 och 1.300. I mer än 50% av dessa gruppcentraler är lerlager den aktuella tekniken. Ytterligare bruttopotential för markvärmeteknik finns men har ej studerats. I gruppcentraler är också stora ytjordvärmesystem aktuella, liksom slangsystem i sjöbottnar för värmelagring. För att marknaden för system med markvärmelager skall kunna tas tillvara, krävs dock att denna uppvärmningsform är ekonomiskt bärkraftig.

7.4 Nyttjat källmaterial

A Göransson	BFR R152:1984 Bebyggelsedata för energi- planeringen
S Olsson	BFR D12:1983 Potential for using alternative energy technologies in group central heating systems in Sweden
R Westerlund	BFR R14:1985 Gruppcentraler i bostadssektorn
SCB	"Energistatistik"
BFR	"Energi 85"
Svenska Värmeverks- föreningen	Prognos 85 Statistik 84
SGU	Jordartskartor skala 1:50.000

KOMMUNER MED ÖVERVÄGANDE LERA/SILT (110 ST)

Potential för Gruppcentraler >200 m olja/år
med möjlighet till markvärmelager

ANTAL GC >200 m olja/år

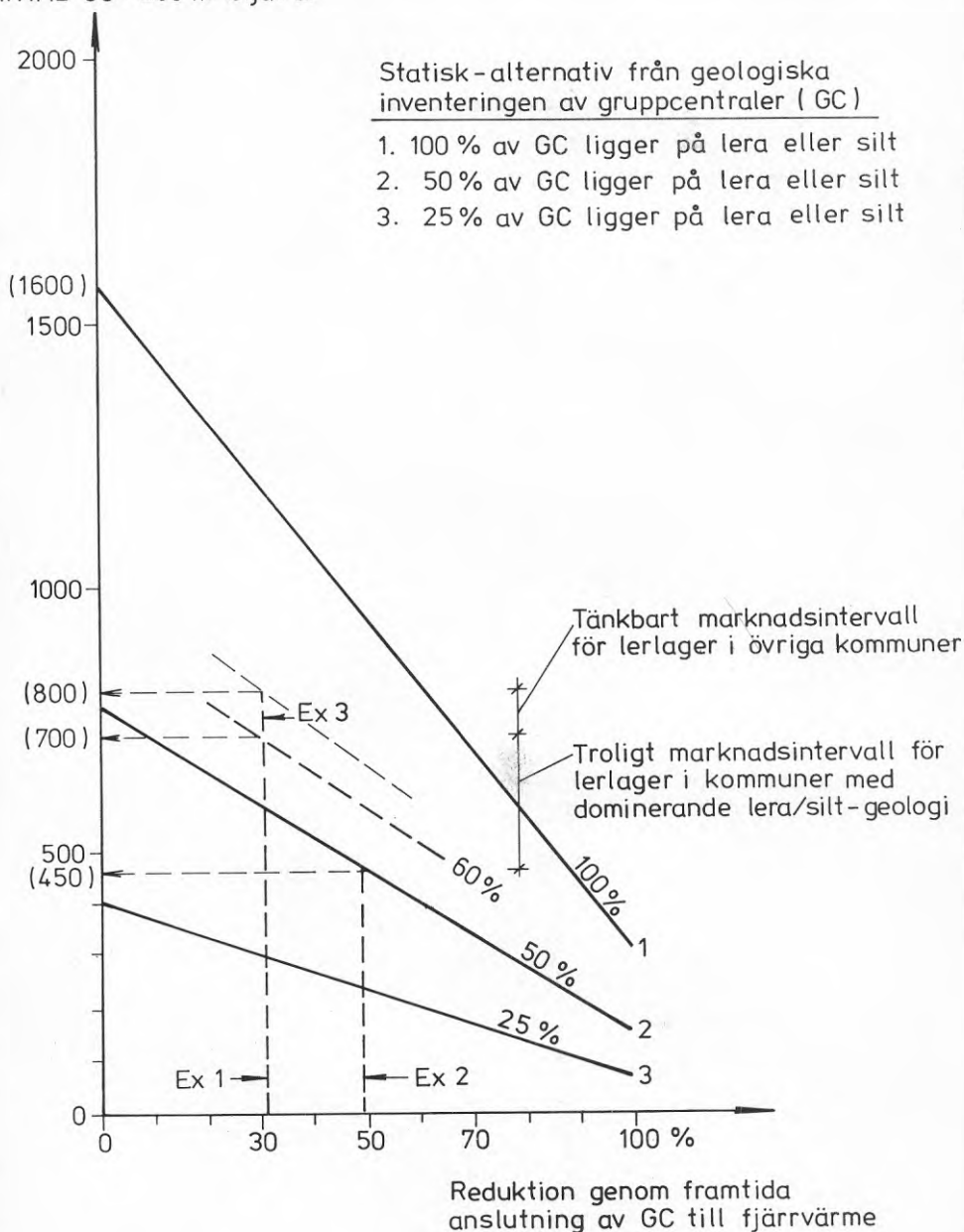


Fig 7.1 Potential för markvärmelager vid gruppcentraler större än 1MW belägna i kommuner med övervägande lera eller silt.

KOMMUNER I TORVMARKSOMRÅDEN (57 ST)
(dock ej lera/silt/sand-geologi)

Potential för Gruppcentraler >200 m³ olja/år
med möjlighet till markvärmelager

Antal GC >200 m³ olja/år

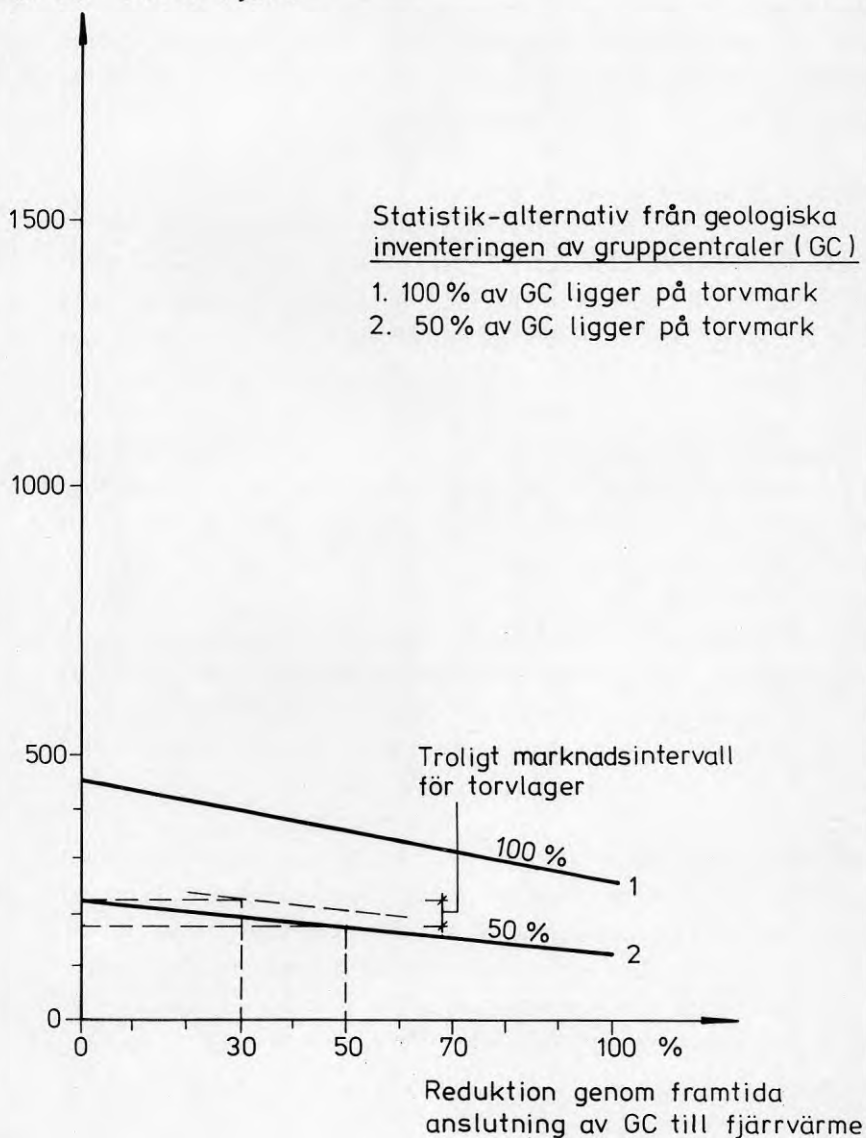


Fig 7.2 Potential för markvärmelager vid gruppcentraler större än 1MW belägna i kommuner med torvmarksområden.

8 INTRESSETER OCH PROJEKT FÖR MARKVÄRMELAGER I GRUPPCENTRALER

Tekniken med markvärmelager har sin största potential för gruppcentraler och enskilda större byggnader. I fjärrvärmesystemen är andra värmekällor och temperaturnivåer aktuella. Tillämpningen där är ännu begränsad till sk satellitlager ute vid undercentralerna med lagring av sommarvärme efter säsongsdifferentierad taxa.

Någon central organisation för ägare till enskilda gruppcentraler finns inte i Sverige. En intressentgrupp för att driva en utveckling med teknikupphandling måste därför identifieras. Man behöver också kunna visa för detta projekts fortsättning att ett tillräckligt antal konkreta objekt finns tillgängliga med olika storlekar, geologi, värmekällor etc.

Idéerna om teknikupphandling har presenterats i en skrivelse som har sänts till ett antal större fastighetsbolag, kommuner och landsting under våren 1986. I en enkät ombads de att svara om de är intresserade av att delta i teknikupphandling.

Alla tillfrågade har sina fastigheter i områden som bedöms som speciellt intressanta från geologisk synpunkt. Anslutning till fjärrvärme är inte heller aktuellt. Totalt tillfrågades 37 kommunala bostadsföretag, 12 kommuner, två landsting samt HSBs och Riksbyggens riksföreningar.

De som är intresserade av att delta har tillsammans 45 gruppcentraler. Minst 50% av dessa bedöms ligga så till att markvärmelager i jord är tekniskt möjligt. De som har svarat att intresse inte finns, har oftast angivit att de inte har några gruppcentraler som är tillräckligt stora. Gränsen har i enkäten satts till ett effektbehov av minst 1 MW, vilket motsvarar en oljeförbrukning på ca 250 m³/år (100-150 lägenheter).

I följande tabeller 8.1 till 8.3 har också medtagits projekt som för-

studerats separat och mer ingående i BFR-utredningar och som kan vara aktuella i ett större projektpaket.

För ett 60-tal olika gruppcentraler har en första geologisk inventering gjorts av markförhållandena. Den har utförts enbart med hjälp av SGUs geologiska kartor och i några fall genom lokalkontakter och lokalkännedom. Därvid har en klassificering kunnat göras i geologiska förutsättningar, såsom "Lera, Silt, Sand, Torv" som är aktuella markförhållanden i denna utredning. Bara i enstaka fall har närmare uppgifter om jordlagrens mäktighet nu kunnat erhållas. Senare i teknikupphandlingen är det därför aktuellt att närmare kontrollera markfrågorna, utrymmet, djup m m. Intresset från ägarna till värmeanläggningarna måste också närmare klarläggas, liksom konverteringsbehov, lämpliga värmekällor etc.

Intressegruppen i tabellerna 8.1-8.3 omfattar följande oljemängder, antal gruppcentraler och lägenhetsekvivalenter:

Tab 8.1 Lera - 25 GC - 8400 läg - 17000 m³ olja

Tab 8.2 Torv - 6 GC - 3280 läg - 6200 m³ olja

Tab 8.3 Sand och silt - 9 GC - 2940 läg - 5925 m³ olja

Summa: 40 GC - 14620 läg - 29125 m³ olja

Ur denna volym bör det vara möjligt att utvälja ett projektpaket för teknikupphandling som omfattar ca 10 projekt i lera, 3 i torv och 3 i sand. Det finns också goda möjligheter att utöka eller byta objekten mot några andra av landets 8000 gruppcentraler, varav minst 1000 st har lämpliga markförhållanden för värmelagring i jord.

Tabell 8.1 Intressenter och projekt för markvärmesystem i gruppcentraler. Geologi = LERA (preliminärt).

Kommun Objekt	Ägare/ Huvudman	Läg (ekv)	Beräkn behov MW	Angiv olja m3/år	Geologi Anmärkning
<u>ALINGSÅS</u>					
Tuvevården	Tuvegården	(30)	0,2	45	Lera - 12 m
<u>FLEN</u>					
Solstagat 11	Flens fast.AB	250	1,7	530	Lera
Storgat 42	---	100	0,7	195	Lera
Orrögat 1-7	---	110	0,7	220	Morän (L 100m)
Stenhammarskolan	Kommun	(130)	0,9	260	Lera
Skola Malmköping	---	(100)	0,7	200	Lera/Sand
<u>GÖTEBORG</u>					
Karl Staafgat	Göteborgshem	186	1,0	260	Lera - 35 m
Torpa		700	10*	(1000)	Lera
<u>KRISTIANSTAD</u>					
Hamraområdet	Energiverk	340	1,9	600	Lera - 18 m
<u>KRISTINEHAMN</u>					
Kv Älen	Riksbyggen		3,0*	(700)	Lera (Mn)
<u>LINKÖPING</u>					
Lunnev. Folkh.sk.	Öst.g. landst.	(120)	1,0*	(250)	Lera (ås/Mj)
Hjulsbrohemmet	---	(120)	1,0*	(250)	Lera (Mn/B)
Mogårdshemmet	---	(120)	1,0*	(250)	Lera?
<u>MARIESTAD</u>					
Vasaväg 1-21	Bostadsstift.	180	1,2	370	Lera?
Centralskolan	Kommun	(280)	1,8	550	Lera (Mn/B)
<u>NACKA</u>					
Björknässkolan	Kommun	(100)	0,7	210	Lera

Anm. * Angivet effektbehov
(300) Olja beräknat från effekt

Kommun Objekt	Ägare/ Huvudman	Läg (ekv)	Beräkn Angiv effekt förbr		Geologi Anmärkning
			behov MW	olja m3/år	
<u>NORRTÄLJE</u>					
Kv Hagen 15-17	Kom. Bost.	210	1,5	425	Moränlera
<u>SIGTUNA/MÄRSTA</u>					
Sätunaområdet	HSB-Arl.hem	500	3,1	900	Lera - 22 m
<u>SUNDSVALL</u>					
Trastv. Njurunda	Sundsv.bygg.	300	2,0	618	Lera-Silt?
Affärsg "	---	150	1,2*	(300)	Lera-Silt?
Kvisslebyn	Kommun	600	4,6*	(1200)	Lera?
Kom.fast. Matfors	---	200	1,7	410	Lera/finsand
<u>SUNNE</u>					
Brånitiaomr.	Riksbyggen	300	2,0*	(600)	Lera/torv
<u>TIERP</u>					
Vallskoga	Riksbyggen	300	2,0*	(600)	Lera
<u>TÄBY</u>					
	Kommun	(1500)	12,0	(3000)	Lera (T)
<u>UPPL.VÄSBY</u>					
Fabrik	Marabou AB	(175)	1,5	350	Lera - 12 m
<u>VADSTENA</u>					
Birgitta sjukh.	Öst.g. landst.	(625)	5,0*	(1250)	Moränlera
<u>VINGÅKER</u>					
Vannala Gärde	Vingåkershem	180	1,3	330	Lera - 10 m
<u>VÄRMDÖ</u>					
Thun-Olleväg 29	Gustavsb.bost.	100	0,7	192	Morän (L 50 m)
Skytteväg	---	570	3,5	1150	Morän (L 100m)
<u>ARBOGA</u>					
					Lerområde
<u>SÖDERHAMN</u>					

<u>ESKILSTUNA</u>					

<u>KUNGSBACKA</u>					

<u>VALLENTUNA</u>					

<u>HUDIKSVALL</u>					

Anm. * Angivet effektbehov
(300) Olja beräknat från effekt

Tabell 8.2 Intressenter och projekt för markvärmesystem i gruppcentraler. Geologi = TORV (preliminärt).

Kommun	Ägare/ Huvudman	Läg (ekv)	Beräkn effekt behov MW	Angiv olja m3/år	Geologi Anmärkning
<u>MOTALA</u>					
Kv Torvmossen	Stif.Platen	800	3,6	1300	Torv
<u>NACKA</u>					
Evalundsväg	Ekon.fören.	(100)	0,7	200	Torv(öv.byggt?)
Gymnasium	Kommun	(480)	3,2	950	Torv (-"-)
<u>SUNNE</u>					
Brånitiaomr.	Riksbyggen	300	2,0	600	Torv/Lera
<u>TÄBY</u>					
Åvaskolan	Kommun	(1500)	12,0	3000	Torv parkmark
<u>ÅMÅL</u>					
Baståsv. Bill.f.	Bengtsf.bost.	100	0,7	200	Torv/morän?
<u>VANSBRO</u>					
<u>ÄLMHULT</u>					
<u>SVEG</u>					
<u>MARKARYD</u>					
Anm. * Angivet effektbehov					
(300) Olja beräknat från effekt					

Tabell 8.3 Intressenter och projekt för markvärmesystem i gruppcentraler. Geologi = SAND och SILT (preliminärt).

Kommun Objekt	Ägare/ Huvudman	Läg (ekv)	Beräkn Angiv effekt förbr		Geologi Anmärkning
			behov MW	olja m3/år	
<u>FALKENBERG</u>					
Lasarettet	Hall. landst.	(300)	2,5*	625	Sand
<u>FLEN</u>					
Skola, Malmköping Kommun		(100)	0,8	200	Sand/lera
<u>HALMSTAD</u>					
Eketånga sjukh.	Hall. landst.	(180)	2,3*	365	Sand (Mn)
Oskarströms sjukh.		(120)	1,2*	250	Sand/grus
<u>LAHOLM</u>					
Lasarett	Hall. landst.	(140)	1,5*	275	Sand
<u>HÄSSLEHOLM</u>					
Sjukhus	Krist. landst.	(550)	6,0*	1100	Morän (S 100m)
<u>MOTALA</u>					
Motalahus 5-6	Riksbyggen	(350)	3,0*	(700)	Sand?
<u>SUNDSVALL</u>					
Kom fast, Matfors Kommun		200	1,7	410	Finsand/lera
<u>ÄNGELHOLM</u>					
Lasarett	Krist. landst.	(1000)	9,0*	2000	Sand
<u>BORLÄNGE</u>					
					Siltområde
<u>SOLLEFTEA</u>					
					Siltområde
<u>MORA</u>					
					Sanddistrikt
<u>LYCKSELE</u>					
					Sanddistrikt
<u>KARLSTAD</u>					
					Sanddistrikt
<u>LIDKÖPING</u>					
					Sanddistrikt
<u>JÖNKÖPING</u>					
					Sanddistrikt
<u>HANDEN</u>					
					Sanddistrikt

Anm. * Angivet effektbehov
(300) Olja beräknat från effekt

9 TEKNIKUPPHANDLING - EN UTVECKLINGSPROCESS

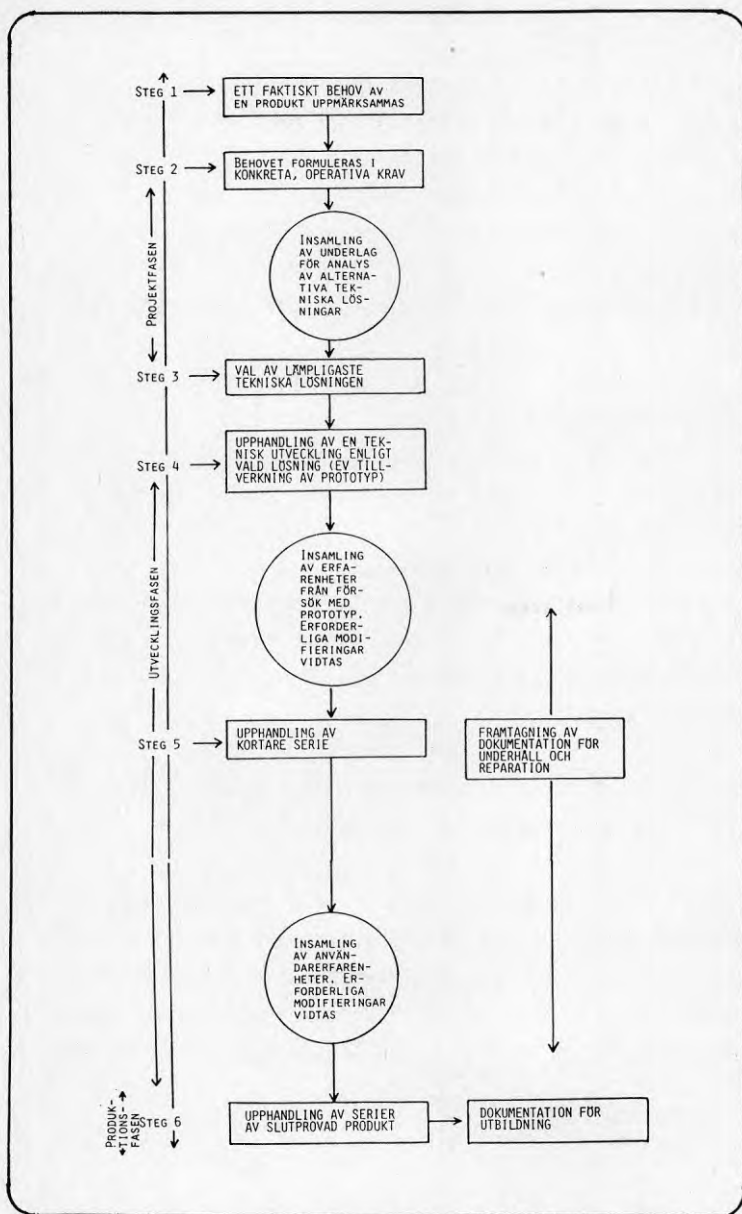
9.1 Allmänt

Teknikupphandling (TU) innebär upphandling av ett system som fullgör en funktion och som kräver ny teknik för att förverkligas. Teknikupphandling kan också beskrivas som en utvecklings- eller anskaffningsprocess med en dialog mellan beställare och leverantör kring behov, problem och tekniska lösningar och som innehåller ett risktagande från båda parter. Teknikupphandling kan göras av såväl varor som tjänster.

Kundens motiv för TU är att få bättre tekniska lösningar anpassade till behov och som är lönsamma. Leverantören får då en uppfattning av marknadskrav och potential samt hjälp med samfinansiering av utvecklingskostnader.

Linder, (1980), beskriver teknikupphandling som en anskaffningsprocess som börjar före och slutar efter upphandlingen och sålunda inrymmer ett flertal steg.

Det första steget i processen är att ett behov uppmärksammas. Behovet måste därefter formuleras i en konkret kravspecifikation för teknik, funktion och ekonomi som kan ligga till grund för en utveckling. Funktionskraven är det centrala i teknikupphandlingen och de måste vara realistiska och lämna handlingsutrymme åt entreprenören. Därefter sker val av den tekniska lösning som bäst uppfyller de mål/krav som ställts upp varefter en teknisk utveckling enligt den valda lösningen upphandlas. Den tekniska utvecklingen leder fram till modifieringar i flera steg innan upphandling av en längre serie av färdiga produkter sker. Det ovan sagda kan illustreras i fig 9.1. Som framgår av figuren kan produktframtagningens olika steg indelas i tre olika faser:



Figur 9.1 Teknikupphandlingens olika steg, (Linder, 1980).

Fas	Mål
Projektfas	Principuppbyggnad av produkt
Utvecklingsfas	Produktionsanpassat konstruktionsförslag
Produktionsfas	Produkten tillverkas

I STU:s rapport 187:1980 beskrivs TU som en upphandlingsmodell med följande faser:

Specifikationsfas
 Prototypfas
 Seriefas
 Driftfas

Ett grundvillkor vid teknikupphandling är att god kompetens finns hos både beställare och leverantör. Om man lyckas ta fram en bra och godkänd produkt förbinder sig köparen att beställa en volym/ ett antal exemplar av varan.

En teknikutveckling innebär för en beställare alltid en risktagning eftersom utvecklingen av produkten kan misslyckas.

För att i möjligaste mån begränsa en sådan risk kan beställare och leverantör gemensamt försöka ringa in vilka tekniska problem som kan uppstå. Uppdragets genomförande kan därefter indelas i flera etapper där varje delstap omfattar ett konkret åtagande innehållande lösandet av ett eller flera av de angivna tekniska problemen till ett specificerat pris.

Fördelarna med TU kan sammanfattas i:

- Ekonomiskt risktagande delas mellan beställare och entreprenör/
tillverkare
- Kontroll av teknik och ekonomi innan förfrågan och upphandling

- Utveckling och risk separerat från serietillverkning, volymsentreprenad
- Beställare kan följa hur åtagandet sköts genom periodiska avrapporteringar och tester
- En demonstrationseffekt uppnås i vissa fall genom att den färdiga produkten beställs och tillverkas i stor volym.
- Både kund och leverantör medverkar, till nytta för projektets planering, projektering och finansiering
- Kompetensöverföring till beställare som främjar utvecklingen

Teknikupphandling fordrar dock speciella villkor som gör att även nackdelar kan finnas.

Leverantörens risktagande kan för ett energiprojekt vara att potentialen för systemet felbedömts, varför egna satsade utvecklingspengar ej kan fås igen.

Vid alla typer av avtal som en beställare ingår med en leverantör i teknikupphandlingens inledande faser bör beställaren försäkra sig om en obegränsad nyttjanderätt till det som avtalats. Detta ger möjlighet för beställaren att nyttja det framtagna underlaget i kontakter med flera leverantörer och därmed undvika att hamna i en beroendesituation till en leverantör genom hela teknikupphandlingen.

9.2 Teknikupphandling av värmesystem med värmelager

9.2.1 Allmänt

Som närmare beskrivits i kapitel 8 har markvärmelager sin största potential för användning i lokala panncentraler/gruppcentraler och byggnadsegna värmesystem. Någon form av samverkan mellan en grupp intressenter måste uppnås men där varje nyttjare har enskilt ansvar för upphandling, genomförande och finansiering av sitt projekt. Målet är att utnyttja fördelen av en gemensam satsning på teknikutveckling (skede 1-5 nedan) och en stor beställningsvolym (skede 6-8 nedan).

Teknikupphandling är ett sätt att utveckla system, material, maskiner och byggande för värmelager och förbättra dess ekonomi. Genom att samla ett antal potentiella nyttjare och beställare av markvärmelager skapas ett intresse hos entreprenörer och FoU-organ som stimulerar till en snabbare utveckling av lagersidan, förbättrar ekonomin och ökar intresset för viss ekonomisk risktagning. Det specifika och delvis svåra för teknikupphandling av denna typ av värmelager är bl a att det inte finns enhetliga och organisatoriskt sammanhållna nyttjare och beställare. Detta ställer ökade administrativa och juridiska krav på upphandling och genomförande.

De markvärmelager och system som är aktuella har närmare beskrivits i kapitel 2.3. I första hand gäller det lager kopplade till värmepumpar i värmecentraler. Genom lagringstekniken kan värmekällorna göras mer oberoende av årstider och värmeflöden och därmed bidra till en större oljeersättning/konvertering. I större centraler och fjärrvärmeverk kan billig baslastvärme lagras och ersätter dyr spetsproduktion. Solvärme, spillvärme och kylagring är andra tillämpningsområden.

Värmelagret i ett projekt ingår alltså som en systemdel och det är i första hand denna som är föremål för FoU och teknikupphandling. Övriga delar i ett värmecentralprojekt förutsätts bli utförda med dagens teknik för VVS-system, värmepump, kulvertar m m. Intresset koncentreras alltså på värmelagret som i ett normalprojekt på 4 Mkr

kostar 1-1,5 Mkr.

För att med dessa förutsättningar kunna genomföra en gemensam TU krävs att en projektgrupp driver utveckling, upphandling och byggande tillsammans med representanter från olika berörda verksamhetsområden under skede 1 till 9, som redovisas i avsnitt 9.2.2.

Nedanstående tabell anger några punkter som skiljer teknikupphandling av värmelager ur positiv(+) och negativ(-) synpunkt från en ordinär totalentreprenad.

- + Beställaren har på ett tidigt stadium en god kontroll över teknik och kostnad.
- + Beställaren och entreprenörens gemensamma kompetens kan tas tillvara.
- + Utvecklingen kan styras.
- + Risker kan prissättas och minimeras tidigt.
- + Teknikutveckling först - totalupphandling sedan.
- En beroendesituation kan uppstå till en entreprenör (nyttjanderätt, avtal).
- Många beställare - ingen övergripande part.

9.2.2 Skedesindelning

Skedesindelningen följer STU:s modell för upphandling. I "specifikationsfasen" enligt 9.1 tar man fram behov, förutsättningar, krav, förfrågan. Efter värdering kan några förslag från leverantörerna väljas ut för upphandling av det egentliga utvecklingsarbetet. Man måste alltså i ett tidigt skede konkret beskriva vilket system eller vilken produkt som efterfrågas. Vidare måste kostnaderna redan nu målformuleras så att leverantören vet vad som krävs för att hela anläggningen för värmeproduktionen ska vara lönsam.

I prototypfasen utvecklas material, specialmaskiner och anläggningsteknik och sedan kan de första proven göras med pilotförsök i fält.

Därefter bör följa ett prototypbyggnad i full skala (lika BFRs experimentbyggnadsprojekt).

Efter utvärdering och modifieringar är det så dags för seriefasen med en större volym av sammanlagt 10-15 anläggningar. Dessa bör vara fördelade på flera lagringstekniker, geologiska förhållanden och skilda tillämpningar/system.

Inledningsvis utförs en samordnad projektering mot ett förfrågningsunderlag för de 10-15 projekten. Totala projektkostnaden kan bli i storleken 50-100 Mkr och erforderliga projekteringsmedel uppgår till några procent (1-3 Mkr).

I princip har TU-projektet därmed övergått till en styrd totalentreprenad. Det huvudsakliga problemet är nu samordning, ansvarsförhållanden, enskilda intressen, geografisk spridning för värmeprojekten och dess beställare och leverantörer.

I det följande ges en mera detaljerad beskrivning av teknikupphandlingens olika skeden för markvärmelager.

Skede 1 - Grundförutsättning

Fortsatt kontakt etableras med lämpliga och intresserade beställare och ägare till gruppcentraler av viss minimistorlek. Dessa bör vara så intresserade att de är beredda att bygga ett nytt värmesystem för konvertering från tidigare uppvärmningsform till ett system där värmelager ingår under vissa förutsättningar. Ett krav kan vara att den totala värmeproduktionskostnaden understiger x kr/MWh varav lagerkostnad y kr.

Utvecklingsmedel skall finnas tillgängliga från beställare, FoU-organ och entreprenör/industri.

Finansieringsmöjligheter av de olika anläggningarnas totalkostnad undersöks.

Skede 2 - Inventering inom projektpaketet

Inventering av geologiska förhållanden, utrymmen och hinder för att få kännedom om lokala förutsättningar som kan möjliggöra specifika lösningar och ev medföra svårigheter (se kap 8).

Inventering av de nuvarande värmesystemens temperaturnivåer och möjligheter att begränsa dessa. Effekt- och energibehov samt förslag till systemlösningar tas fram.

Skede 3 - Kravspecifikation - Förfrågan inför utvecklingsfasen

En mycket viktigt inslag i TU är att upprätta en genomtänkt specifikation av det som skall byggas grundad på behov, funktion och kostnads mål.

Värmelager

Specificering av de krav som ställs på olika lagerteknik och kostnader. Överordnade krav på temperaturnivåer från och till lager samt temperatursving etc anges.

- T ex
- Optimera rördrivningskostnad mot värmeöverföring
 - Minimera kopplingskostnad för markslangarna
 - Minimera markarbeten och optimera isolering av lagret
 - Totaloptimera lagerbyggnadskostnaden
 - Effektförmåga för kort- och säsongslagring med olika skänkelavstånd, antal slangar per värmväxlar-enhet och avstånd mellan dessa.

Teknikutveckling omfattar i denna fas lagerdelen.

VVS

Specificering av de krav som ställs på värmepumpar och övrigt VVS-system.

- T ex
- Avgiven effekt och värmefaktor vid olika driftfall under förutsättning av givna temperaturer på befintligt värmesystem.
 - Styr- och reglerfunktioner, larm
 - Ljudnivå
 - Utrymme
 - Laddningsätt av värmelager (värmekälla, installation)

Förfrågan på en kravspecificerad fiktiv anläggning ställs till utvalda entreprenörer för att samla in nya idéer och principlösningar. Anbudet skall avse en komplett anläggning/system och innehålla uppgifter om följande:

- metod för byggande av lager
- värmesystemets uppbyggnad
- bedömd totalkostnad, delkostnader samt en värmekostnad per MWh
- total utvecklingskostnad för föreslagen lagerbyggandemetod samt hur stor andel av denna kostnad som entreprenören är villig att bidra med

För att förfrågan skall vara intresseväckande skall det klart framgå att beställare finns till ett flertal motsvarande anläggningar om totalkostnaden efter teknikutveckling underskrider en viss nivå.

Värdering och grovgallring genomförs bland förslag och anbud på värmelager med utgångspunkt från kostnad, teknikens bedömda möjligheter samt anbudsgivarnas vilja att satsa egna medel. Förhandlingsupphandling av teknikutvecklingens första fas utförs.

Efter detta skede kvarstår ett antal entreprenörer med olika förslag inom respektive lagringsteknik.

Skede 4 - Teknikutveckling - pilotförsök

Tillsammans med entreprenörer genomförs i detta skede utveckling av tekniken samt pilotförsök. Skedet omfattar följande moment:

- Utveckling av konkurrerande lagermetoder bland kvarvarande entreprenörer.
- Pilotförsök med vissa neddrivningsmetoder.
- Test av kopplingsmetoder, neddrivningsförsök och eventuella nya maskiner/delar.

Efter detta väljs den tekniska lösning som bäst uppfyller kravspecifikationerna för horisontella resp vertikala lager.

Nyttjanderätt klarläggs för framtagna lösningar för att undvika en beroendesituation.

Val av lämpliga VVS-lösningar för hela värmesystemet.

Skede 5 - Prototypbyggande

Byggande av en eller flera prototypanläggning i fullskala ev i olika geologiska miljöer för att finslipa och slutligt utvärdera lagerbyggnadstekniken. Slutsatser och erfarenheter bör kunna nyttjas för värmesystem med olika lagertekniker då stor del av arbetsmomenten är desamma. Anläggningen bör finansieras med BFR:s experimentbyggnads-lån.

Bedömning om totalkostnaden är tillräckligt låg för att fortsätta teknikutvecklingen med ett större antal projekt i paket.

Skede 6 - Projektering/förfrågningsunderlag

Projektering utförs med den förutsättningen att gemensam upphandling sker. Projekteringen kan därvid förenklas. Geotekniska undersökningar utförs dock vid varje anläggning för att ge underlag till entreprenör/projektör.

Områden där frågeställningar och tekniska problem kan uppstå och som innebär en risk för entreprenören klarläggs. Dessa risker prissätts i anbudet och/eller vid värdering av anbudet.

Funktionskrav ställs på lager och VVS-system och produktionsfasen liknar nu en konventionellt totalentreprenad.

Anbudet skall till sin huvuddel ges till fast pris. Specificerad risktagning ersätts emellertid därutöver efter någon form av prislista. Incitamentsavtal kan nyttjas med bonus och viten om vissa förhållanden över- eller underskrids.

Totalentreprenadsförfrågan utskickas och anbud tas in.

Finansieringsfrågorna bearbetas.

Skede 7 - Anbudsutvärdering och upphandling

Inkommna anbud värderas och en noggrann genomgång av tekniska lösningar utförs. Tillkommande riskkostnader bedöms och värderas. Lagerkostnaden analyseras.

Totala investeringskostnaden beräknas per projekt och kapital-, drift- och underhållskostnad beräknas för att kunna bedöma lönsamheten. Marginalkostnaderna för värmelagret analyseras. Finansieringen klarläggs i detalj.

Samordnad upphandling genomförs varvid olika typer av förhandlingar

kan vara aktuella beroende på det stora antalet beställare, flera entreprenörer och projektens geografiska spridning och olikhet. Målet är att samordningsvinster av ekonomisk och administrativ natur ska uppnås genom en stor volym och beställningssumma. Kontrakt skrivs mellan vardera av de enskilda beställarna och entreprenörerna.

Skede 8 - Genomförande

De olika projekten genomförs enskilt av respektive beställare och entreprenör. Beroende på upphandlingsformer m m är det dock nödvändigt med en samordning genom projektgruppen och att använda konsulter i projekteringsfasen.

Skede 9 - Utvärdering

Utvärdering utförs under förslagsvis 2 år enligt BFR-modell. FoU-organens medel och ambitionsnivåer får där styra insatserna men en enklare typ av mätning/utvärdering bör eftersträvas.

10 PROJEKTGENOMFÖRANDE-KOSTNADER-TIDPLAN

Teknikupphandling av värmesystem med värmelager kan göras efter nedanstående tidplan med kostnadsindikationer. Händelser som anges beskrivs närmare i kapitel 9.2.

Fas	Skede	Händelse	Tid	Beräknad kostnad ca
<u>Specifikationsfas</u>	1	Grundförutsättning	8804-8810	400 kkr
	2	Inventering		
	3	Kravspecifikation/ förfrågan		

Värdering av förslag/anbud. Om intressanta kostnader och tekniker föreligger drivs projektet vidare med teknikutveckling av värmelager.

<u>Prototypfas</u>	4	Teknikutveckling	8811-8908	500
	5	Prototypbyggande	8909-9006	<u>300</u>
		S:a TU-medel (Skede 1-5)		1200 kkr

Byggnad av fullskaleanläggningar finansieras via experimentbyggnads lån (3-6 Mkr)

Utvärdering av teknik och kostnader. Bedömning av fortsättning av TU-projektet. Tekniken bör kunna nå en kommersiellt intressant kostnadsnivå vid serietillverkning och stor volym.

<u>Seriefas</u>	6	Projektering	9007-9102	1000-3000 kkr
	7	Anbudsvärdering upphandling		
	8	Genomförande av 10-15 projekt	9104-9110	4-8 Mkr/ projekt

Projektet har nu övergått till en mera konventionell totalentreprenad, dock med gemensam upphandling från flera beställare.

Sedan anläggningarna färdigställtts tillkommer en utvärderingsfas, preliminärt under tiden 9110-9310.

Finansiering av teknikupphandlingen, skede 1-5, kan göras av FoU-organ, Entreprenörer, SGI och beställare. Projektering och upphandling, skede 6-7, bör finansieras av beställare med stöd av FoU-organ.

Medel för skede 8, storleksordningen 50-100 Mkr, kan erhållas genom en kombination av kommersiella lån, statliga bidrag, energilån etc , beroende på det enskilda projektet och huvudmannens förutsättningar.

REFERENSER

Abel, E., Aronsson, S., Dalenbäck, J-O., Nilsson, P-E., 1986: Ekonomiskt utrymme för alternativ inom ny energiteknik. Underlag från systemgruppen för BFR:s programplan 1987-90. Avd för installations-teknik, CTH, Göteborg.

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

Hellström, G., Palmgren, C., Rydell, B., 1985: Heat storage in clay. A technical and economical evaluation of vertical earth heat exchangers. Enerstock 85. III international conference on energy storage for building, heating and cooling, Toronto, Canada.

Göransson, A, 1984: Bebyggelsedata för energiplaneringen, Byggeforskningsrådet R152:1984, Stockholm.

Linder, G., 1980: Teknikupphandling . Liber förlag, Stockholm.

Olsson, S, 1983: Potential for using alternative energy technologies in group central heating systems in Sweden. Byggeforskningsrådet D12:1983, Stockholm.

Rhen, I., Sundberg, J., Modin, B., 1986: Dimensionering av ytjordvärmekollektor. Byggeforskningsrådet R13:1986, Stockholm.

Rhen, I., Wilén, P., 1984: Vertikala rörsystem för värmelagring i sand och silt. Förstudie. Jordvärmegruppen, CTH, rapport nr 14, Göteborg.

Rydell, B, Lundin, S-E, Magnusson, C, 1986: Värmepumpanläggning och värmelager i torv för flerlägenhetshus i Motala. Projektering. Varia 182, Statens geotekniska institut, Linköping.

Rydell, B., Lundin, S-E, Magnusson, C, 1986: Värmelagring i lera med värmepump för skola och sporthall i Söderköping. Projektering. Varia 186, Statens geotekniska institut, Linköping.

Sundberg, J., 1987: Erfarenheter från några stora ytjordvärmessystem. Byggforskningsrådet R98:1987, Stockholm.

Styrelsen för teknisk utveckling, 1980: Anpassad teknik. Fakta om teknikupphandling. Information nr 187-1980. utgåva 2.

Westerlund, R, 1985: Gruppcentraler i bostadssektorn. Byggforskningsrådet R14:1985, Stockholm.

Wilén, P., Johansson, A., Rhen, I., in paper: Teknikutveckling för värmelagring med vertikala rör i jord och berg, Slutrapport.

Wilén, P., Rhen, I., 1986: Metoder och kostnader för anläggande av värmelager i mark med vertikala rör. Förstudie. Jordvärmegruppen, CTH, rapport nr 21, Göteborg





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 851175-2
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
geotekniska institut, Linköping.**

R44: 1988

ISBN 91-540-4883-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6708044

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 42 kr exkl moms