



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

R105:1983

Lagring av värme i mark vid låg temperatur

BFR-seminarium december 1982

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac Ser

K
owl

R105:1983

LAGRING AV VÄRME I MARK VID
LÅG TEMPERATUR

BFR-seminarium december 1982

Dokumentationen sammanställd av
Peter Margen

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811449-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till Stiftelsen Bergteknisk Forskning, BeFo,
Stockholm.

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

R105:1983

ISBN 91-540-3995-9
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

FÖRORD - Sten Bjurström, BeFo	5
SAMMANFATTNING - Peter Margen, Studsvik Energiteknik AB	7
INLEDNING - Sten Bjurström, BeFo	9
BFR:s FORSKNINGSPROGRAM - Sven-Erik Lundin, Byggeforskningsrådet	11
DE GEOTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖR OLIKA LAGERTYPER I SVERIGE	
Förekomsten av lämpligt berg - Conny Sjöberg, Nitro Consult AB	25
Jordlager som kan användas för energilagring - K. Gösta Eriksson, CTH	29
Akviferlagring. Var finns lämplig mark. Potential - Mans Hydén, VBB	35
Jordvärmegruppen och lågtemperaturlager samt rapport från IEA - Gösta Rosenblad, Jordvärme- gruppen, CTH	47
Lågtemperaturlager i Utby. Konstruktion och erfarenheter - Gösta Rosenblad, CTH	49
Geotekniska problem i samband med värmelagring i lera - Ulf Lindblom och Kent Adolfsson	61
Energilagring i lera - Sunclay - Göran Hultmark, Andersson & Hultmark	67
Storskalig värmelagring i torvmarker. Föredrags- sammanfattning - Olof Andersson, VIAK AB	75
Sunstore hållmarklager - Ove B. Platell, Platonik Utvecklings AB	85
Borrhållager i Luleå - Anders Eriksson, Allmänna Ingenjörbyrå AB	99
Borrhållager i berg för säsongslagring av lågtemperaturvärme - Hans Hydén, VBB	105
Borrhållager med tunnlar - ett kombinerat säsons- och korttidslager - Peter Margen, Studsvik Energiteknik AB	109
HYDROCK - en ny metod att lagra värme i berg - K. Gösta Eriksson, CTH, Sven Åke Larsson, SGU och Örjan Haag, CTH	117

Akviferlager - Sam Johansson, AIB/Inst för vattenbyggnad, CTH	125
Värmelagring i grundvatten vid låga temperaturer - Leif Lemmeke, VBB AB	133
Projekt SPEOS: Pilotanläggning för värmelagring i akvifer - Gunnar Gustafson, VIAK AB	147
Termiska analyser - Johan Claesson, Byggnadsteknik, matematisk fysik, LTH	151
Nuvarande lagregler - Carl-Johan Engström, Statens Planverk	153
Tillämpningar - Thomas Rostock, SIND	155
Förutsättningar för energilagring i befintliga fjärrvärmesystem - Thomas Bruce, Södertälje Energiverk	157
Värmelagringens systemfunktion - Hans Nilsson, Stockholms Energiverk	161
SVAR TILL SEMINARIELEDNINGENS FRÅGELISTOR	
Lager i jord	165
Lager i berg (och tillhörande system)	169
Akviferlager	171
Marknaden. Tillämpningar	175
DEL II. SAMMANFATTNINGSRAPPORT	177

FÖRORD

För utvärdering av BFRs energiforskningsprogram har rådet tillsatt ett antal s k utvärderingsgrupper. Utvärderingsgruppen MARKVÄRME har till huvuduppgift att utvärdera och sammanställa kunskapsläget inom området värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten. Gruppen består av Sten Bjurström, Bergteknisk Forskning-BeFo (ordförande), Per Olov Karlsson och Sven-Allan Eklund, Vattenfall, Carl-Olof Morfeldt, Hagconsult samt Björn Svedinger, VIAK. Sven Erik Lundin och Rolf Engwall har deltagit från BFR.

Som ett led i utvärderingsarbetet har gruppen beslutat att genomföra ett antal utvärderingsseminarier. Under våren 1982 anordnades möten beträffande ytjordvärme, sjövärme och grundvattenvärme. Under hösten 1982 har genomförts två seminarier beträffande energilagring i mark.

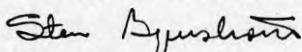
För planering, genomförande och avrapportering av dessa möten har gruppen engagerat experter inom respektive delområde.

Studsvik Energiteknik AB med Peter Margen som ansvarig samt Hans Hydén VBB har svarat för seminariet "Lagring av värme i mark vid låg temperatur".

Föreliggande rapport redovisar presentationer, förda diskussioner samt slutsatser av seminariet i Nyköping den 15 och 16 december 1982.

Markvärmegruppen har all anledning att rikta ett varmt tack till seminarieledaren, Studsvik Energiteknik och VBB samt till mötesdeltagarna för positiv medverkan och värdefulla bidrag.

För BFRs MARKVÄRMEGRUPP



Sten Bjurström
Ordförande

BFRs UTVÄRDERINGSSEMINARIUM OM LAGRING AV VÄRME I MARK (OCH VATTEN) VID LÅG TEMPERATUR

Studsvik 15 - 16 december 1982

Peter Margen

SAMMANFATTNING

BFRs markvärmegrupp kallade till två seminarier angående lagring av värme i mark under december 1982; ett för högtemperaturlagring i Göteborg, det andra för lågtemperaturlagring ($< 50^{\circ}\text{C}$) i Studsvik. Studsviksseminariet refereras i denna rapport, som dels ger en sammanfattning av de viktigaste resultaten, dels kopior av samtliga föredrag som hölls vid konferensen.

Seminariet syftade till att referera dagsläget av teknologin och erforderlig fortsatt UoD, utpeka de viktigaste praktiska systemtillämpningarna, redogöra för ekonomin och göra en bedömning av den totala potentialen för de olika lagertyperna.

Seminariet leddes av Peter Margen med bistånd från Hans Hydén.

Lågtemperaturlager har som huvuduppgift att säsongslagra billig energi som förekommer rikligt under sommaren till användning under vinterhalvåret för bostadsuppvärmning och beredning av tappvarmvatten. De viktigaste energikällorna härvid är naturvärme (ytvatten, uteluft, grundvatten), industriell lågtemperaturspillvärme, billiga solfångare samt sommarenergiöverskott från byggnader och växthus. Bara lagertyper som erbjuder låga kostnader per kWh, även när temperaturskillnaden mellan laddat och urladdat tillstånd är måttlig, kan komma ifråga. Detta innebär,

akviferlager, eller

marklager med i huvudsak vertikala kanaler för inmatning resp urladdning av energi i berg eller jord (lera, torv).

För de flesta tillämpningar fordras värmepump, och hittills har dessa i regel förutsatts att vara i drift under vintern för att höja värmens temperatur till användningssystemens temperatur. Det ansågs dock viktigt att fortsättningsvis även behandla system där värmepumpen inte behöver användas under den kallaste årstiden.

Samtliga av de ovannämnda energilagertyperna ansågs kunna användas i system som kunde konkurrera med andra energislag i situationer där billig laddningsenergi finns tillgänglig, de geotekniska förhållandena är lämpliga och transportavstånden måttliga.

Den totala potentialen för ekonomisk tillämpning bedömdes vara stor (totalt TWh/år) - störst troligen för marklager i berg (= borrhålslager) med hänsyn till att lämpligt berg förekommer i de flesta av Sveriges regioner, stor dock även för akviferlager för temperaturer under 30°C som kan bygga på etablerad teknologi och ofta har korta återbetalningstider. Lera finns nära de flesta av storstäderna, men måste vara djup för att ge god ekonomi, vilket begränsar potentialen. Dock är lera lämplig även för små lager på grund av relativt låga värmeförluster. Lågst är potentialen för torvlager på grund av avståndet mellan torvtäkterna och större befolkningscentra, varför de kan komma ifråga bara för mindre lokala bostadsområden.

INLEDNING

Forskningsdirektör Sten Bjurström, Stiftelsen Bergteknisk Forskning
- BeFo, Stockholm

Området värmelagring i mark har ett stort utrymme i BFRs och andra energiforskningsorgans program. Sedan 1972 har BFR m fl satsat betydande belopp på forskning kring energilagring i mark och många projekt har genomförts och är under utförande. De relativt sett stora forskningssatsningarna återspeglas ännu ej i någon nämnvärd omfattning i officiella prognoser om Sveriges framtida energiförsörjning. Man är uppenbarligen osäker om tekniken och dess värde.

Inför kommande energibeslut är det därför synnerligen angeläget att försöka dokumentera och i görligaste mån utvärdera markvärmets realistiska roll och bidrag i Sveriges framtida energiförsörjning. I detta sammanhang är det viktigt att få perspektiv på energilagring och den roll värmelagring i mark kan komma att spela.

Oklarheter härvidlag innebär stor risk att den i många avseenden nya och oprövade tekniken att utvinna och lagra värme under mark kan bli överspelad av andra mer traditionella energialternativ.

Det är också viktigt att klargöra behov av forskning för fortsatt teknikutveckling samt de övriga insatser som krävs för t ex planering, reglering och finansiering.

För att utvärdera olika områden inom BFRs energiforskning har rådet etablerat ett 10-tal utvärderingsgrupper. Huvuduppgiften för dessa är att genomföra studier över "the State of the Art" inom respektive delområden och i rapportform presentera resultaten.

För att kunna lämna underlag i tid till BFRs samlade bedömning är man tvungen att i flera fall mycket tidigt dra slutsatser av icke avslutad försöksverksamhet. För Markvärmegruppens del bör en första rapport föreligga under våren 1983. •

För att fullgöra denna uppgift i tid är vi beroende av att olika i verksamheten engagerade grupper och individer hjälper oss att på bästa möjliga sätt belysa förhållandena så att området MARKVÄRME får den roll i energiförsörjningen som den förtjänar och att området även fortsättningsvis får ett rimligt stöd för forskning, utveckling och demonstration.

VÄRMELAGRING I MARK VID LÅGA TEMPERATURER

BFR:s Forskningsprogram

BFR-seminarium 15-16 december 1982

Sven-Erik Lundin, Byggeforskningsrådet

Statens energiforskningsprogram är nu inne i sin tredje 3-årsperiod. Forskningen finansieras, planeras och drivs av fem programorgan varav BFR har ansvaret för delen "Energianvändning i bebyggelsen". Som framgår av OH 1 har forskningsmedlen i stort sett fördubblats varje period och uppgår nu totalt till 1,4 miljarder kronor 1981-84.

Bilden visar också hur oljeersättningen och energiförbrukningen kan tänkas bli förändrad fram till år 2010. Solvärmetekniken (inkl naturvärme, spillvärme, värmepumpar allm) bidrar med en ganska begränsad del av landets totala behov på ca 150 TWh/år. Här finns plats och krav på intensifierad forskning innefattande även dagens seminarieämne "Värmelagring".

BFRs energienhet driver FoU-programmet "Lokala energikällor". Detta är indelat i de sju delprogram som visas på OH 2 och där forskningen kring värmelagring främst sker inom del 4 "Värmelagring i vattenmagasin" och 5 "Värmelagring i mark". Budgeten uppgår till ca 25 Mkr/år varav ca 50% utgörs av s k experimentbyggnadslån för forskningsinriktade fullskaleprojekt.

Redan på 1970-talet identifierades de utvecklingslinjer och lagringstekniker som OH 3 anger. För lågtemperaturlagring direkt i den massiva marken har system 14-15-16 med rörlager i jord, borrhållager i berg och akviferlager i grundvattenmagasin visat sig mest intressanta och lämpliga. Under åren 1977-82 har en projektbank på ca 80 st projekt skapats på området värmelagring enbart på BFR för ca 60 Mkr. Denna omfattande forskning ska utvärderas med hjälp av Markvärmegruppen och detta seminarium blir en viktig lägesrapport.

Lagrets roll i olika energisystem är en viktig frågeställning som under de gångna åren dock inte riktigt har klarlagts. Svaren på frågorna VAD som ska lagras och NÄR lagring kan användas har ofta blivit tekniklösningar om HUR lagring kan ske! Systemforskning bör därför snarast inledas över säsongslagringens möjligheter, begränsningar och aktuella värmekällor. För olika typer av korttidslagring finns också många tillämpningar för både fjärrvärmenet, fastbränslecentraler, spillvärmeutjämning m m enligt OH 4.

Solenergin nyckelfråga har ansetts vara just lagringen och dess kostnader. Som framgår av OH 5 kan stora frågetecken också sättas för solfångarnas kostnader, solfångartekniken, de långa distributionsledningarna, plats och utrymme för solfångarna m m. Om och när solenergin ska nyttjas i större omfattning på 1990-2000-talet torde inte värmelagren utgöra något

hinder efter vad dagens lovande teknikläge visar. Sverige har en utmärkt geologi för lagring direkt i mark med glaciala jordarter som lera, sand, grus och ett fast kristallint urberg. De svenska värmesystemen har vanligen en "kollektiv uppbyggnad" till fördel för alternativa energikällor och storskaliga lagarsystem. I jämförelse med utlandets möjligheter, ambitioner och teknikfront synes Sverige här vara väl lottat och långt framme.

Om man ska peka på några nyckelfrågor för lagringsteknikerna som ännu är olösta så kan framhållas för

- o Lagring i jord: Tillgängliga lerdjup, geotekniska konsekvenser, effektsväljningsförmåga
- o Borrhållager i berg: Öppna contra slutna system, rörinstallationer, tröghet i lager, temperatursving, ekonomi
- o Akviferlager: Brunnsteknik, vattenkemi, potentiala värmeförluster
- o Ekonomiskt mål: < 1,0 kr/kWh-år i spec. anläggningskostnad?
- o Allmänt: Helheten, systemlösningar, lagrens och värmekällornas krav på varandra

Under de fem år som forskning bedrivits på lagringsområdet har som tidigare nämnts många projekt i liten och stor skala genomförts. Planeringen fram till 1985 framgår av tabell OH 6 som är en grov bedömning av medelbehov för experimentbyggnadslån. Lagring med undermarken som medium kommer de närmaste åren att prioriteras i jämförelse med lagring i vattenmagasin vars FoU-program är väl uppstartat och intäckt.

Markenergi 1990 kan till vissa delar vara uppbyggd av system som visas i OH 7. Redan nu sker ett kommersiellt införande främst genom naturvärmens utnyttjande med värmepumpsteknik. Värme-lagringen tar sannolikt längre tid att föra in på marknaden men tekniken bör kunna användas både i lokala system som blockcentraler och i de mer storskaliga fjärrvärmesystemen.

Ur BFRs diskussionskrift G13:1982 "Byggsektorn 1990" kan slutligen följande noteras enligt OH 8:

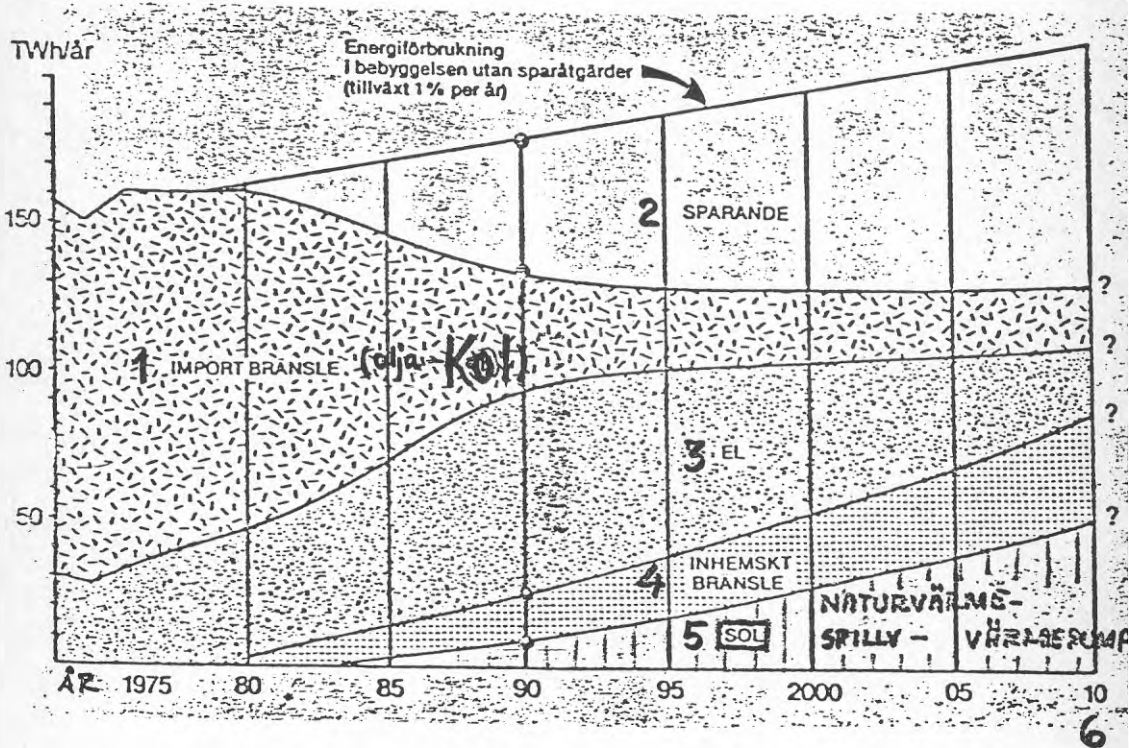
Kommande stadsombyggnad och energiförändringar i befintliga byggnader kan och bör ske parallellt. Kommunerna måste redan nu planera för mångfald och valfrihet och inventera fram sina resurser även på markvärmesidan.

Oljeersättningsplanerna borde i högre grad redan nu återspegla undermarkens roll som en energiresurs men den kan beaktas genom rullande planer.

FoU-resurserna och kompetensen finns i landet för markvärmetekniken och goda möjligheter föreligger till export. Den nya tekniken har bara haft fyra år på sig för utveckling vilket kan jämföras med 40 års erfarenhet av energi från olja, el och kol.

Energipolitiken har både en kort och en lång målsättning varför forskningen också bör bedrivas med dessa tidsperspektiv. Ett första vägskäl uppnås dock redan "i mitten på 80-talet" när den s k SÖL-85 utvärderingen ska genomföras. Dagens seminarium om värmelagring är en viktig del av denna kommande utvärdering och BFR ser fram mot ett resultat och en lägesrapport som ger anledning till fortsatta och kanske ökade forskningsinsatser under resten av 1980-talet.

ENERGI FÖR UPPVÄRMNING



ENERGIFORSKNINGSPROGRAMMET

1975 - 78	~ 350 Mkr
1978 - 81	~ 800
1981 - 84	~ 1400

Utvärdering

OH-1

'LOKALA ENERGIKÄLLOR' (Ur AF 83/84)

Delprogram	1981/82		1982/83		Förändring pga stats- makternas beslut	1983/84 Myndighetens förslag
	Budget	Utfall	Budget	Prisomr till 83/84		
<u>1. System- och genomförandeåtgärder</u>	5,2	4,9	5,6			5,9
<u>2. Solvärmeteknik</u>						
- bidrag	6,3	7,6	8,2			11,6
- lån	4,7	4,7	6,1			6,7
<u>3. Värmepumpar</u>						
- bidrag	10,0	8,8	12,0			15,5
- lån	37,3	37,3	18,4			20,1
<u>4. Värmelagring i vatten</u>						
- bidrag	4,6	3,8	6,0			8,0
- lån	10,0	10,0	6,9			6,3
<u>5. Värmelagring och värmeutvinning ur mark</u>						
- bidrag	7,7	9,3	12,1			16,5
- lån	7,8	7,8	8,0			10,0
<u>6. Termokemisk värmelagring</u>						
- bidrag	3,7	3,7	3,0			3,0
- lån	-	-	-			-
<u>7. Värmedistribution</u>						
- bidrag	5,7	4,9	7,6			11,0
- lån	0,5	0,5	5,2			5,8
Summa						
- bidrag	43,2	43,0	54,5	54,5		71,5
- lån	51,0	61,3 ¹⁾	44,6	48,9		48,9
STU, bidrag	14,0	8,1	—	—		—
Summa totalt	108,2	112,4	99,1	103,4		120,4

1) Inkl disposition av överförda medel från föregående budgetår.

04-2

LOKALA ENERGIKÄLLOR - BFR ¹⁶

DELPROGRAM 4-5

Fou-områden/Utvecklingslinjer

(INDIREKT SOLVÄRME)

NATURLIGA VÄRMEKÄLLOR

	PROJ 77-82	Milj Kr
1. Ytjordvärme	40	
2. Sjövärme (Ytvattenvärme)	30	50
3. Grundvattenvärme	30	
4. Bergvärme	10	
5. Geotermisk värme	4	
6. (Uteluft)		
7. (Sol)		

VÄRMELAGRING I VATTEN OCH MARK

11. Tankar	3	
12. Gropmagasin	9	
13. Bergrum	10	
14. Borrhålslager i berg	15	6
15. Lagring i jord	20	
16. Lagring i akviferer (GW-magasin)	15	

ÖVR. Geo Teori. Kart. Miljö

OH-3

40 10
≈ 220 st
≈ 12

VÄRMELAGRING

17

• SÄSONGSLAGRING

- SOLVÄRME ∞ TWh
- NATURVÄRME $\sim 10 + (6+8+15)$ TWh
- SPILLVÄRME ~ 15 TWh

• KORTTIDSLAGRING

- LASTUTJÄMNING I FJV-NÄT
- SOPFÖRBEÄNNING
- FASTBRÄNSLE
- TRÖGA MÅKLAGER
- VÄRMEPUMPARS EFFERTUTJÄMN
- SPILLVÄRME 5 TWh småindustri

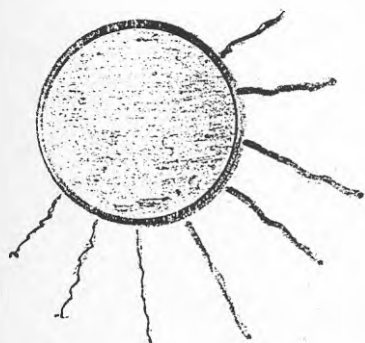
VAD ?

NÄR ?

HUR ?

DH-4

Solenergiens nyckelfråga: säsongslagringen ?



KOSTNADERNA ?

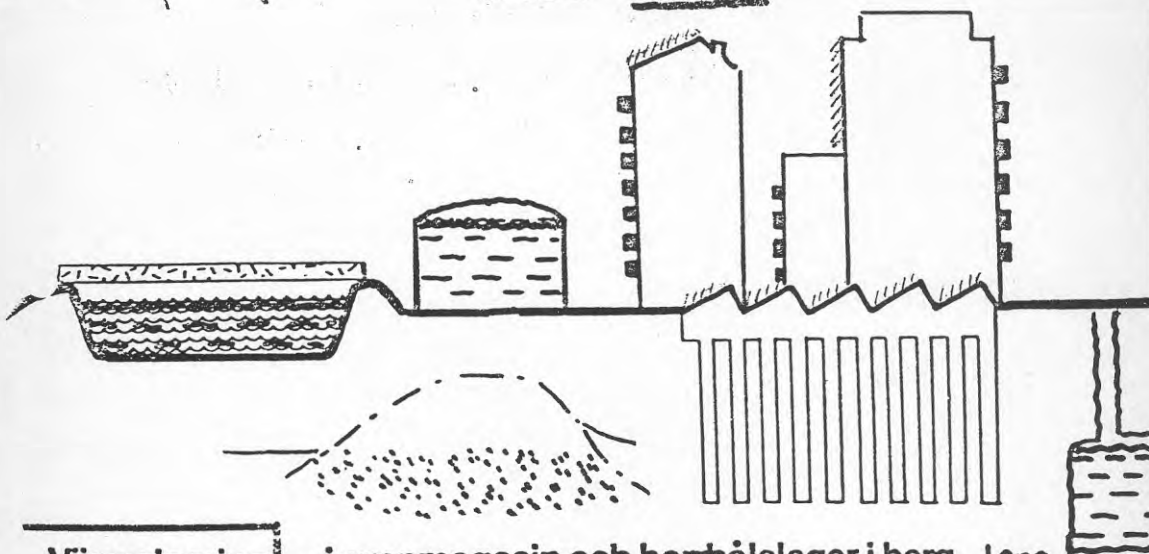
ELLER

SOLFÅNGARNA ?

ELLER

DISTRIBUTIONSLEDN. ?

ELLER PLATS ?



Värmelagring

— i gropmagasin och borrhållager i berg, lera

— i tankar och bergrum

— i akviferer

OH-5

BUDGETUTKAST EXOD-LÄN 1982-85

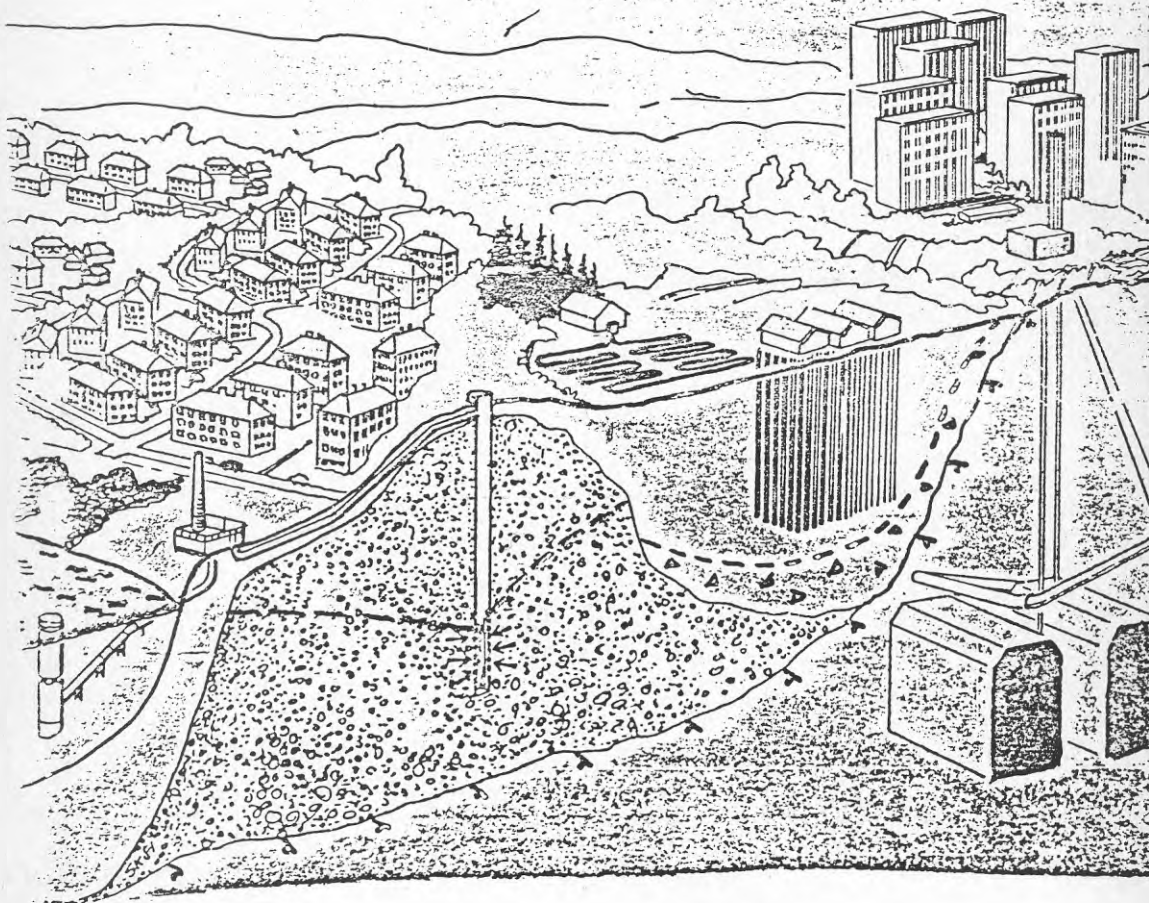
19

Värmelagring i mark och vatten

TEKNIK	Hela projekt/system kostn (sol-VP-lager)			Utfall 1978-82	
	82/83	83/84	84/85	Bidr	Läm
TANK	—	—	—	0.7	3.0
BERGBUM	—	?	?	3.3	20,0
" BLOCKFYL.			9 (del)	0.2	—
GRÖPMÅSSIN		(5)		1.3	5.6
GRÖPAR BLOCKF. BERG		6 (del)		—	—
BORRHÅLSLAGER	4	8		8.4	4.8
LÄGGING I JORD	4+3			4.6	2.8
AKVIFER I JORD	4	6 (del)	9	2.9	—
AKVIFER I BERG			(3)	0.3	0.2
ÖVRIGT	3	2	2	0.5	—
S:a lager	20 Mkr	22 Mkr	20 Mkr	22,2 Mkr	36.4 Mkr
Totalt progr 4	(50)	(48)	(45)		
<u>Värmeförvinning:</u>					
Naturliga värmekällor	6 Mkr	6 Mkr	4 Mkr	9.375 / 15	(exkl VF 20.000)
OH-6					

MARKENERGI 1990 ?

LOKALA SYSTEM OCH/ELLER FJÄRRVÄRME ?



04-7

BYGG SEKTORN 1990

G13:
1982

Behov av forskning och utveckling under 80-talet

(ENERGIFÖRSÖRDEL)

- Stadsamblyggn / Energi förändr. - behov byggnader
- Planera kommunalt (Invent. Mångfald. Valfrihet)
- Fok för byggspråk
- Oljesättningsplaner rullande
- Fok-resurser och kompetens finns
- Olja - El - Kol 40 års utveckel
- VP - Lager - Sol 4 " "
- Energi politik och Fok med kort och lång målsättn
- Utvärdering 1985-87 VÄGSKÄL?

OH-8

DE GEOTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖR
OLIKA LAGERTYPER I SVERIGE

1 Var finns lämplig mark för lager i berg?

1.1 Sveriges berggrund

Berggrunden i Sverige hör till största delen till urberget i jordskorpan. Urberget är mer än 900 miljoner år gammalt och i Sverige ligger ålderssiffrorna mellan 900 och 2000 miljoner år.

Äldst i urberget är en del vulkaniska och sedimentära bergarter vilka blivit mer eller mindre starkt omvandlade, oftast till gnejser och graniter.

I södra Sverige finns unga sedimentbergarter, mest kalksten och skiffrar men även sandsten. Öland och Gotland byggs helt upp av sådana bergarter, och i Skåne har de mycket stor utbredning. Huvudparten är vad man kallar kambrosilurisk och har en bildningstid som ligger mellan 400 och 600 miljoner år tillbaka.

1.2 Vad är lämpligt berg?

De bästa områdena för lager i berg kännetecknas vanligen av jämna, lugna ytor med ringa sprickfrekvens. Grundvattenytans lutning är här ofta flack, vilket medför en låg egen rörelse hos grundvattnet. En låg sprickfrekvens medverkar också till att minska vattnets rörelse i berggrunden.

Sämre områden är sådana berg, där bergarter genom sin rikedom på sprickor i branterna spjälkats ut och rasat ned i stora massor samt de berg vilka helt sprängts sönder genom utlösning av tektoniska spänningar. Sämst är de sedimentära bergarterna nära stora vattenbassänger där de horisontella slagen ibland kan vara kraftigt vattenförande.

1.3 Var finns lämpligt berg?

Inom och i närheten av våra större tätorter, där det kan vara aktuellt att anlägga ett värmelager, finns alltid områden med berg inom rimligt djup från markytan. Med rimligt djup menar jag inom ca 5 m, således vad man kan nå med en grävmaskin eller till en rimlig kostnad kan sätta foderrör.

För att finna det lämpligaste området måste man utföra en detaljerad geologisk-tektonisk undersökning. Det finns egentligen inga tekniska begränsningar för att anlägga ett borrhålslager i berg, ty även de sämsta bergplintarna kan, t ex med cementinjektering göras användbara. Ur ekonomisk synpunkt är det dock tveksamt att planera för ett värmelager i starkt vattenförande kalkberg som bl a träffats på vid tunneldrivning i Limhamnsområdet utanför Malmö.

1.4 Översiktlig studie inom Göteborgsregionen

Inom Göteborgsregionen har BERGAB, Berggeologiska undersökningar AB, för SUNSTORES räkning utfört en översiktlig studie över möjligheten att anlägga ett borrhålslager i berg.

Berggrunden i Göteborg har grovt indelats i fem olika bergartsled med i huvudsak nord - sydlig utsträckning. (se bil. 1).

1. Längst i väster upptas kustremsan och öarna av bergarter tillhörande Stora Le - Marstrandserien. Denna domineras av sedimentbergarter, som är metamorfoserade till glimmerskiffer, ådergnejs och migmatit.
2. Åt öster övergår dessa bergarter i ett granit-kvartsdioritdominerat område. Dessa intrusioner tillhör Åmål-Kroppefjällgranitgruppen.
3. Därefter följer ett stråk fram till Göta-Älvdalgången av alkalisk suprakrustalgnejs. Bergarten är finkornig, har ett gnejs-granitiskt utseende och är sannolikt en sydlig fortsättning av Åmålsseriens bergarter.
4. Öster om Göta-Älvdalgången utgöres berggrunden till större delen av pregotiska gnejser. Dominerande inom området är kvartsdiorit-granodiorit-granit, som genom upprepade metamorfoser blivit kraftigt förskiffrade och därigenom fått ett gnejsigt utseende.
5. En egen grupp utgör alla mörka basiska bergarter, som uppträder i form av gångar och mindre massiv inom hela området. Gruppen innehåller flera olika bergarter med för det här ändamålet likartade egenskaper och benämnes därför generellt som grönsten.

Inom samtliga delområden förekommer även andra bergartsled, men dessa har utelämnats då de på detta stadium ej anses påverka bedömningen.

Inom samtliga delområden kan man ta ut lämpliga avsnitt med relativt helt berg. Lättast torde det dock vara inom det västligaste delområdet, Stora Le - Marstrandserien. Erfarenheter från bergbrumsbyggen och brunnsborrning tyder på att berggrunden uppbygges av relativt hela plintar med en vanligtvis ringa vattenföring.

Sämst förutsättningar antas föreligga inom delområde 3 med alkalisk suprakrustalgnejs. Bergarten är i relativt stor omfattning tektoniserad med uppkrossning som följd och därmed finns risk för sprickigt berg med stor vattenföring.

Grönstenar är generellt sett bra områden utom då de uppträder som gångar.

Inom övriga delar kan lämpliga områden anvisas efter mer fördjupade tektoniska studier från befintligt material, flygbildstolkning etc.

1.5 Praktisk, bergtekniska förutsättningar för borrhålslager i berg

- ◇ Relativt lättborrat, d v s ej stora slag eller krosszoner som bl a innebär att borrhålet fastnar.
- ◇ Borrhålen får ej "rasa igen" efter borrhningen, t ex lösa stenar som täpper till eller hindrar nedföringen av ledningsbanor.
- ◇ Ringa vattenflöde.

Om ovanstående förutsättningar ej uppfylles kan man med t ex cementinjektering stabilisera och täta berget. Det innebär att man genom ett antal borrhål i det tänkta lagret under tryck pressar in cementbruk i sprickor och slag.

1.6 Erforderliga förundersökningar

För en optimal placering och projektering av ett borrhålslager i berg erfordras att de flesta av följande markdata undersökes:

Geologiska data

- bergarter
- porositet, strukturer och tektonik
- utbredning i markytan
- sprickighet, frekvens, orientering
- större sprick- och krosszoner
- densitet

Hydrauliska egenskaper

- vattengenomsläpplighet (permeabilitet, transmissivitet)
- strömningsbild (gradienter, strömningsriktningar, hydrauliska gränser)
- grundvattenbildning
- årsvariationer

Termiska parametrar

- marktemperatur (årsmedelvärde)
- årliga temperaturvariationer
- temperaturgradienter i jordlagren och berggrunden
- värmekonduktivitet
- värmekapacitet
- värmediffusivitet
- värmeledningsförmåga
- temperaturledningsförmåga

Med utgångspunkt från ovanstående markdata kan man placera lagret inom det lämpligaste området, bestämma dess geometriska utformning, håldimensioner och hålavstånd samt lämpligaste infodringsteknik.

Sedan de tekniska förutsättningarna bestämts, kan man relativt väl bedöma de ekonomiska förutsättningarna för att anlägga ett borrhålslager i berg inom aktuellt område.

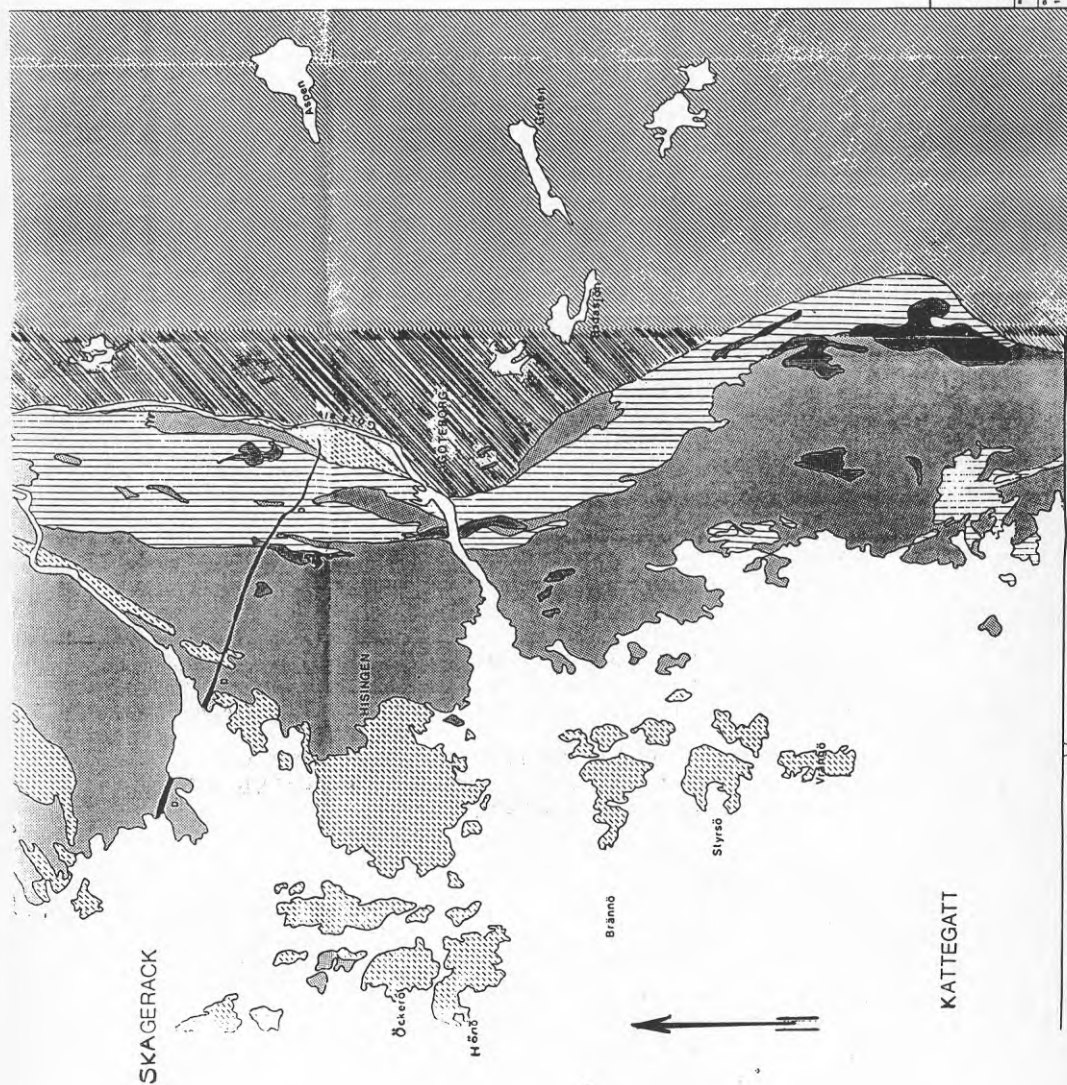
Stockholm 1983.01.10







NITRO CONSULT AB

Conny Sjöberg


Conny Sjöberg

BERGRUNDSKARTA ÖVER GÖTEBORG
MED ÖMNEJD.



-  Tvåglimmergnejs av Ådergnejstyp.
-  Götiska graniter ur Åmålis-Kroppetjällgranitserien.
-  Suprakrustala gnejser, sura och alkalina.
-  Pregolitiska gnejser.
-  Grönsten.
-  Diabas.



		Geologiska kartskiktningar för berggrunden inom Göteborgsregionen.	
Berggrundsavdelningen		Plankarta:	
S. S. Ingemarsson		SKALA 1:50 000	
1982-04-08		400-324	

JORDLAGER SOM KAN ANVÄNDAS FÖR ENERGILAGRING

av

K. Gösta Eriksson, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

De tre huvudgrupper av sediment som täcker Sverige - om man bortser från de kemiska sedimenten som är av underordnad betydelse i detta sammanhang - är

- landissediment eller morän
- av rinnande vatten, vågor eller vind avsatta finkorniga sediment
- organiska sediment eller torvjordarter.

Moränen upptar omkring 65 % av landets yta (Fig. 1). Moränens kornfördelning är vanligen mindre lämplig för energilagring, men lokalt består denna jordart av höga halter av vattensorterade finkorniga sediment - av typ Kalixpinno - och i sådana jordar finns goda förutsättningar för energilagring.

De sorterade, finkorniga sedimenten förekommer företrädesvis inom landets lägre delar - inom delar som varit täckta av hav eller Storöstersjön efter det landisen successivt lämnade landet; dessutom inom högre belägna landsdelar vilka varit upptagna av större sjöar (Fig. 2). Ett genomsnittsvärde av mäktigheten för dessa sediment ligger mellan 5 och 15 meter. I älvdalarna når jorddjupet betydande mäktigheter och sedimentdjup på mellan 50 och 100 meter är ej ovanliga i flera av våra älvdalar. I södra Sverige domineras finsedimenten av leror söder om en linje från Gävle till Strömstad; norr därom utgör siltjordar den vanligaste jordarten inom finsedimentområdena. Lokalt och särskilt inom områden med sanddyner och betydande svallsediment är sand den vanligaste kornstorleken. I stort sett kan huvudparten av de finkorniga svenska jordarna utnyttjas för energilagring, men lerjordar torde vara de mest fördelaktiga (Fig. 3).

Torvjordarter upptar ungefär en femtedel av landets yta (Fig. 4). Största torvarealen förekommer i Norrland, men även i södra Sverige är i medeltal över 8 % av markytan torvbetäckt. Fördelningen är emellertid ganska ojämn. Exempelvis i Mälardalen upptar torven endast ett par procent av arealen. Inom övre Dalarna är torvarealen mer än 40 % av landytan och i gränstrakterna mellan Halland och Småland är mer än 50 % av markytan torvtäckt. Medeldjupet på torvavlagringarna i landet har uppskattats till mellan 1 och 2 meter.

Torvmossar med större djup, som eventuellt kan nyttjas för värme- och lagring, förekommer företrädesvis i Småland, Väster- och Östergötland, Närke och Uppland.

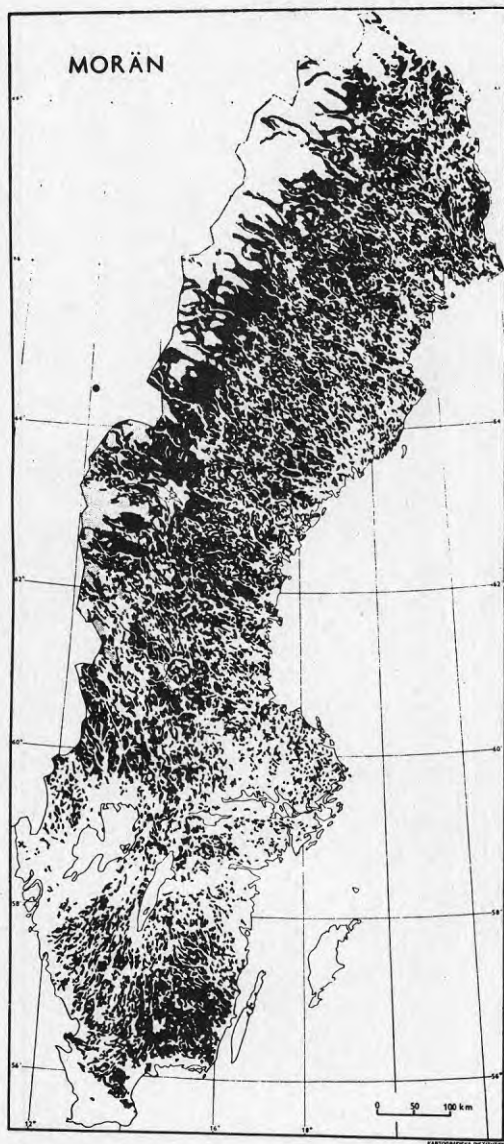


Fig 1.

Moränen är landisens avlagring, den vanligaste av alla våra jordarter. I de allra flesta fall underlagras den även de övriga jordarterna. Enda undantaget är, när någon av dessa, t. ex. lera, vilar direkt på berggrunden. Kartan borde därför ha varit nästan helt svart. På denna bild har moränleran icke räknats som morän. Den redovisas på kartan över lera (jfr Skåne, Öland, Gotland och Jämtland, sid. 548). Grå yta = Kalfjäll. Efter Atlas över Sverige bl. 15—16.

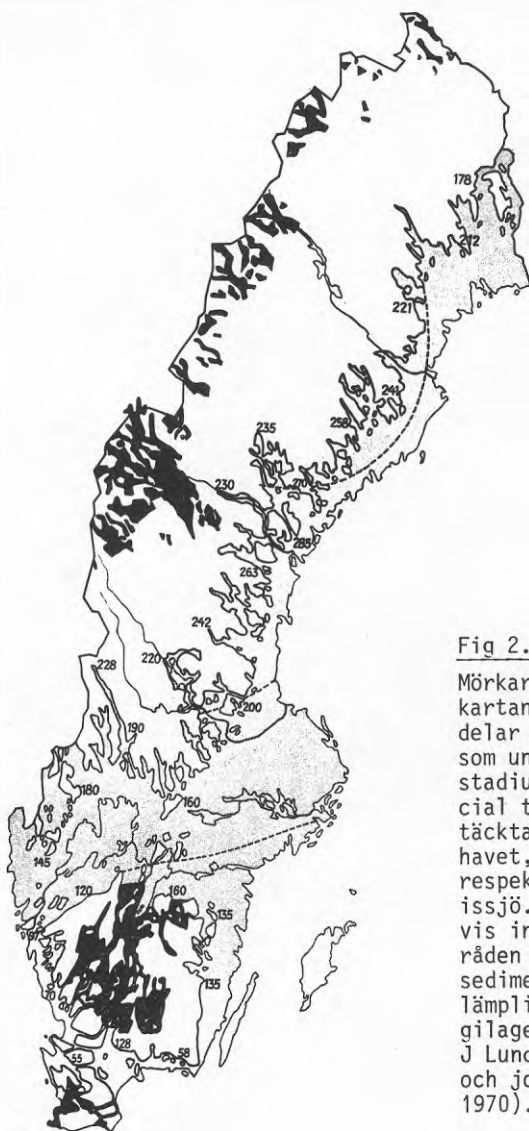


Fig 2.

Mörkare partier på kartan markerar de delar av Sverige som under något stadium av postglacial tid varit täckta av Västerhavet, Östersjön respektive någon issjö. Företrädesvis inom dessa områden förekommer sedimentavlagringar lämpliga som energilagrar. (Efter J Lundqvist: Berg och jord i Sverige. 1970).

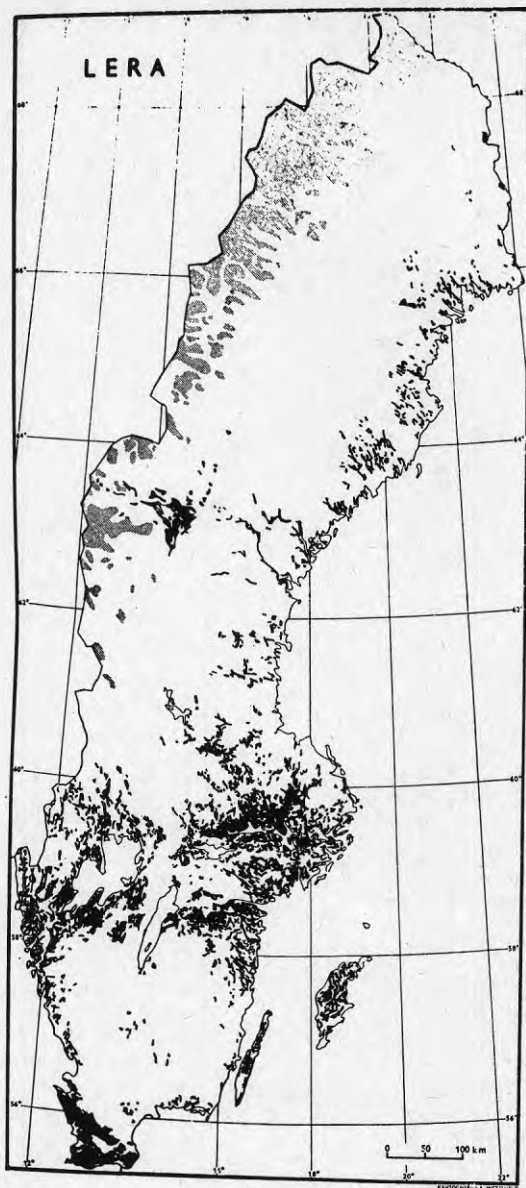


Fig 3.

Leran redovisas här kollektivt, alltså både glaciärrer (varviger lerer) och postglaciärrer. Därtill kommer moränlerer (Skåne, Öland, Gotland och Jämtlands Storsjö-området), vilken under vissa omständigheter knappast kan skiljas från sedimentär lerer. Inom Norrland torde en stor del av lerbeteckningen markera både mjåla och finmo. Grått = kalkjåll. Efter Atlas över Sverige, bl. 15—16.

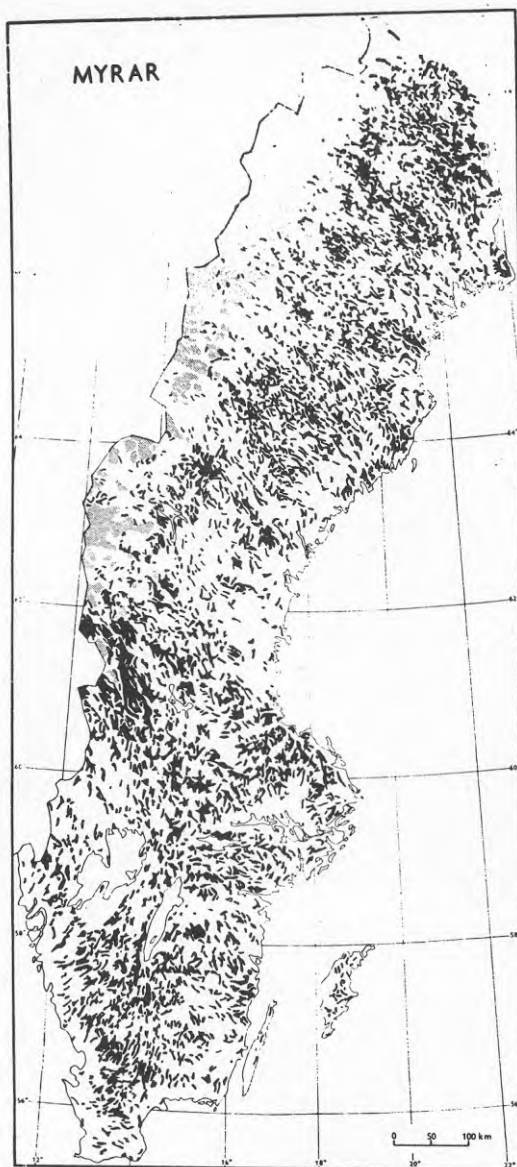


Fig 4.

Myrarna, torvmärkerna, synes vara samlade till större ytor inom vissa områden (norra Skåne, väster om Vättern, västra Dalarna, Jämtlands siluområde, Kiruna-trakten). Nykarteringen i Jämtland visar emellertid, att även området upp emot fjällen är mycket rikt på myrar. Möjligen är det likadant inom övriga Norrland. Grått = kalfjäll. Efter Atlas över Sverige bl. 41-42.

AKVIFERLAGRING. VAR FINNS LÄMPLIG MARK. POTENTIAL

av Hans Hydén, VBB Stockholm.

1 BAKGRUND

Grundvatten har under senare år uppmärksamats som en lämplig värmekälla för värmepumpar. Problemet med direkt användning av grundvatten är att de naturliga grundvattentillgångarna i Sverige oftast är för små för storskalig värmeproduktion samt att grundvattnet nära tätorterna ofta tagits i anspråk för kommunal vattenförsörjning.

Vidare har grundvattenmagasin (akviferer) uppmärksamats som en ekonomiskt rimlig möjlighet för säsongslagring av värme. Lagring av värme från den varma årstiden till den kalla, då energibehovet är som störst, är ofta en förutsättning för ett effektivt utnyttjande av solvärme och spillvärme.

De grundvattenmagasin som i Sverige kan utnyttjas som värmelager utgörs främst av isälvsavlagringar (grusåsar) och vissa sedimentära bergarter. Det utvecklingsarbete som hittills har bedrivits visar, att värmelagring i isälvsavlagringar är tekniskt möjlig främst om lagertemperaturen hålls låg, under 30-40°C. För akviferlagring i sedimentärt berg kan eventuellt lagring vid högre temperaturer vara möjlig. Akviferlagring är därför normalt förenad med värmepumpsteknik. Med värmepumpar kan de temperaturer uppnås som krävs för att värmets ska kunna tillföras konventionella fjärrvärmenät.

Begränsningen i lagertemperatur gör att den generellt intressantaste värmekällan för laddning av akviferlager är sommarvarmt ytvatten, medan laddning med t ex lågvärdig industriell spillvärme mer är att betrakta som specialfall.

En översiktlig rikstäckande inventering av de tätorter där ett kombinerat utnyttjande av akviferer som värmelager samt värmepumpar bedöms kunna bidra till värmeförsörjningen har utförts. Studien avser befintlig bebyggelse och tar således ej hänsyn till tillkommande värmeunderlag i framtida bebyggelse.

För att motivera gemensamma värmeförsörjningsanläggningar av aktuellt slag krävs ett värmeunderlag på minst ca 3 GWh/år (motsvarar ungefär uppvärmningen av 150 lägenheter) med rimlig värmetäthet. Förutom kravet på värmeunderlaget måste orten ligga inom ett visst avstånd från den geologiska bildning som ska utnyttjas, för att systemet ska bli ekonomiskt försvarbart.

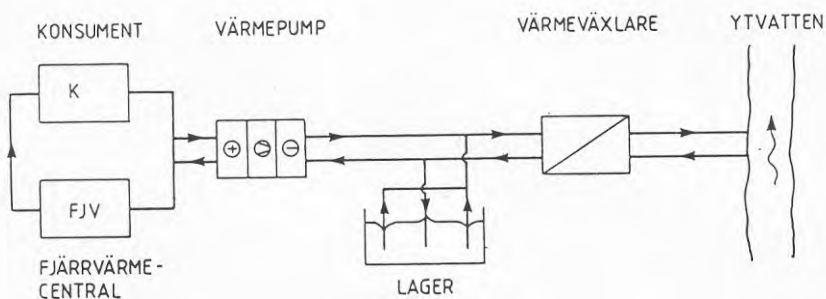
Avsikten med inventeringen har främst varit att göra en översiktlig bedömning av landets samlade potential för värmeproduktionsanläggningar av den aktuella typen.

2 PRINCIPER FÖR AKVIFERLAGRING VID LÅG TEMPERATUR

En möjlig teknisk lösning för akviferlagring vid låg temperatur illustreras i Figur 2.1 och kan i korthet beskrivas enligt följande.

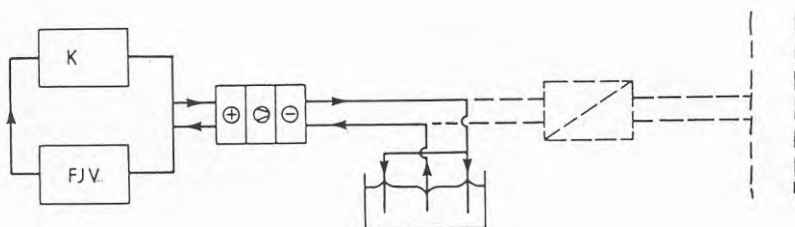
Sommarvarmt vatten från en sjö eller ett vattendrag pumpas till en värmepump där värmen förs över till ett slutet cirkulationssystem för grundvatten. Grundvattnet pumpas härvid upp ur brunnar i kanten av lager-

Figur 2.1 Driftsschema.



SOMMAR

UPPLADDNING AV LAGRET, YTVATTENVÄRME TILL VÄRMEPUMPEN



VINTER

UTNYTTJANDE AV LAGRET TILL VÄRMEPUMPEN

området och återförs uppvärmt till centrum av lagerområdet via en eller flera infiltrationsbrunnar. Det värme som på detta sätt tillförs grundvattenmagasinet kommer dels att magasineras i själva grundvattnet, dels att värma upp sand- och grusmaterialet i marken (eller de utnyttjade sedimentära bergarterna). Under sommaren utnyttjas samtidigt ytvattnet direkt som värmekälla för värmepumpen via värmeväxlaren.

Under vintern stängs ytvattenkretsen av och det uppvärmda grundvattnet används som värmekälla för värmepumpen. Vid urladdningen av lagret kommer grundvattnet på motsvarande sätt som vid laddningen, att dra ur den värme som lagrats i marken.

Konstruktionen med ett antal brunnar runt lagerområdets ytterkant möjliggör styrning av grundvattenflödena inom lagerområdet så att det uppvärmda vattnet kan hållas kvar runt lagrets centrumbrunn.

Lagersystemet är på samma sätt användbart för lagring av spillvärme varvid lagrets temperatur och temperaturvariationer kan ökas något. Härigenom ökar lagrets värmelagringskapacitet. Även värmepumpens värmefaktor ökar.

Det bör betonas att den skisserade systemlösningen arbetar med komponenter som representerar känd teknik för grundvattenförsörjning och värmeteknik men som satts samman i ett nytt tekniskt system. Det kan också noteras att ett aktivt utnyttjande av grundvattenmagasinet för värmelagring på föreslaget sätt väsentligt ökar potentialen för värmeuttag jämfört med passivt utnyttjande av grundvattenvärme, uppskattningsvis med en faktor tio.

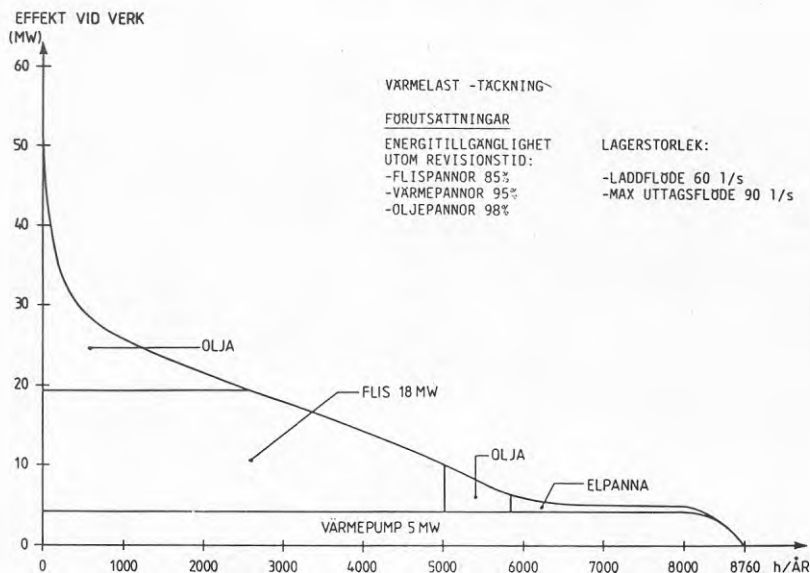
Slutligen bör noteras att andra tekniska lösningar än den ovan beskrivna kan vara tänkbara. T ex bör i vissa fall värmelagret kunna laddas med hjälp av infiltrationsbassänger i markytan.

3 AKVIFERLAGER SOM KOMPONENT I VÄRMEPRODUKTIONSANLÄGGNINGAR

Förprojektering av akviferlager av den typ som beskrivits i Kapitel 2 har tidigare genomförts för några anläggningar av olika storlek.

Som exempel kan nämnas Tranås tätort. Tranås har idag ett utbyggt konventionellt fjärrvärmenät. Värmeproduktionen sker med flis och olja och effektbehovet beräknas till maximalt ca 50 MW år 1985. Som en möjlig komplettering av värmecentralen har studerats en värmepump på 5 MW med akviferlager och Svartån som värmekälla. Värmepumpen skulle då täcka baslasten (ca 30 % av energibehovet) och få en mycket hög utnyttjningsgrad (lång fullasttid).

Figur 3.1 Varaktighetsdiagram. Värmelast och täckning för Tranås fjärrvärmenät.



Figur 3.1 visar hur det totala värmebehovet i Tranås kan täckas med olika produktionsenheter. Enheter med höga anläggningskostnader och låga bränslekostnader, typ värmepump och fastbränsleanläggning ges längst fullasttid medan effekttopparna täcks med olja vilket medför små fasta kostnader men hög bränslekostnad.

Den totala anläggningskostnaden för Tranåsanläggningen

beräknas uppgå till ca 18 Mkr, dvs 3 600 kr per installerad kW. Värmeproduktionskostnaden inklusive kapitalkostnaden uppgår till ca 0,12 kr/kWh vid kalkylräntan 6 % och elpriset 0,18 kr/kWh. (Med 15 % kalkylränta ökar produktionskostnaden beräkningsmässigt till 0,15 kr/kWh.) Pay off-tiden för en anläggning av detta slag som ersätter olja blir 3-4 år. Om anläggningen ersätter fastbränsleeldning blir pay off-tiden något längre.

För bl a Östra Ljungby tätort i Klippans kommun har studerats förutsättningar för gemensam värmeförsörjning för ett totalt energibehov av ca 8 GWh/år. Värmetätheten är för låg för konventionell fjärrvärme och i stället har skissats ett system med distribution av vatten med lagrets temperatur och lokala värmepumpar för större samlade värmebehov. Systemet bedöms kunna göras konkurrenskraftigt gentemot individuell oljeeldning om överföringsavstånden mellan värmekälla, lager och användare är små. Värmepumparna beräknas täcka 80 % av energibehovet medan resten täcks med befintliga oljepannor.

4 PRODUKTIONSKOSTNADER SOM FUNKTION AV VÄRMEPUMPENS ENERGIBIDRAG

Den bästa ekonomin för en värmepumpanläggning erhålls om den kan köras med full effekt hela året som en basproduktionsanläggning, t ex enligt Figur 3.1. Den kan då täcka ca 30 % av energibehovet.

Om en större andel av energibehovet ska täckas med värmepumpen stiger produktionskostnaden eftersom anläggningen tidvis ej utnyttjas till full kapacitet.

För att belysa dessa förhållanden har utgående från Tranås-studien, analyserats hur ekonomin för en värmepumpanläggning med en viss effekt skulle förändras om den placerades i konventionellt dimensionerade fjärrvärmesystem av olika storlek i förhållande till värmepumpens storlek.

Vid 25 % andel av produktionseffekten (60 % energibidrag) uppgår kostnaden till 0,14 kr/kWh och vid 40 % andel (80 % energibidrag) till ca 0,16 kr/kWh.

Vid stort energibidrag från värmepumpen blir kostnaden beroende av värmepumpens konstruktion och temperaturerna i fjärrvärmenätet. Värmepumpens andel av den totala produktionseffekten bör normalt ej göras större än 40 % eftersom värmepumpens ekonomi då försämras av att den måste leverera mycket höga vattentemperaturer till fjärrvärmenätet. Detta gäller främst för normalt tempererade fjärrvärmesystem (120°C/70°C-system). För lågtempererade system (exempelvis 95°C/65°C-system) kan förutsättningar finnas för att öka värmepumpens effektandel upp till 50 % (över 95 % energibidrag).

5 KOSTNADER FÖR ÖVERFÖRING AV VÄRME

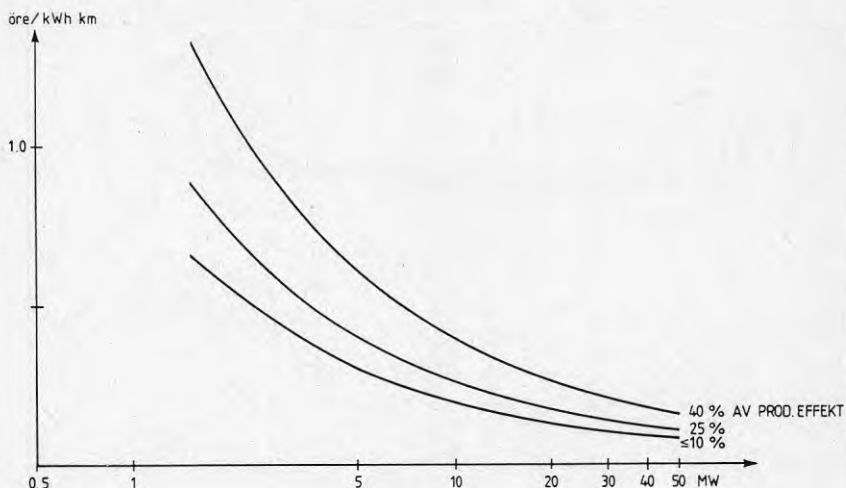
Värmekälla, värmelager och värmecentral kan normalt ej påräknas ligga i nära anslutning till varandra såsom fallet är i Tranås (ca 500 m). I de flesta fall tillkommer därför en kostnad för överföring av värme från värmekälla till värmecentral.

Värmeöverföringen mellan värmekälla, lager och värmecentral sker med en maximal vattentemperatur av ca 20°C. Överföringen sker i två konventionella vattenledningar för fram- resp återledning. Kostnaden för en sådan överföringsanordning låter sig således relativt väl beräknas.

Under förutsättning att en temperatursänkning av 5°C i ytvattnet kan utnyttjas för värmeuttag under laddningsförloppet och att värmepumpens värmefaktor är 3,0 krävs ett vattenflöde av ca 27 l/s per MW värmeeffekt från värmepumpen. Dessutom krävs ett ytterligare vattenflöde för att samtidigt ladda värmelagret som är ca 50 % av det första.

Resultatet av beräkningar av överföringskostnaden är sammanfattade i Figur 5.1. Denna visar kapitalkostnader för överföringsledningar (2 parallella ledningar) som funktion av värmepumpens storlek och andel av total produktionseffekt i värmeproduktionsanläggningen. I figuren kan t ex utläsas att för en 5 MW värmepump som täcker 25 % av effektbehovet blir överföringskostnaden 0,4 öre/kWh, km. Avståndet avser det totala avståndet från värmekälla till värmepump via lagret.

Figur 5.1 Överföringskostnad för värme till värmepump som funktion av värmepumpstorlek.



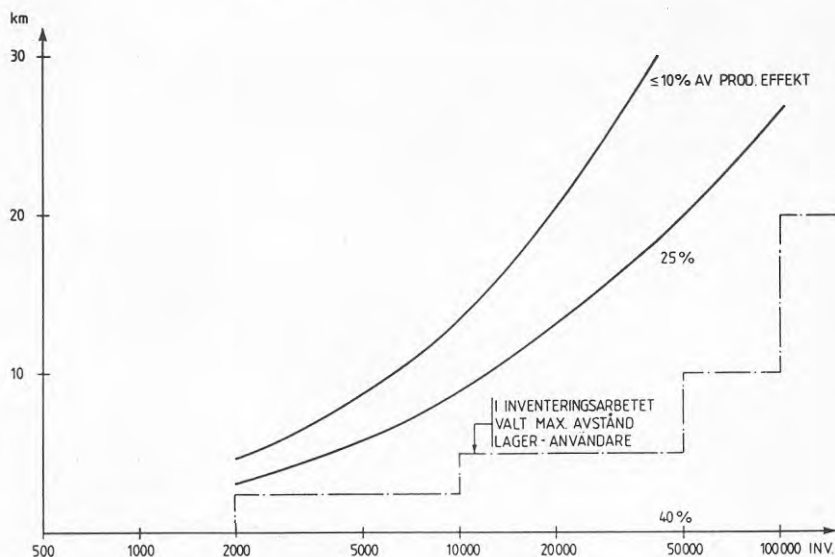
6 INVENTERING AV POTENTIELLA AKVIFERLAGER

Inventeringsarbetet har utgått från att en acceptabel produktionskostnad för värmeproduktion till större fjärrvärmenät är 0,16 kr/kWh. Tillåtet avstånd mellan värmekälla och värmecentral blir då beroende av värmepumpens andel av den totala produktionseffekten. En lägre andel av effekten innebär en längre fullasttid och medger således utrymme för större överföringskostnader. Värmepumpeffekter lägre än sommarlasten ger dock inget ytterligare utrymme.

Kostnaden 0,16 kr/kWh är konkurrenskraftig jämfört med totalkostnader för torv- och fliseldning i medelstora anläggningar men något högre än kostnaden för koleldning. I de fall man redan har installerat fastbränslepannor måste man konkurrera med de rörliga kostnaderna som för torv och flis är ca 0,12 kr/kWh och för kol något lägre. Utrymmet för värmeöverföringskostnader för värmepumpen är i det senare fallet mycket begränsat.

Utgående från de kostnadsberäkningar som redovisats i det föregående har upprättats ett diagram, Figur 6.1, som visar maximalt acceptabelt överföringsavstånd för produktionskostnad 0,16 kr/kWh som funktion av värmeunderlagets storlek och värmepumpens andel av

Figur 6.1 Maximalt överföringsavstånd som funktion av anläggningsstorlek (80 % anslutning).



produktionseffekten. Värmeunderlaget har uttryckts i antal invånare med antagande om 80 % anslutning till den gemensamma värmeförsörjningsanläggningen.

I inventeringsarbetet har i det första steget endast beaktats avståndet mellan potentiella akviferlager och tätorter. För att ha marginal för överföring från värmekälla till värmelager har därför det maximalt tillåtna avståndet mellan lager och bebyggelse begränsats enligt Figur 6.1. För orter under 2 000 inv har tillåtet överföringsavstånd satts till noll eftersom förutsättningar för konventionell fjärrvärmeförsörjning bedöms som små och endast system typ Östra Ljungby normalt kan bli aktuella, vilka endast är konkurrenskraftiga om överföringsavstånden är små.

De geologiska bildningar som bedömts kunna lämpa sig för akviferlager av beskriven typ är dels grovkorniga isälvsavlagringar av olika slag med en vattenförande mäktighet av minst ca 10 m, dels sedimentär berggrund som bildar porakviferer, i vilka förutsättningar finns att anlägga konventionella grundvattenbrunnar för infiltration och uttag av vatten i stora kvantiteter. Kännedomen om akvifererna i sedimentberggrunden är begränsad och potentialen för värmelagring där har därför bedömts försiktigt.

I det inledande inventeringsarbetet har ej beaktats eventuella motstående intressen med anspråk på grundvatten och grusförekomster. Denna fråga behandlas vidare i kapitel 8.

Från geologiska översiktskartor i skala 1:400000 har de intressanta geologiska bildningarna överförts på översiktskartor i skala 1:250000.

Orter större än 500 inv med ett visst givet maximalt avstånd från markerade geologiska bildningar har förtecknats.

De maximala avstånden visas i Figur 6.1. För akviferlager i sedimentberggrund har, för att ej överskatta potentialen, de maximala överföringsavstånden förskjutits en klass så att orter i den minsta storleksklassen ej tagits med i inventeringen.

Med hjälp av topografiska kartor, jordartskartor och i förekommande fall hydrogeologiska kartor har bedömts huruvida möjligheter finns att anlägga akviferlager enligt uppställda kriterier.

7 BEBYGGELSEINVENTERING

Inventeringen av bebyggelsen i de akviferlagerintressanta tätorterna har gjorts med utgångspunkt från SCBs FoB-80 material. (Lägenheter efter hustyp och byggnadsperiod i kommuner och tätorter 1 november 1980 enligt indelningen 1 januari 1981.)

Lägenhetsantalet i FoU-statistiken har omräknats till ytor för flerbostadshus- och småhuslägenheter. En uppskattning av tätortens övriga lokalytor har gjorts på grundval av bostadsytorna. Med hänsyn tagen till tätortens huvudsakliga expansionsperiod har en relevant specifik energiförbrukning valts ur SCBs energistatistik, varvid totalt energibehov för flerbostadshuslägenheter och lokaler kunnat beräknas.

För de tätorter, som har ett redan utbyggt fjärrvärmesät eller ett under utbyggnad, har levererad värmemängd för perioden juli 1980 till juni 1981 angivits enligt Svenska Värmeverksföreningen. Som jämförelse har dessutom angivits den planerade värmemängden för år 1990 enligt Svenska Värmeverksföreningens "Bränsleplan 81".

Då föreliggande studie i första hand avser blockcentralnivå om minst 3 GWh/år, så har tätorter med mindre än 150 flerbostadshuslägenheter gallrats bort.

Det har beaktats att det inte är sannolikt att det totala energibehovet finns så samlat i bebyggelsen att det kan täckas med ett distributionsnät som blir rimligt från kostnadssynpunkt. Vid utvärderingen av lagerpotentialer och laddningsmöjligheter har därför det totala energibehovet för varje tätort minskats med ca 10 %.

8 POTENTIELLA AKVIFERLAGER FÖR BEFINTLIG BEBYGGELSE

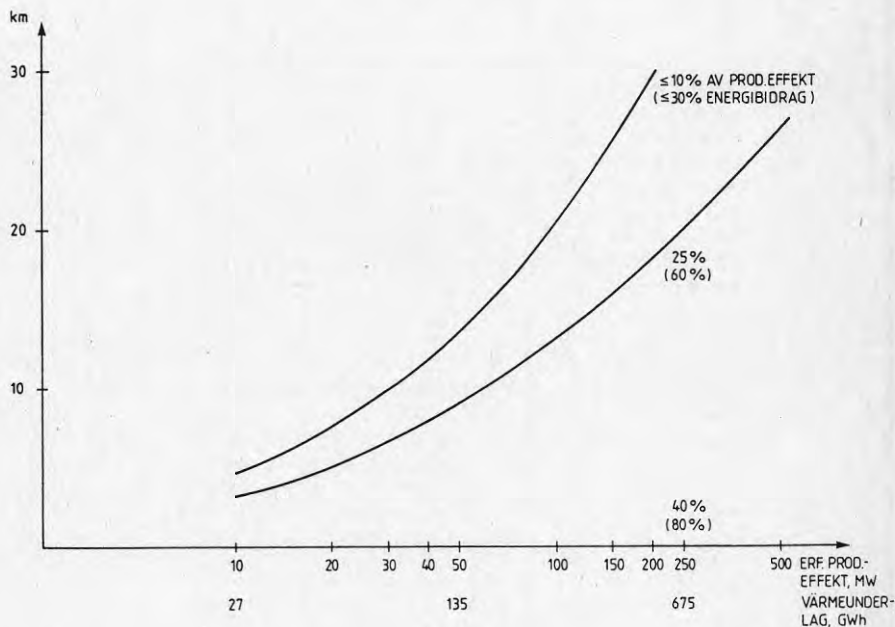
I en avslutande etapp av inventeringsarbetet har gjorts en bedömning av i vilken utsträckning det i Kapitel 7 beräknade värmebehovet ekonomiskt skulle kunna tillgodoses med värmepumpar och akviferlager.

Som underlag för detta arbetsmoment har upprättats ett diagram, Figur 8.1 som visar maximal ekonomisk lagerstorlek som funktion av värmeunderlag och överföringsavstånd från värmekälla via lager till värmecentral.

För de potentiella akviferlagren har först identifierats en möjlig värmekälla. Bedömningen att ett visst ytvattendrag är tillräckligt stort för att räkna till som värmekälla för en viss lagervolym är i några fall mycket osäker. Där stora osäkerheter i bedömningen föreligger har därför notering gjorts i inventeringsmaterialet.

Med det totala avståndet mellan värmekälla och bebyggelse via lagerplatsen samt värmeunderlaget som ingångsparametrar har med hjälp av Figur 8.1 tagits fram

Figur 8.1 Ekonomisk lagerstorlek som funktion av värmeunderlag och överföringsavstånd.



möjlig värme pumpstorlek och det energibidrag som denna kan ge.

Överslagsmässigt uppgår erforderlig volym på akviferlagret till ca 350 000 m³ per MW värmepumpeffekt oavsett det totala energibidraget. Detta sammanhänger med att hela värmebehovet för vinterhalvåret måste lagras och att värmepumpen går med full effekt under denna tid oavsett hur den är dimensionerad inom de gränser som förutsatts (10-40 % av total produktions-effekt).

Härefter har värderats i vilken utsträckning detta lagerbehov kan tillgodoses på de identifierade potentiella lagerplatserna. Vid lagrens inplacering har i möjligaste mån hänsyn tagits till kända kommunala grundvattentäkter så att lagren placerats på minst 500 m avstånd från dessa. Detta avstånd bör i de flesta fall vara mer än tillräckligt för att eliminera en märkbar termisk påverkan på vattentäkten. Speciella hänsyn till ev grustäktsintressen har ej tagits eftersom akviferlager av beskriven typ normalt ej behöver inskränka grustäktsmöjligheterna. Grustäktsintressen bör dock beaktas vid placering av brunnar och ledningar som hör till lagret.

De med hänsyn till ovan givna kriterier möjliga lagervolymerna har omräknats till möjlig värmepumpeffekt och årligt energibidrag. Härvid utgörs ca 1/3 av det beräknade energibidraget av drivel som måste tillföras värmepumpen.

En summering visar att ca 12 TWh/år eller ca 18 % av Sveriges totala nettouppvärmningsbehov kan täckas genom ett kombinerat utnyttjande av ytvatten, grundvattenmagasin och värmepumpar. Detta motsvarar ett bruttobehov av ca 1,5 miljoner m³ olja. Detta förutsätter att värmelager anläggs i drygt 200 orter. I ytterligare ett tjugotal orter finns förutsättningar för värmelagring om en lämplig värmekälla, t ex spillvärme eller soldammar, finns tillgänglig eller kan anordnas.

Det bör slutligen framhållas att de generaliserade och ibland försiktiga kriterier, som varit nödvändiga att använda i ett inventeringsarbete av detta slag, gjort att en del platser med möjligheter för akviferlager fallit bort. Att en ort ej finns med i denna inventering utesluter således ej att lagringsmöjligheter ändå kan föreligga. Detta förhållande bekräftas av ett antal pågående projektstudier för orter som ej är med i inventeringen.

JORDVÄRMEGRUPPEN OCH LÅGTEMPERATURLAGER
samt
RAPPORT FRÅN IEA, ADVANCED HEAT PUMPS, ANNEX II,
DEVELOPMENT OF A VERTICAL EARTH HEAT PUMP SYSTEM

Gösta Rosenblad
JORDVÄRMEGRUPPEN CTH

1 JORDVÄRMEGRUPPEN (JVG)

Start hösten 1976 och första större anslag 1977.

1.1 Institutioner

Samarbete 3 institutioner CTH, nämligen

Geologiska institutionen
Inst för Värmeteknik och maskinlära
Avd för Husbyggnad vid inst för Arkitektur

Idén med vertikala rör för jordvärme föddes tidigt, då litet ytbehov är attraktivt liksom möjlighet till drift med värme från jord eller från luft då laddning alltid erfordrades. Lera fördelaktigt med hänsyn till rörens montage.

Institutionernas insatser:

1.1.1 Geologi

Mätmetoder för termiska egenskaper i marken.
Geologiska och tekniska synpunkter på frysning av lera.
Byggteknik för lågtemperaturlager.

1.1.2 Värmeteknik och maskinlära

Studium i datormodell av hela system; värmepump, värmefångare och marklager.
Byggt Utby med jordlager i lera och numera vindkonvektor. Frysning har varit starkt aktuell.

1.1.3 Husbyggnad

Arbetar mest med installations- och arkitektoniska frågor där lager i liten utsträckning kommer in. Arrangemanget av vindkonvektor dock betydelsefullt och följd av lågtemperaturlager.

Det skall framhållas att institutionerna inom jordvärmegruppen också bearbetar andra frågor, som inte berör lågtemperaturlager.

Gruppen i dess helhet samarbetar i utvärdering av
1) Utby, 2) Sunclay, 3) Orsa och 4) Surte; i de
båda senare fallen ytjordvärme.

1.2 Närmast framtida arbeten

Närmast ligger före ett antal "case studies" med
noggrann uppskattning av olika kostnader. Vidare
i fortsättning därav systemstudier med beaktande
av påverkan på hela samhället. Där kommer in frå-
gor om både låg- och högtemperaturlagring, till-
satsenergi av olika slag, bedömningar om utveck-
lingspotentialer osv.

JVG avser att i februari eller mars ordna ett
seminarium gällande erfarenheter av mätningar och
utvärderingar av jordvärmeanläggningar.

2 IEA ANNEX II

Arbetet är i december 1982 i utrednings- och
slutförandefasen. Det beräknas föreligga i tryck
våren 1983.

Huvudkapitlen är:

State of the Art
Soil and Ground Conditions
Climate Conditions
Annual Heat Demand for Buildings
Computer Program
Heat Transfer in Ground
Components and Prices
Annual Energy Use - Storage Configurations
Technical Potential
Barriers to Use
Economic Considerations
Further Research and Development

Sammanställande och ordförande är Bernt Bäckström,
s k Operating Agent Göran Hultmark. Företrädare
för USA, Canada, Danmark, Österrike och Sverige.

Klart olika utveckling i olika länder. USA är
mest intresserat av mindre hus och möjligheter
till sommarkyla, Österrike för strömmande grund-
vatten, Danmark har svåra grundförhållanden för
lager.

Utan att skryta kan konstateras att Sverige lig-
ger klart före och att rapporten kommer att ha
mer att lära de utländska staterna än oss.

LÅGTEMPERATURLAGER I UTBY. KONSTRUKTION OCH ERFA- RENHETER.

Gösta Rosenblad
JORDVÄRMEGRUPPEN CTH

1 VÄRMEPUMPSYSTEMET

Figur 1 visar schematiskt systemet i Utby.

I anslutning till brinepumpen finns två motorstyrda trevägsventiler. Ventilen före pumpen avgör om brinelösningen skall komma från vindkonvektorn eller från lagret. Ventilen efter pumpen dirigerar brinen till värmepumpen eller till lagret. Av totalt fyra möjligheter är tre intressanta, nämligen när pumpen suger från vindkonvektorn a) driftsättet värmepump luft och b) laddning. Vilketdera avgörs av ställningen hos ventilen efter pumpens utlopp. Vid det tredje driftsättet, c) värmepump jord, suger inloppsventilen från lagret och dirigerar utloppsventilen till värmepumpens förångare. Observera att det varmaste brineflödet alltid förekommer i lagrets centrum.

2 LAGRETS UPPBYGGNAD

Figur 2 visar lagerelementen i form av 10 m långa PVC-rör med diametral mellanvägg. Nedtill är en huv tillklistrad, upptill ett T-rör. Observera det lilla hålet överst i T-styckets mellanvägg, medgivande ostörd luftpassage oberoende av strömriktningen.

Figur 3 visar planvy av lagret med 37 rör. Förbindelseslangarna är av polyeten. Uppdelning på tre parallella passager för att nå rimligt tryckfall. Ventilerna underlättar sökningen efter eventuella läckor. De är tillgängliga från ytan genom två brunnar med täta lock.

Förbindelseslangarna ligger 0,5 à 0,6 m under markplanet. Avstånden emellan rören är överallt 2,0 m. Lagrets yta är 128 m² och volym ca 1300 m³.

Marken är lera $\lambda = 1,12 \text{ W/m K}$, $C_V = 3,6 \text{ MJ/m}^3 \text{ K}$ med hög vattenkvot $w = 60-80 \%$ (= viktsmängd vatten relativt torr lera).

Den runda lagerformen är diskutabel, då återläggning av bortschaktade jordmassor måste göras ma-

nuellt med skottkärror. Det bedömdes omöjligt att utan skador köra med grävmaskin på den med ca 0,5 m igenfyllda gropen.

Figur 4 visar ett par förslag till lager, där det vertikala systemets fördel att medföra små schaktmassor sökt utnyttjas.

3 DRIFTSRESULTAT 1979-1982

Figur 5 visar som heldragna linjer femdagarsmedelvärden av in- och urladdning under 1981. Laddning från vindkonvektor börjar i april och är i stort sett avslutad i september. Slutet av mars och oktober är viloperioder, då värmebehovet täckes via vindkonvektorn.

Streckad linje visar beräknade läckflöden, som är reella förluster under månaderna juli t o m november men värmestillskott under december t o m juni. Förluster och vinster uppväger varandra, vilket bör vara karaktäristiskt för lager av denna karaktär.

Figur 7 visar ytterst de minsta och högsta medeltemperaturerna hos lagret under åren 1980 till 1982. I de båda mittkolumnerna visas vid samma tillfällen de ostörda jordmedeltemperaturerna över 0,5-10,5 m djup.

Den låga temperaturen 1980 kommenteras i det följande. Detta år laddades med värmeväxlare och fläkt inbyggda på vinden, medan de båda följande åren laddades med vindkonvektor. Den varma sommaren 1982 förklarar de högre maximalvärdena detta år. Den högre minimumtemperaturen 1982 beror på stark kyla i december och januari. Vid dessa tillfällen var värmepumpens kapacitet otillräcklig. Då kylperioderna inträffade i början av vintern, sparades lagret genom att hela lasten togs på olja. Hade motsvarande kyla inträffat senare vid god lagersituation, hade värmepumpen fått arbeta kontinuerligt och endast toppvärmebehovet tagits med olja. Därmed hade säkert också lagret kylts ner längre. Starkt avgörande för lagrets minimumtemperatur är vädersituationen i sista delen av februari och i mars samt tidpunkten då en laddning kan påbörjas.

Figur 6 ger ett sammandrag av driftsstatistik för tre bränslesäsonger. Laddning började 1979-06-20 vid jordmedeltemperatur av ca 8,5 °C. Värmepumpen startades 1979-10-11, varvid värmeupptagning från luften som nämnts skedde med värmeväxlare och fläkt. Verkan av förändringar avspeglas tydligt.

Så t ex är den starka sänkningen av COP från 2,82 till 2,20 när laddningsenergin beaktas en följd av luftfläktens energibehov, 1,2 kW. När de följande åren vindkonvektorn användes, minskar energibehovet för laddning till 25 % av tidigare värde eller 0,4 kW motsvarande brinepumpens effekt. Därmed är skillnaden mellan COP utan respektive med laddningsenergi mindre, ca 10 %.

Under den första driftsperioden var driftstiden för luftvärmepump endast 233 h, medan den för jordvärmepump var icke mindre än 2297 h. Under de båda senare säsongerna var tiden för jordvärmedrift 700 till 800 timmar lägre på bekostnad av en inte fullt lika stor ökning i tiden för luftvärmedrift. Dessa förändringar hänger samman med att i april 1980 den ursprungligen manuella styrningen av trevägsventilen före brinepumpen - se figur 1 - ersattes med en automatisk styrning bestämd av utomhusluftens temperatur. Genom att under vinterhalvåret via automatiken utnyttja alla de tillfällen då lufttemperaturen var tillräcklig för drift luftvärmepump, dvs mer än ca +2 °C, kunde jordvärmefältet avlastas med i medeltal ca 800 driftstimmar. Verkan härav framgår tydligt av ett par av mittkolumnerna, där det redovisas varifrån värmepumpen hämtat sitt lågtemperaturvärme. Under första året hämtades från marken ca 59 Gcal men under de följande endast 37 resp 34. Detta förklarar den låga lagertemperaturen 2,4^o, se figur 7, men också att marken första året i betydande grad varit frusen, en omständighet som temperaturmätningarna endast registrerar med ett 0-värde.

Den automatiska skiftningen luftvärme till jordvärme eller omvänt minskade belastningen på lagret från 100 till ca 60 %! Genom vindkonvektorn kan mindre lager väljas.

Energien från marken till värmepumpen borde så när som på positiva eller negativa lagerförluster stämma överens med energin från vindkonvektorn till marken. Att så inte är fallet första drifts-säsongen med 58,8 GJ från marken och 26,6 GJ till lagret har att göra med dels att marken vid starten var varmare än vid samma tidpunkt följande år, dels med den onormala frysningen i lagret, som torde ha orsakat ett onormalt stort värmeinläckage.

Emellertid är skillnaderna stora också de följande åren, 37,3 och 33,6 GJ uttagna emot 31,1 och 27,2 GJ inmatade. Orsaken torde vara att förbindelseledningarna emellan rören, se figur 3, tjänstgör som ett ytjordvärmsystem, som sommartid värmer brinelösningen efter varje passage av ett rör.

Den här beskrivna erfarenheten antyder ett hyb-

ridsystem yt/vertikal-jordvärme med vertikala rör av djupet 3 till 5 meter och laddning enbart genom att cirkulera brinelösningen. Ett sådant system borde kräva en area betydligt mindre än ett normalt ytjordvärmesystem.

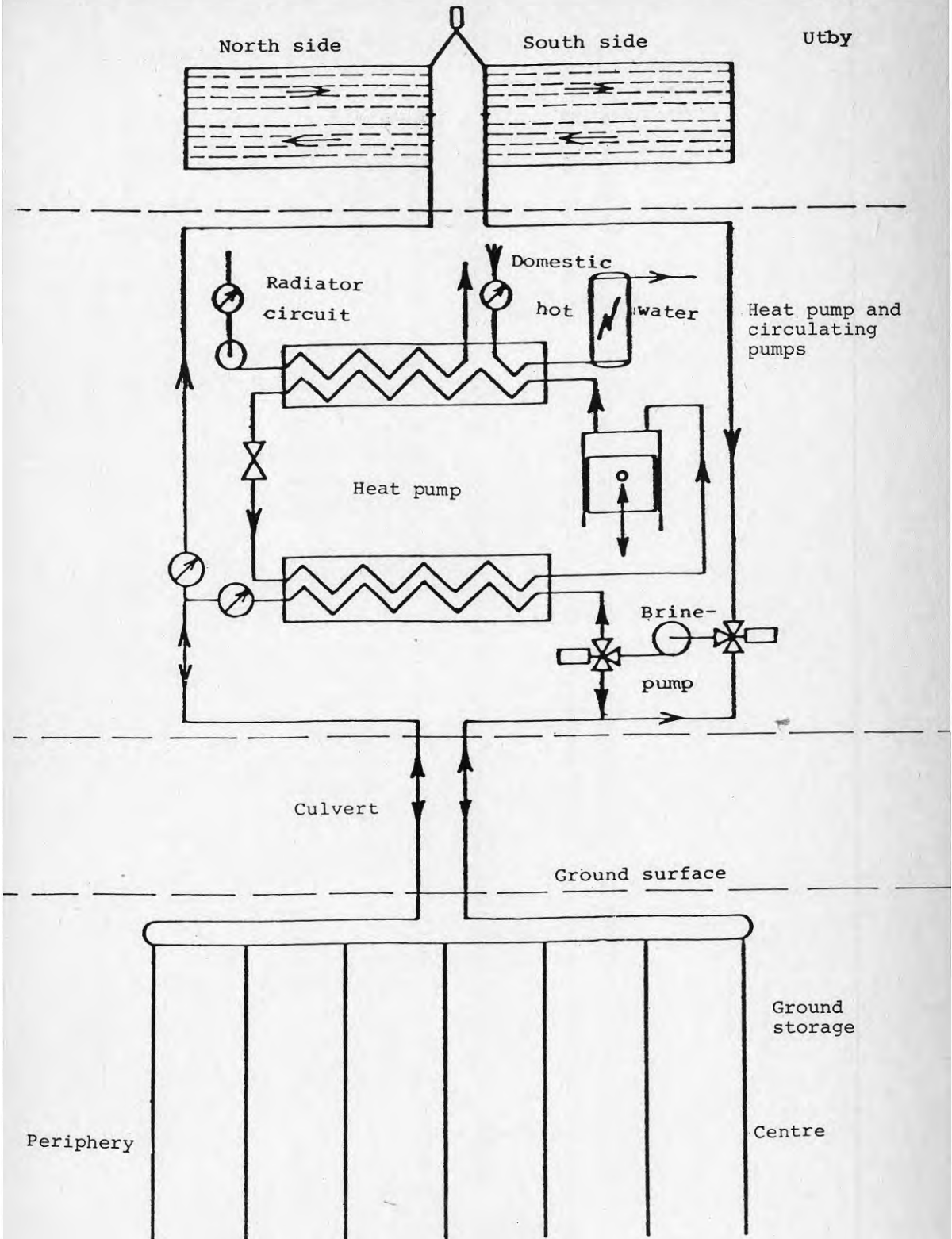
4 FRYSSKADOR

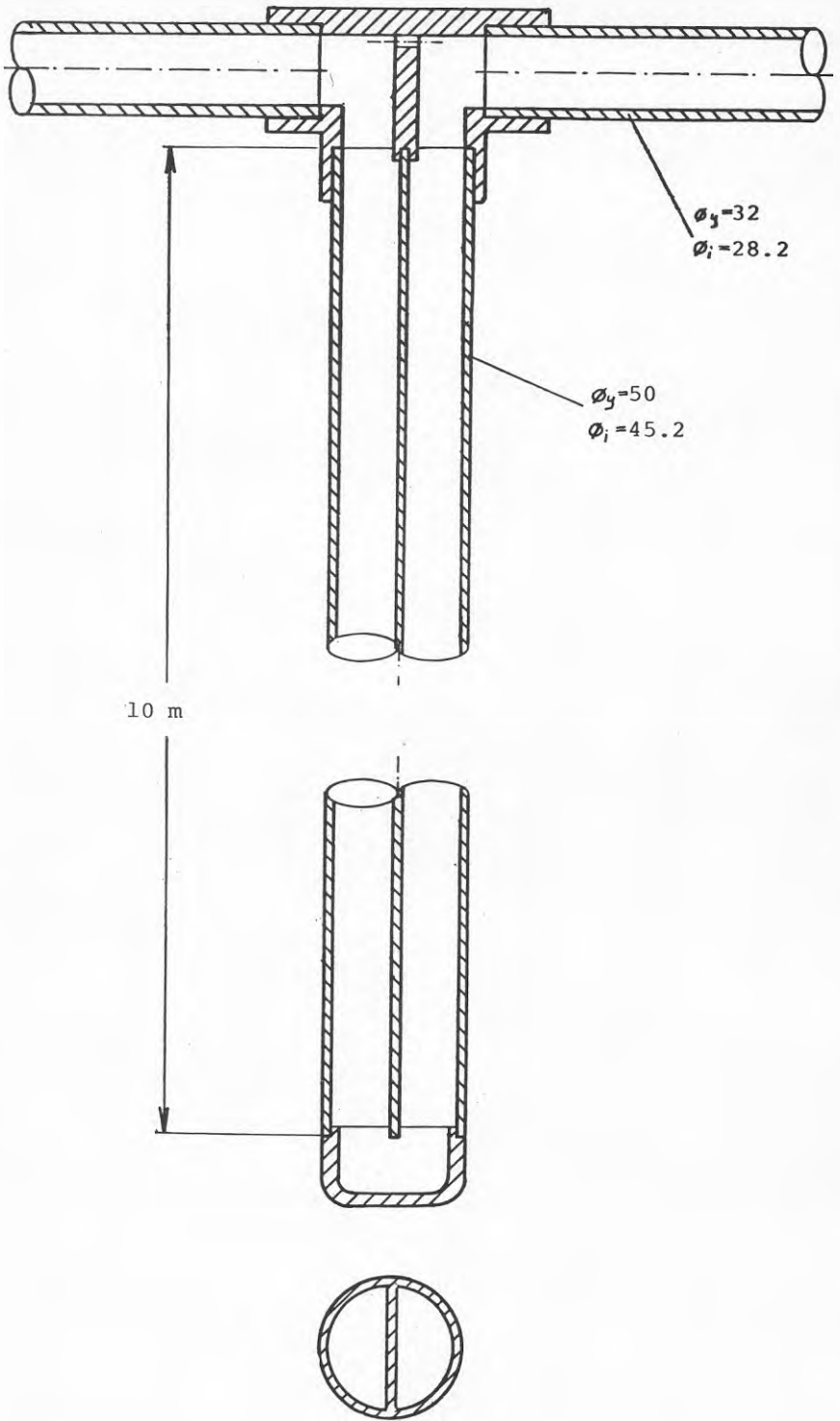
Det första årets drift skedde med brinetemperaturer på 0°C eller därunder från mitten av december till mitten april. Därvid frös i avsevärd grad leran runt rören. Följderna härav visade sig först på sommaren, då det i gräsmattan på tre å fyra ställen just över rören uppkom hål av diametern ca 0,5 m och av en volym om 130 till 150 l, dvs omkring en skottkärra. Efter höstregnen uppkom ytterligare hål över andra rör så att slutligen praktiskt taget varje rör var markerat av en grop eller ett hål.

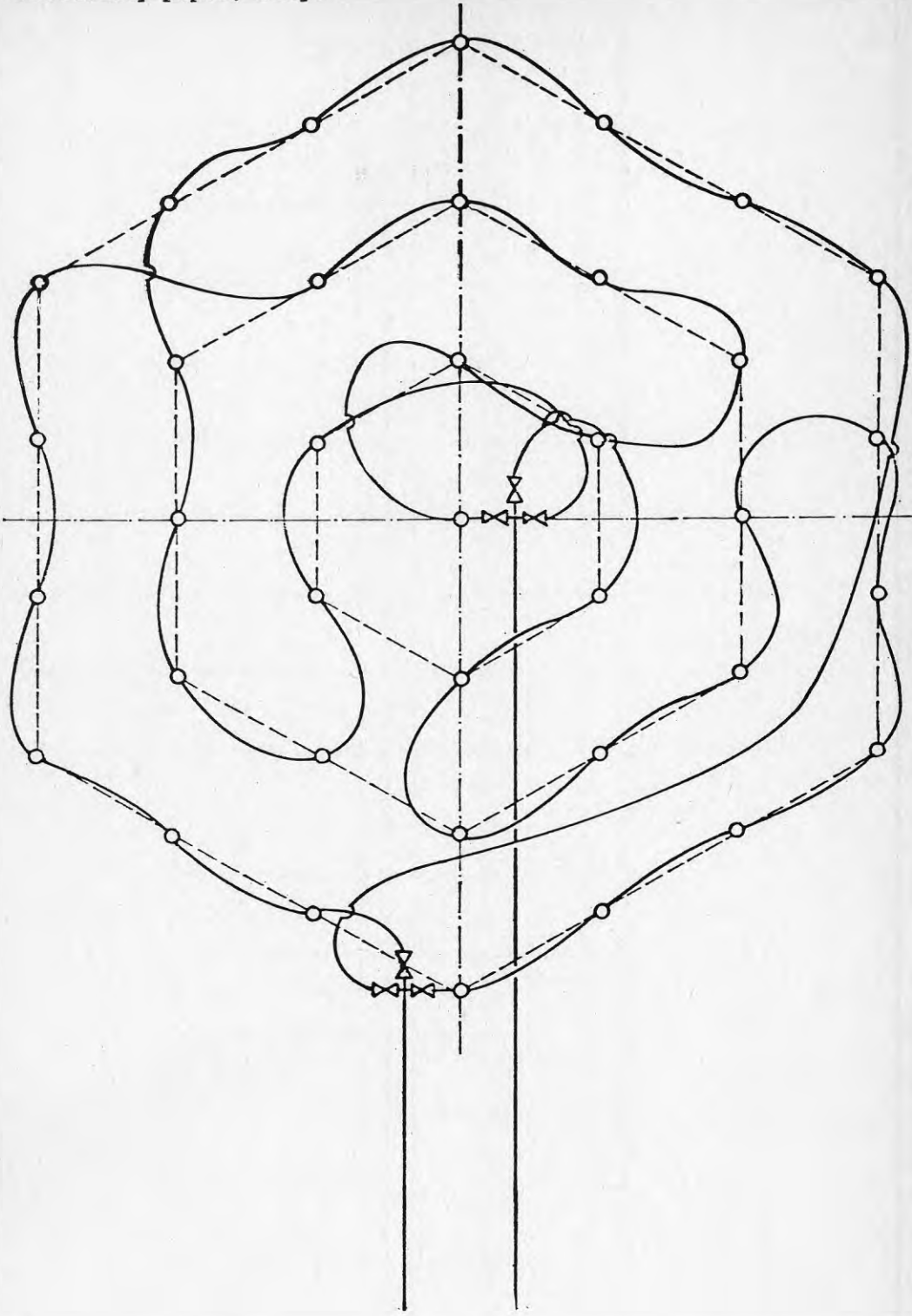
När gräsmattan påföljande år sanerades lades över varje rör först en kudde av stenull, ca $25 \times 35 \text{ cm}^2$ och 100 mm tjock, och ovanpå denna en skiva $50 \times 50 \text{ cm}^2$ av korrugerad plast, som bör förhindra jord från att falla ned om det ånyo skulle bildas hålrum runt rören.

Som sedan visats har värmeuttagen de båda följande säsongerna varit ca 40 % lägre. Något upprepande av det första årets fenomen har därför inte inträffat.

Anledningen till här berörda fenomen är att i de ytterligt små kapillärutrymmena i leran vatten kan befinna sig i fasjämvikt med is vid lägre temperaturer är 0°C . För lerlagret närmast röret avklingar kapillärverkan, vilket medför att det rörliga vattnet fryser till is runt röret. I samband härmed ökar volymen, dvs isfronten tränger undan den gamla lerfronten. När isen tinar - naturligtvis med inlagrade mer eller mindre stora lerpartier, linser - uppstår i marken det hålrum, vars följder först visar sig sedan regn ovanifrån fått tillfälle att lösa upp det delvis av rottrådar bundna översta markskiktet.

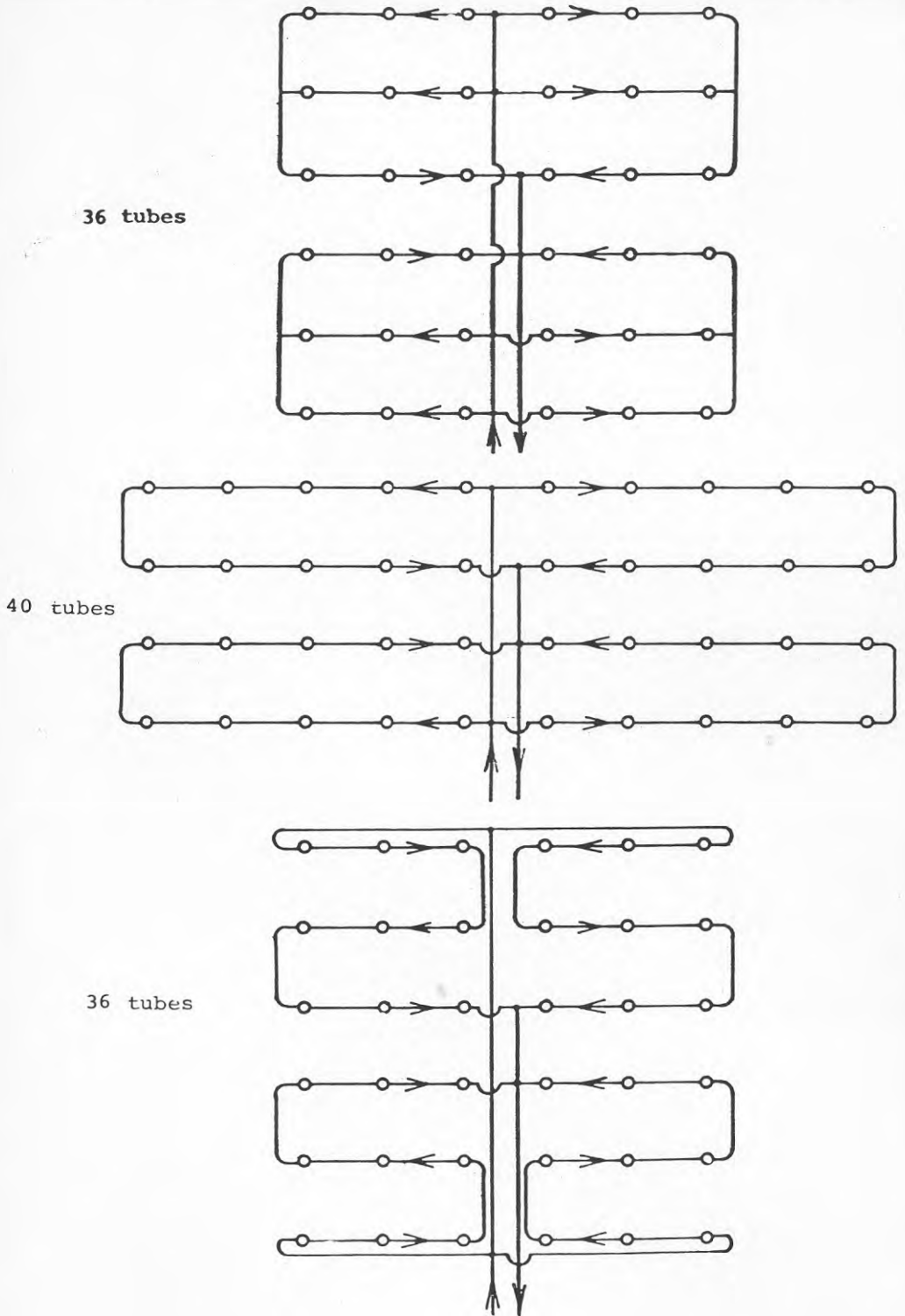


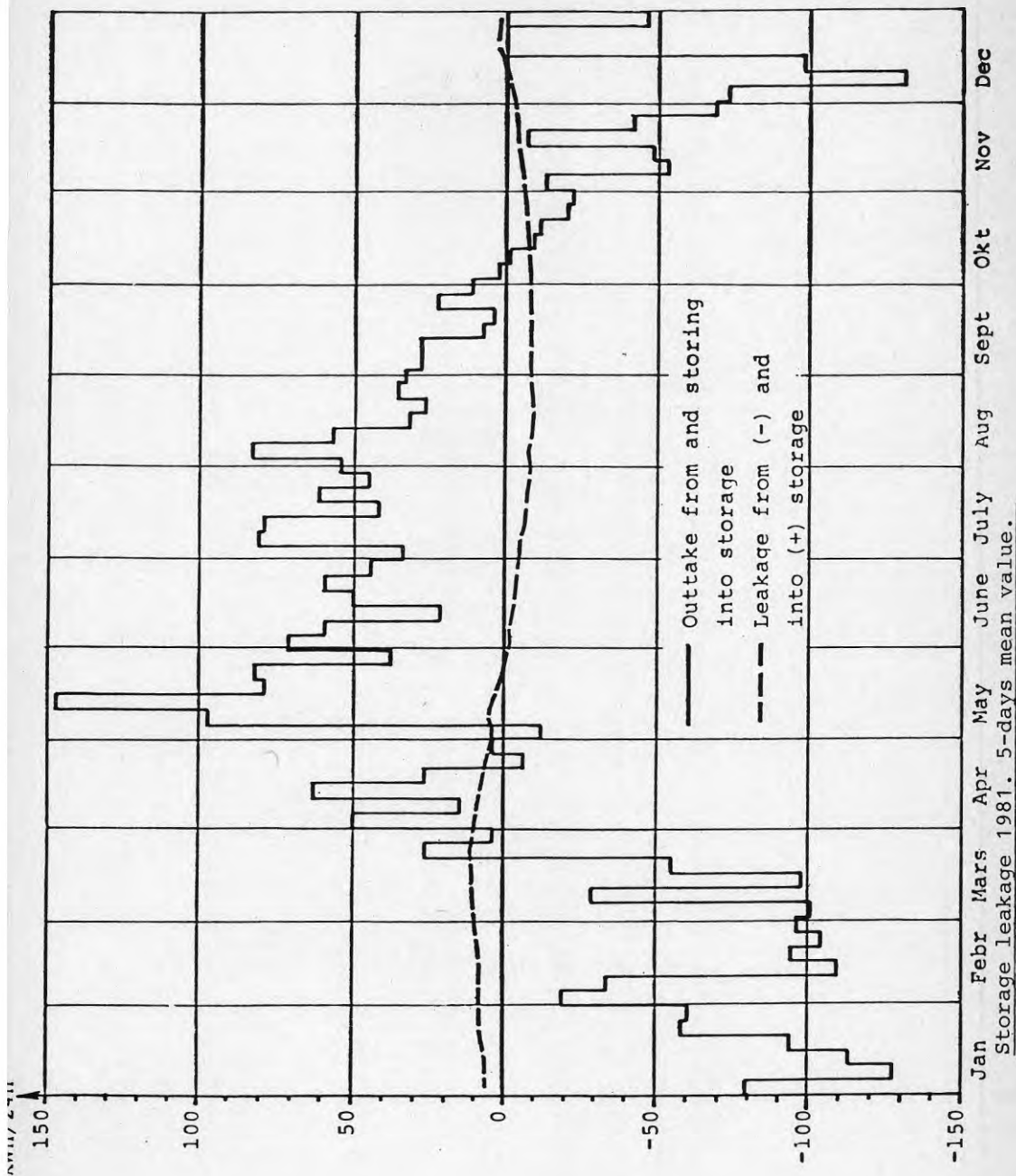




Suggested arrangements for storages with vertical tubes in straight rows.

Figure 4





Season	Operating time, h		Energy to HP, GJ				Aux. Energy (oil) GJ	Total Energy to house GJ	Energy to Storage GJ	COP:s		
	HP-mode		Electr	In Brine from		Total from HP				Charging Energy	Not incl.	
	Air	Ground		Air	Ground							
20/6-79 - 30/6-80	233	2297	1758	35,6	6,2	58,8	100,6	6,1	106,7	26,6	2,82	2,20
1/7-80 - 30/6-81	723	1544	2072	30,7	21,9	37,3	89,9	5,0	94,9	31,1	2,93	2,67
1/7-81 - 30/6-82	663	1348	1936	27,7	23,1	33,6	84,4	12,7	97,1	27,2	3,05	2,77

Yearly operation results in Utby for three heating seasons.

Figure 6

Ground temperatures, Utby

	Start of charging (1/4)		End of charging (15/9)	
	Storage temp	Uninfluenced earth-temp	Storage temp	Storage temp
1980	2.4	7.3	9.5	10.8
1981	3.4	6.5	9.7	11.4
1982	4.3	7.0	10.0	12.0

GEOTEKNISKA PROBLEM I SAMBAND MED VÄRMELAGRING I LERA

av Ulf Lindblom och Kent Adolfsson

De nuvarande energipriserna medger inte att man kan konstruera dyra värmelager. Istället krävs låga byggnadskostnader och hög termisk verkningsgrad för värmelager. Dessa krav kan uppfyllas av värmelagersystem i lera med vertikala rör som värmeväxlare.

Eftersom vattnet i leran har betydligt högre värmekapacitet än mineralskelettet, föredrar man leror med hög vattenhalt. Exempel på sådan lera är de finkorniga marina lerorna, som avsattes på havsbotten nära inlandsisen i Skandinavien och som nu dominerar jordlagren längs kusten. Den låga skjuvhållfastheten hos dessa leror förenklar installationen av värmeväxlarelementen.

En finkornig vattenmättad lera innehåller 60-80 volymprocent vatten. Lermineralen bildar ett skelett av platta partiklar med porvatten i mellanrummen mellan mineralpartiklarna. De termiska egenskaperna av vattenmättade leror som funktion av skrymdensiteten visas i figur 1. Skrymdensiteten är i sin tur en måttstock på vattenhalten; mängden vatten dominerar de termiska egenskaperna i dessa leror.

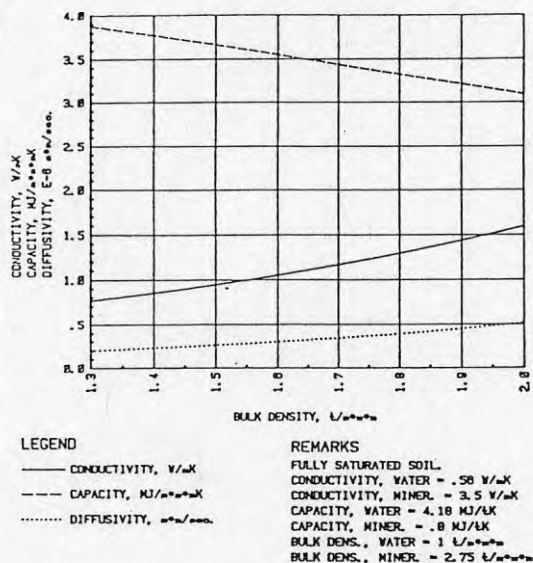


Fig. 1. Samband mellan skrymdensitet och termiska parametrar för lera.

För en fenomenologisk förklaring av följdverkningarna av temperaturförändringar i vattenmättad lera kan det vara lämpligt att lämna följande bakgrund. I figur 2a visas en detalj av ett lerskelett. Alla korn är i kontakt med varandra vid hörn, kanter eller på flata ytor. Om det inte funnits något vatten mellan kornen skulle alla inre krafter i skelettet tvingas passera lerpartiklarna och partikelkontaktarna. Emellertid fyller vatten

helt och hållet ut utrymmet mellan kornen i skelettet och vattnet överför en del av de inre krafterna i leran. Detta kan illustreras som i figur 2b, där fjädrarna representerar lerskelettet, vilket är omgivet av vatten. I en orörd lerprofil balanseras vikten av den ovanför liggande jorden exakt av kornskelettet (den s k effektiva spänningen) och av porvattentrycket. Det är typiskt för post-glaciala, finkorniga leror att de inte har tidigare utsatts för högre tryck än det som för tillfället råder. Man undantar då några meter uttorkad lera närmast markytan. Den tidigare högsta rådande effektivspänningen (det s k förkonsolideringstrycket) kan man enkelt bestämma i ett laboratorium genom att belasta ostörda lerprover samtidigt som man avläser sammantryckningen som funktion av kraften. Just vid förkonsolideringstrycket kommer kompressionen att öka tydligt, figur 3a. Eftersom allt porvatten dräneras bort i en sådan test, är de uppmätta spänningarna effektivspänningar.

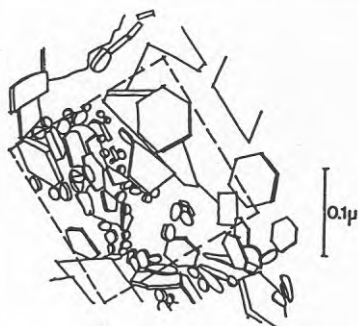


Fig. 2(a). Kornskelett hos lera.

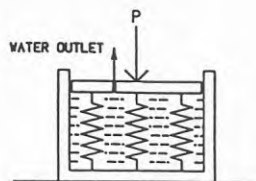


Fig. 2(b). Reologisk konsolideringsmodell.

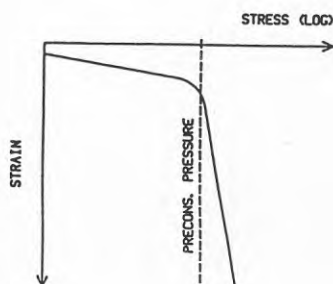


Fig. 3(a). Förkonsolideringstryck.

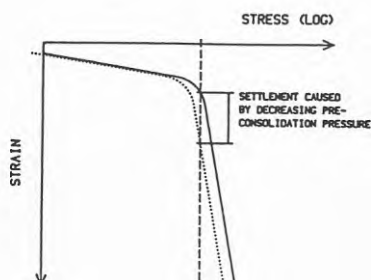


Fig. 3(b). Sänkning av förkonsolideringstryck.

Låt oss nu titta på vad som händer vid uppvärmning av en lera där spänningarna ligger vid förkonsolideringstrycket. De ökade temperaturerna tenderar att öka volymen på porvattnet. Detta gäller också lerskelettet men utvidgningen av vattnet är betydligt större. Locket i cylinderna i figur 2b trycks med andra ord uppåt av

vattnet och denna rörelse motarbetas av lerskelettet. Den tidigare rådande balansen mellan effektivspänningar i skelettet och portryck har nu ersatts av ett övertryck i porvattnet. Förkonsolideringstrycket som inlagras i lerskelettet raseras samtidigt delvis. Markytan häver sig. Genom porvattenströmning kommer så småningom övertrycket i vattnet att dräneras bort från den uppvärmda delen av leran, jämför hålen i locket i figur 2b. Emellertid kommer återgången till de ursprungliga effektivspänningarna att innebära sättningar eftersom förkonsolideringstrycket har minskat, jämför figur 3b. Detta är sättningar som utbildas utan att någon yttre belastning lagts på markytan.

När man sedan kyler lerlagret kommer lerans porvatteninnehåll att krympa, vilket innebär sänkningar av vattentrycket och inströmning av vatten från omgivningen.

Det är inte bara sättningarna som påverkas av den påtvingade volymökningen och volymminskningen av porvattnet. Denna påverkar också skjuvhållfastheten i leran. Speciellt i början, innan den temperaturinducerade konsolideringen har startat, kommer sänkningar av skjuvhållfastheten att inträffa. Av denna orsak bör man undvika att lägga värmelager i lera i närheten av slänter som har låg säkerhet mot utglidning. I ett längre tidsperspektiv kommer emellertid konsolideringen genom uppvärmning att successivt öka skjuvhållfastheten i området.

Det skulle vara ekonomiskt mycket intressant att använda frysning i ett värmelager i lera. På detta sätt skulle lagervolymer kunna begränsas betydligt jämfört med ett lager som inte fryses. Men frysningen kommer att leda till en serie problem.

Det är välkänt att varierande temperaturer skapar störningar i testresultat på geotekniska laboratorier. Goda laboratorier har därför möjligheter att upprätthålla en mycket jämn temperatur. Det är emellertid svårt att i geoteknisk litteratur hitta kvantitativa undersökningar av inverkan av värmning och kylning på jordparametrar. Speciellt gäller detta lera. Frysning och upptyningsproblem har rapporterats i samband med jordundersökningar för vägar och dammar. Däremot har erfarenheter av mäktiga leravlagringar utsatta för frysning och upptining inte rapporterats i litteraturen.

Av denna anledning har två experimentella undersökningar om effekter av kylning och uppvärmning på lera igångsatts vid Chalmers i Göteborg. Här skall närmare beskrivas det fältförsök som drivs av institutionen för geoteknik med grundläggning.

Denna fältstation är belägen nära Göta Älv i Kungälv. På platsen är lermäktigheten ca 40 meter och leran är svagt överkonsoliderad med en vattenkvot mellan 70-110 %. Geotekniska standardundersökningar har utförts i fält och med laboratorieförsök på ostörda prover, se figur 4.

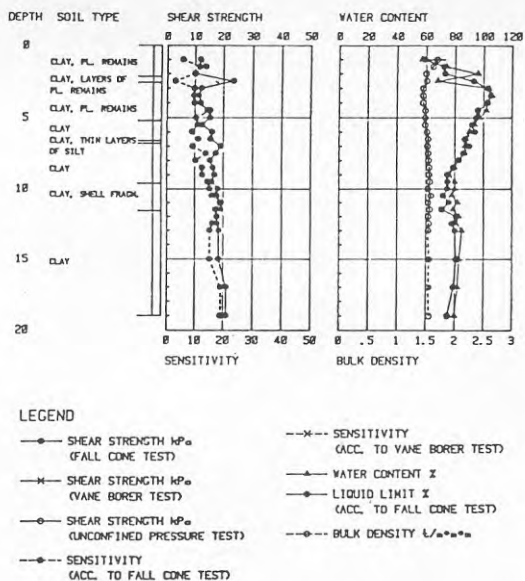


Fig. 4. Laboratorieresultat.

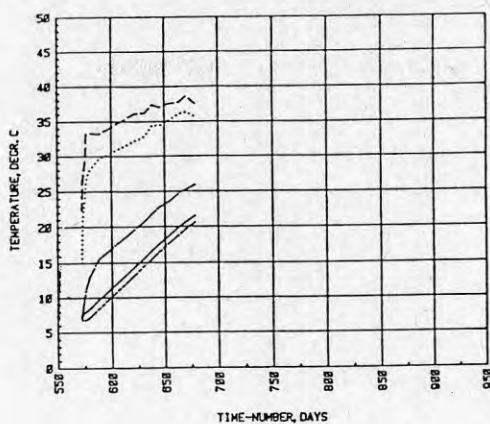
Själva lagret består av 25 stålrör med 88 mm ytterdiameter. Dessa har pressats ner till 12 m djup i ett kvadratisk mönster. Avståndet mellan rören är 2,8 m. Rent vatten används som cirkulerande vätska och uppvärmning sker med elpannor. På försöksfältet har installerats utrustning för uppmätning av temperaturer, portryck och sättningar. Dessutom genomförs regelbundet ostörd provtagning på platsen. Proverna undersöks sedan i laboratorium på Chalmers. I figur 5 visas vätsketemperaturen samt temperaturen i värmväxlarrören och i leran utanför rören som funktion av tiden. Man kan se av figuren att temperaturökningen är linjär med tiden.

Portrycken uppmäts i en vertikal linje mitt emellan 4 värmväxlarrör. I figur 6 visas ökningarna i porvattentryck. Som man ser av figuren är ökningen av portrycken icke linjär med tiden, vilket man kunde ha förväntat med en linjär temperaturökning. Avtagandet av portrycksökningen kan kanske förklaras av sänkningen av porvattnets viskositet. Man ser också att mätningar på små djup visar mindre porvattentryckökning, och detta kan möjligen förklaras av bättre dräneringsmöjligheter nära markytan.

I figur 7 summeras jordrörelserna i en vertikal sektion under den tid lagret uppvärms. Det är genomgående hävningar som registreras. Man noterar att själva markytan knappast rör sig medan på större djup fullt uppmätbara hävningar registreras.

På figur 8 visas bestämningar av förkonsolideringstryck före och efter uppvärmning av lerprofilen. Uppenbarligen har en sänkning av förkonsolideringstrycket skett genom uppvärmningen. På 12 m djup är man faktiskt nere vid den rådande effektivspänningsnivån.

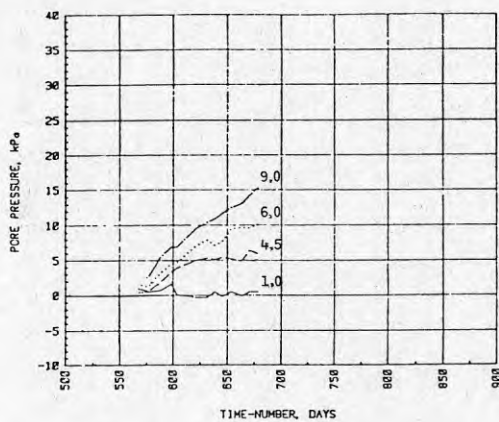
Detta innebär att ytterligare sänkningar av förkonsolideringstrycket skulle leda till sättningar.



LEGEND

- AVE. STORE TEMP.
- - - AVE. FLUID TEMP.
- TEMP. OUTSIDE HEAT-EXCH.
- TEMP. 35 cm DIST.
- - - TEMP. 95 cm DIST.

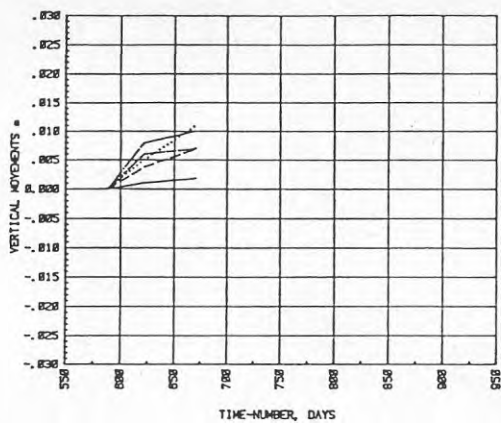
Fig. 5. Temperaturer på 6 m djup.



LEGEND

- DEPTH 1.0 m
- - - DEPTH 4.5 m
- DEPTH 6.0 m
- . - . DEPTH 9.0 m

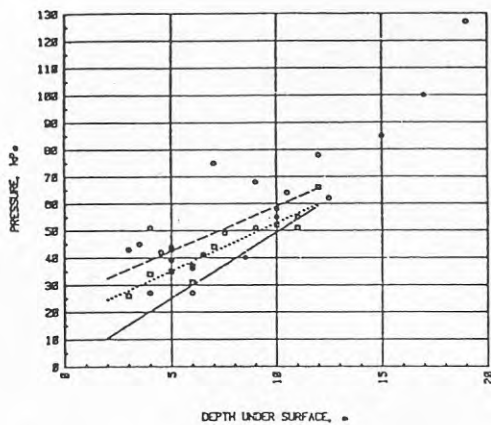
Fig. 6. Porvattentryck.



LEGEND

- REFERENCE AREA
- - - SURFACE
- DEPTH 1 m
- - - DEPTH 6 m
- DEPTH 12 m

Fig. 7. Vertikalrörelser.



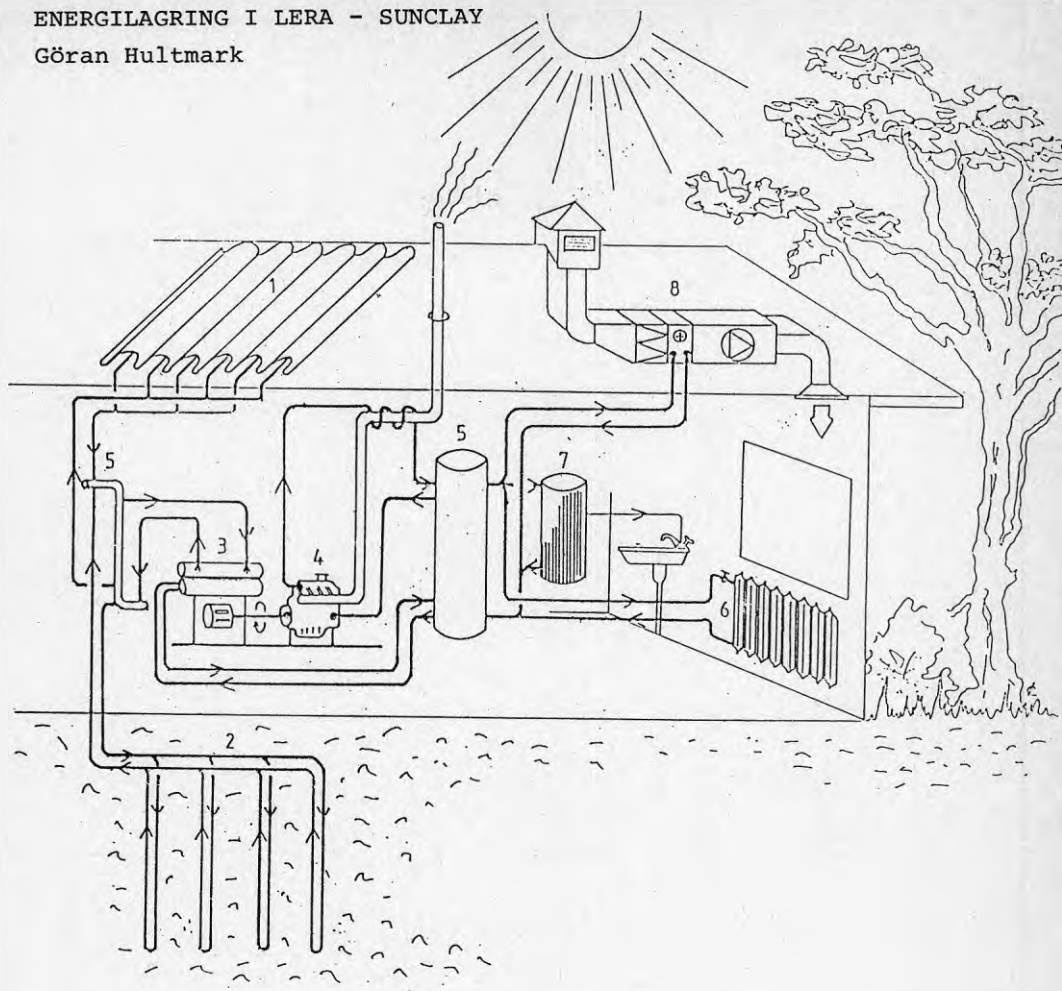
LEGEND

- - - REGR. LINE, 7.3 DEGR. C
- REGR. LINE, 22.0 DEGR. C
- REGR. LINE, EFF. PRESSURE
- PRECONS. PR. 7.3 DEGR. C
- PRECONS. PR. 22.0 DEGR. C

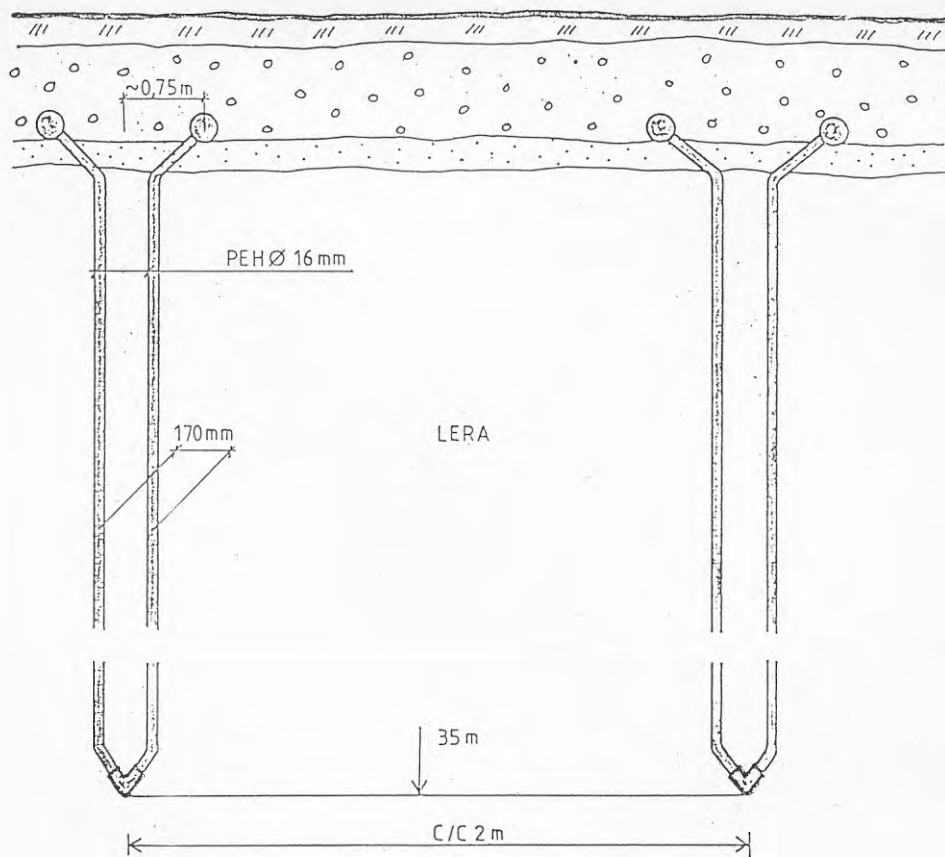
Fig. 8. Förkonsolideringstryck i relation till djup.

ENERGILAGRING I LERA - SUNCLAY

Göran Hultmark

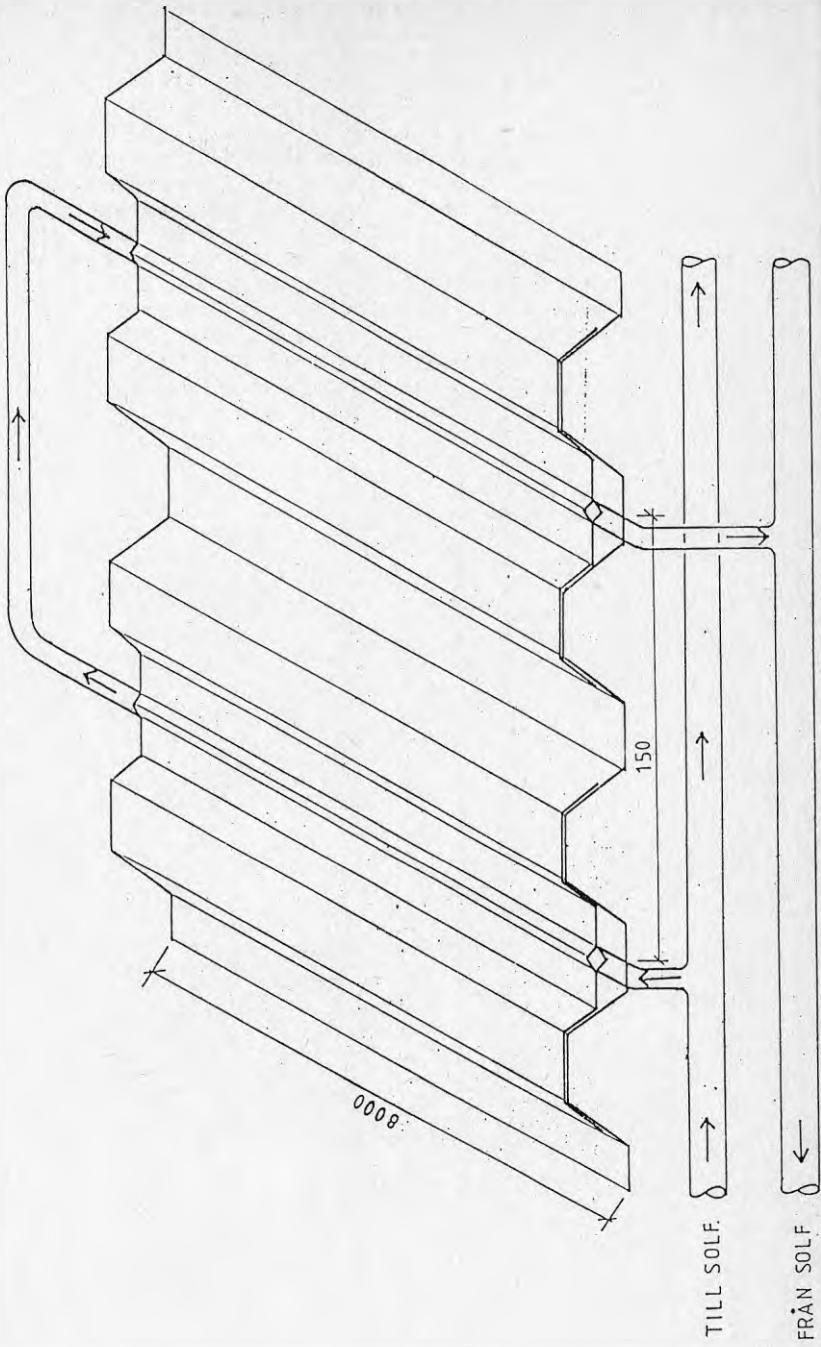
FAKTA OM SUNCLAY

Solenergisystemet bygger på att solvärme här samlas in av mycket enkla solfångare, under sommaren. Solfångarna 1 består av 1500m^2 matt svart takplåt - ca 10% av totala takytan - som även fungerar som vattentak. Ovanpå denna plåt är bockade Sunstrips fästade. (Sunstrip är en aluminiumfläns med ett invalsat kopparrör där kalciumkloridblandat vatten cirkulerar och samlar in den solenergi som tillförs takplåten.)



Den insamlade solenergin kan användas direkt via anläggningens värmepumpar, men i huvudsak lagras den i ett värmemagasin 2 för uttag under den kalla årstiden. Värmemagasinet utgörs av befintlig mark, som här består av lera. Genom att föra ner 600 U-formade plaströr 35 meter ner i marken och koppla samman dem så kan det solvärmda vattnet pumpas i rören genom en lervolym på ca 87 000 m³. Plaströren är tillverkade av polyeten med hög densitet och är ihopsvetsade i botten. Vätskan i plaströren värmer leran så att den blir 15° varm i slutet av sommaren. På vintern tas värmen ut ur lagret och den uttagna energin tillförs skolans värmesystem. Värmeuttaget sänker markens temperatur till 10°C.

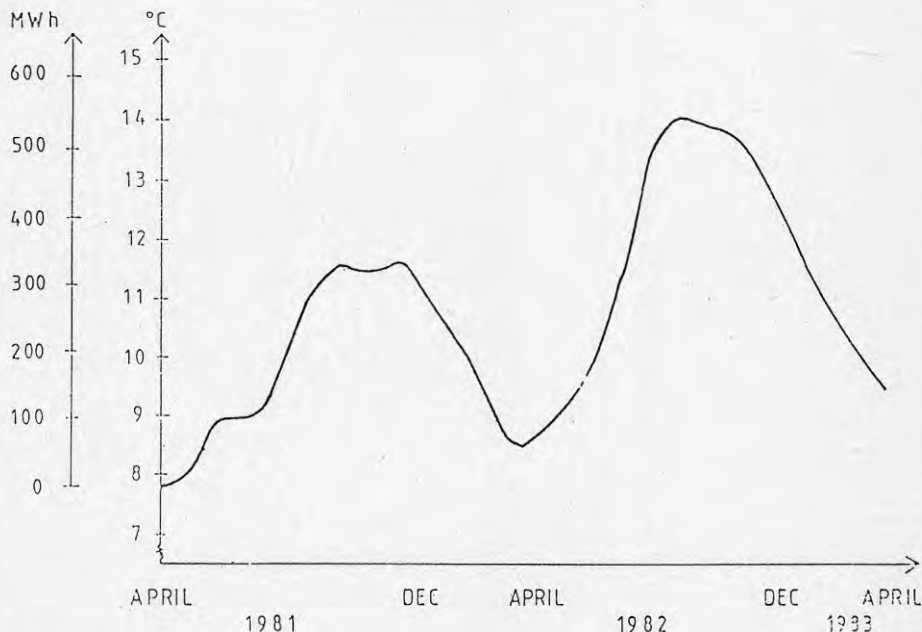
INKOPPLING AV ABSORBERATORER



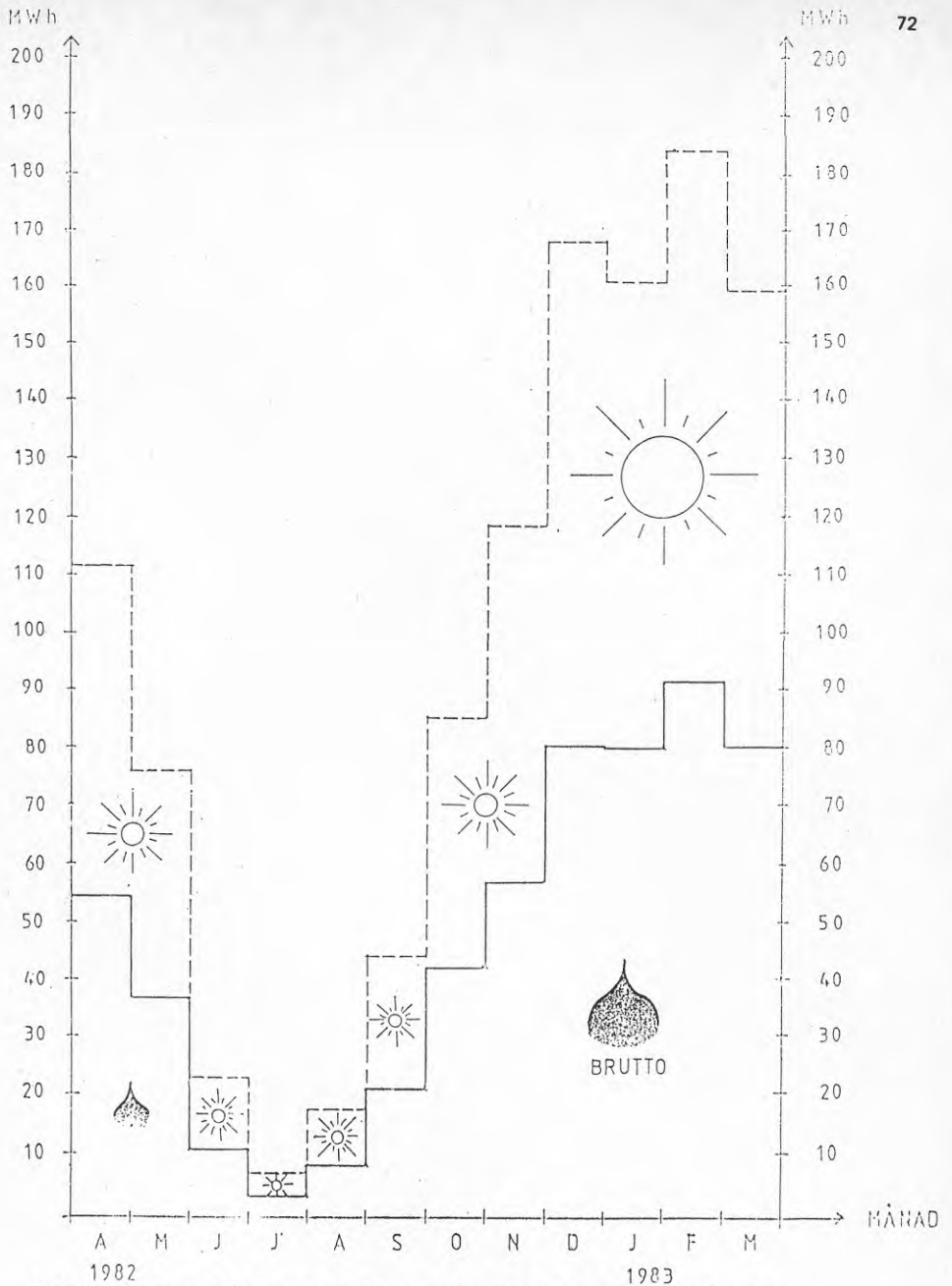
För att kunna använda energin från marklagret måste temperaturen höjas till 47°C . Detta görs med hjälp av fyra stycken dieselmotordrivna värmepumpar 3. Värme från dieselmotorernas 4 kylvatten och avgaser höjer temperaturen ytterligare till ca 55°C , vilket är den högsta temperatur som krävs i skolans värmesystem. Dieselmotorerna är vanliga fyrcylindriga industrimotorer på vardera 40kW axeleffekt. Värmepumparna kan totalt lämna 800kW effekt varav ca 400kW kommer från dieselmotorernas drivaxlar. Skolan får i sin tur värme från lagertanken 5, som skall klara stora effektbehov under korta perioder och förhindra att värmepumparna startar och stoppar för ofta. Lagertanken försör radiatorerna 6 och varmvattenberedaren 7 med 55°C -vatten från toppsektionen samt ventilationsaggregaten 8 med 47°C -vatten från mellansektionen.

RESULTAT AV 2 ÅRS DRIFT.

Sunclay- anläggningen togs i drift den 1 april 1981. Den första inkörningsperioden innebar en hel del problem och intrimning. Mestadels av den typ man kan förvänta sig i en helt ny typ av anläggning. Det andra året har dock fungerat helt utan allvarliga problem. Det enda egentliga stoppet i driften inträffade hösten 1982 då en av samlingsledningarna ovanpå marklagret gick sönder. Under det andra årets drift har 54% av energin kommit från solen och resterande del från tillförd olja. Anläggningen beräknas nå full kapacitet och fulla värden efter 3 års drift dvs säsongen 1984-1985. Då skall anläggningen ha arbetat sig upp i temperatur samtidigt som omgivningen omkring markackumulatoren har erhållit en högre temperatur och därmed minskade förluster.



Lindälvsskolan har under detta senaste år₃ förbrukat 1020 MWh nettoenergi dvs motsvarande 136m³ olja om en oljepanna hade haft 75% verkningsgrad. Solfångarna har i stort sett hållit den kvalitet man kan förvänta sig av den enkla konstruktionen.



Denna figur visar fördelningen mellan tillförd solenergi och tillförd olja (brutto) under det senaste året. Under delar av okt-nov uppkom ett driftavbrott enl. ovan. Värderna för denna period har räknats om till att gälla normal drift med solfångare och värmepumpar.

Energiutbytet från solfångare har varit 390 kWh/m^3 och temperaturen i solfångarna har rört sig omkring 30°C under inlagringsperioden. Lagret som termiskt uppfyllt förväntningarna har under sista driftsåret haft en 13% förlust till omgivningen.

De dieselmotordrivna värmepumparnas värmefaktor beräknat med tillförd olja som bas har varierat mellan 1,7 och 2,0. Räknar man om dessa värmefaktorer till det mer traditionella beräkningssättet tillförd axeleffekt har motsvarande värden varierat mellan 3,6 och 6,0. Dessa höga värmefaktorer erhålls genom att systemets solsida har relativt höga temperaturer under hela året. Ingående temperaturer till värmepumparna är högst på hösten när lagret är fulladdat och är då ungefär 20°C, medan de sjunker till 7°C på våren. Systemet, som byggdes för att reducera oljeförbrukningen jämfört med en konventionell oljepanna, har minskat denna från 136 till 56 m³ olja under senaste året. Den energi som oljepannan producerade under okt-nov har då räknats om så att oljeförbrukningen gäller om värmepumparna går hela året. Den förbrukade oljemängden innebär en årlig oljeförbrukning av 3,7 liter olja per kvadratmeter byggnadsyta. Den merinvestering som behövts göras var 1,7 milj kronor vilket motsvarar mindre än 3% av skolans totala kostnad. Energipriset är 25 öre/kWh i denna första anläggning (20 års avskrivning 4% realränta.) Nästa anläggning kan utföras till ett energipris av ca 20 öre/kWh.

STORSKALIG VÄRMELAGRING I TORVMARKER

FÖREDRAGSSAMMANFATTNING

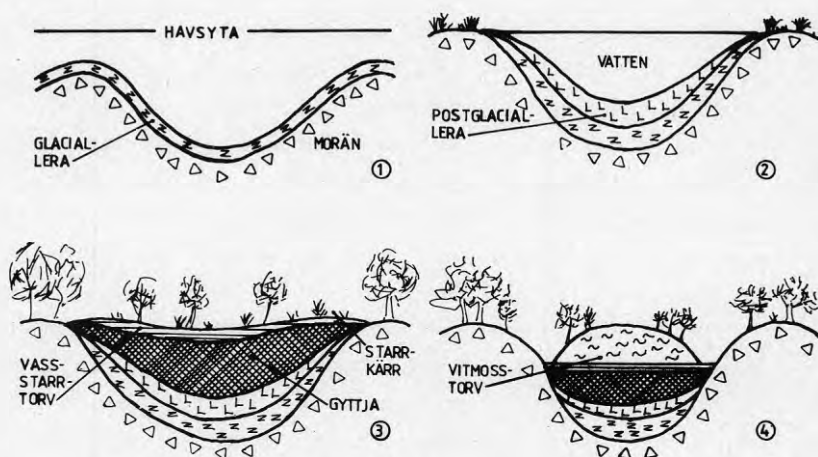
Olof Andersson, VIAK AB, Malmö

TORVMARKERNAS FÖREKOMST OCH UPPBYGGNAD

I Sverige finns gott om moss- och myrmarker, ungefär 5,4 milj ha. Drygt 3 milj ha är torvmarker med någorlunda stor mäktighet, vilket krävs vid storskalig värmelagring.

Medelmäktigheten uppgår visserligen endast till 2 à 3 m, men häri inryms stora arealer med mäktigheter överstigande 4 m, något som har satts som en undre gräns vid värmelagring. Detta hänger främst samman med lagrets geometri och därmed verkningsgrad.

Den typ av torvmarker som benämns högmossar är särskilt intressanta ur värmelagringssynpunkt, eftersom dessa har ett värmeisolerande övre skikt bestående av låghumifierad vitmossa.



Figur 1 Schematisk framställning av hur en igenväxnings-torvmark bildas. Slutstadiet, 4, benämns högmosse och stadiet 3 kärr.

Högmossarna, som skulle kunna kallas "naturens egen termos", är slutstadiet i en igenväxningssuccession från sjö till torvmark, se figur 1. Innan detta stadie nåtts kallas torvmarken för kärr. Även de flesta kärr lämpar sig bra för värmelagring, men verkningsgraden blir sämre, ca 25 % lägre jämfört med högmossar.

TORVJORDARTERNAS EGENSKAPER

Torvjordarterna utgör i huvudsak rester av döda växter. Efter avlagringen blir dessa föremål för ständigt pågående nedbrytningsprocesser. Härvid produceras bl a metan samtidigt som struktur, densitet m fl egenskaper förändras i långsam takt. Med hänsyn till nedbrytnings- eller humifieringsgraden klassificeras jordarterna i en 10-gradig humifieringsskala. Den längst gående humifieringen (H = 7-10) finner man företrädesvis i mossens djupare delar och jordarten är närmast att likna vid dy. Ytligare torvlager har oftast humifieringsgraden 2-3. Det är exempelvis dessa torvlager som används som strötorv.

I vattenmättat tillstånd kännetecknas torvjordarterna av en hög värmekapacitet, men en låg värmeledningsförmåga, se tabell 1. Det förstnämnda förhållandet innebär att stora värmemängder kan lagras per volymenhet (2-4 kWh/m³·°C). Det sistnämnda förhållandet ställer å andra sidan speciella krav på utformningen av system för värmeväxling med torven, dvs det krävs en stor specifik värmeväxlingsyta. Dessutom behövs en hög temperaturgradient mellan lager och värmebärare.

Mossarna kännetecknas vidare av hög vattenhalt (i vattenmättat tillstånd vanligen 80-90 %). Grundvattennivån ligger under större delen av året helt nära markytan varför praktiskt taget hela mossmarken kan anses vara vattenmättad.

Vattengenomsläppligheten är däremot låg (i intervallet $5 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-7}$ m/s) och kan närmast jämföras med en lerbords genomsläpplighet.

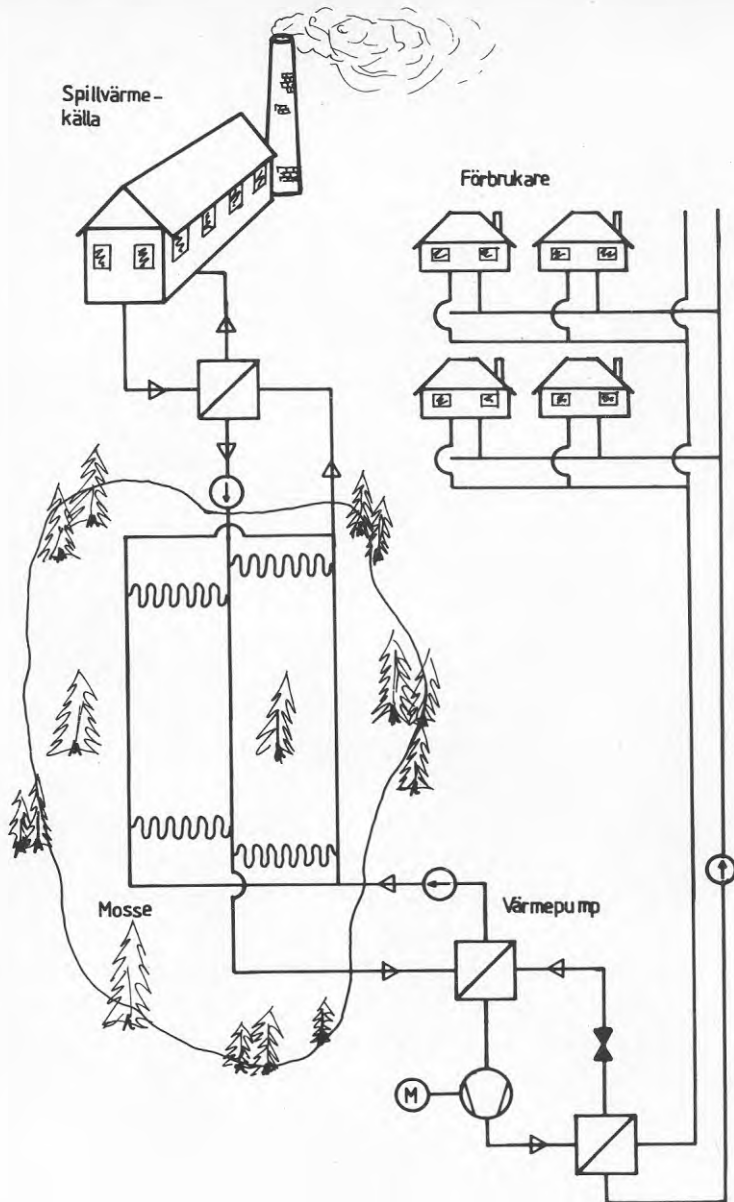
Jordart	Värmeledning (W/m ² ·K)	Värmekapacitet (MJ/m ³ ·K)
Fuktig låghumifierad torv	0,10-0,15	0,5-1,0
Vattenmättad låghumifierad torv	0,15-0,35	2,5-3,5
Vattenmättad höghumifierad torv	0,25-0,45	2,0-3,8
Vattenmättad gyttja	0,35-0,45	2,0-3,0

Tabell 1 Riktvärden för torvjordarternas termiska egenskaper.

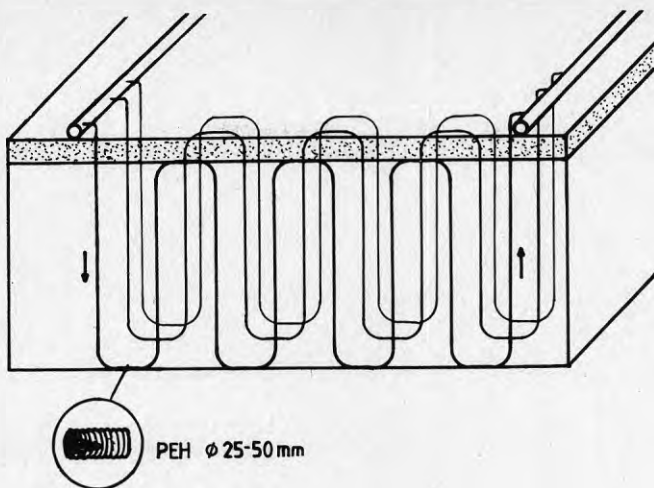
MOSSMARKEN SOM LAGER

Mossarna lämpar sig bäst för lagring vid relativt låga temperaturer (20-60°C). Tänkbara tillämpningar är lagring av solvärme och spillvärme. Figur 2 visar en tänkt situation för lagring av just spillvärme.

Torvens dåliga vattengenomsläpplighet utesluter vattenburen värmeväxling, särskilt i stor skala. Det alternativ som synes vara det enda möjliga är därför konduktiv värmeväxling med hjälp av slangar eller rör. Någon färdig sådan teknik, tillämpbar för storskalig lagring där mossens djup utnyttjas optimalt, finns dock inte utvecklade. Det system som på tekniska och ekonomiska grunder verkar gångbarast att utveckla är rörslingor i plast som trycks ned vertikalt i mossen, se figur 3.



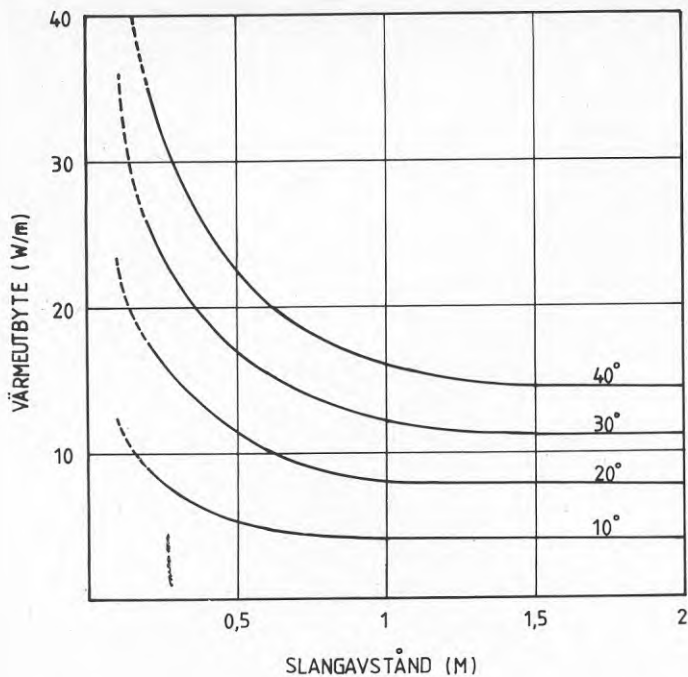
Figur 2 Torvmarkslagret satt i system, principiellt exemplifierat med spillvärmeutnyttjande för bostadsuppvärmning.



Figur 3 Värmeväxlingssystemet bestående av vertikalt nedförda parallellkopplade plastslangar.

Som tidigare antytts krävs för att lagret skall ha en god verkningsgrad att slangavståndet hålls litet. Som framgår av figur 4 behövs dels en hög temperaturgradient mellan lager och slangsystem, dels att c/c-avståndet är mindre än ca 1,0 m för att lagret skall få en homogen laddnings- och urladdningstemperatur och samtidigt ha en hög värmeväxlingseffekt.

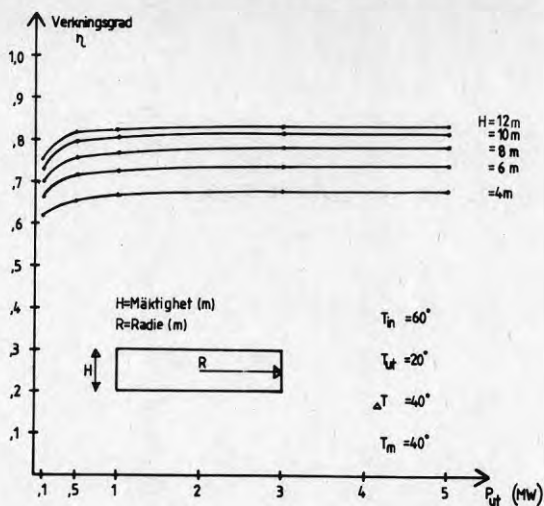
Lagrets verkningsgrad är annars i hög grad en funktion av lagrets geometriska utformning och då främst lagrets tjocklek. Detta bestäms naturligt nog av torvjordarternas mäktighet.



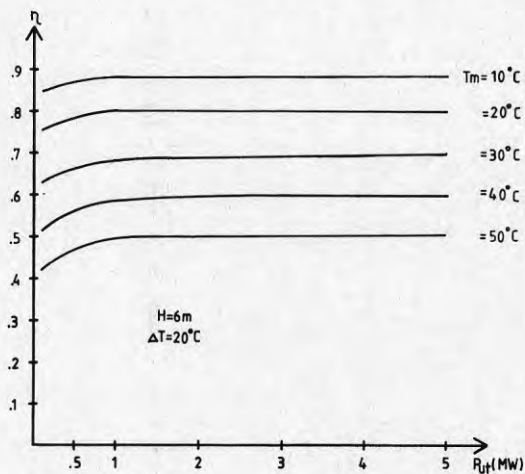
Figur 4 Värmeutbyte mellan slangsystem och torvmark som funktion av slangavstånd och temperaturgradient. Slangdimensionen är \emptyset 40 mm.

Om man ansätter lagrets arbetstemperatur till exempelvis 60°C inlagrings- och 20°C uttagstemperatur visas i figur 5 hur värmeförlusterna ökar med minskad lagermäktighet.

Lagertemperaturen är annars den mest betydelsefulla faktorn för verkningsgraden. Detta framgår av figur 6, där lagrets medeltemperatur plottats mot verkningsgrad och lagerstorlek. Lagrets mäktighet är här konstant (6 m) och arbetstemperaturen (skillnaden mellan laddat och urladdat lager) är ansatt till 20°C .

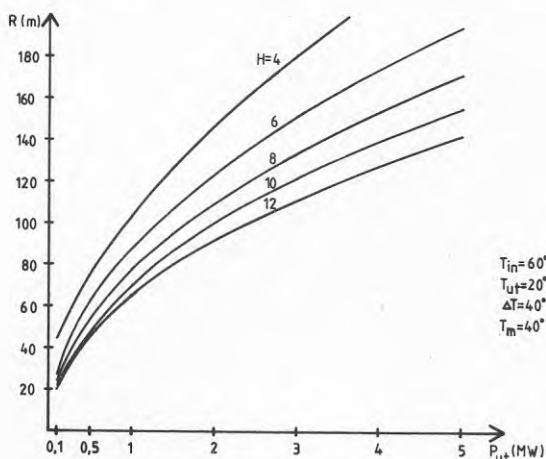


Figur 5 Lagerets verkningsgrad som funktion av lagergeometri och volym vid en bestämd arbetstemperatur. På x-axeln lagrets urladdningseffekt



Figur 6 Förhållandet mellan lagrets medeltemperatur (T_m) och verkningsgraden vid varierande urladdningseffekt.

Lagrets storlek kan som netto uttryckas i urladdningseffekten, dvs den effekt varmed lagret kan urladdas efter lagringstiden (i vårt fall 6 månader). Lägger man härtill det effektbortfall som fåtts genom värmeförluster under en hel lagringscykel kan lagrets geometriska storlek dimensioneras. Detta exemplifieras i figur 7 som visar vilken radie en viss lagerstorlek skall ha, uttryckt som urladdningseffekt, vid varierande lagertjocklek. I detta exempel gäller att arbetstemperaturen ligger mellan 60 och 20°C.



Figur 7 Torvlagrets mäktighet som dimensionerande för lagrets ytradie (R) och urladdningseffekt (P_{Ut}).

LAGERKOSTNAD

Den i särklass största investeringen i lagret ligger på slangarna och dessas nedtryckning i torvmarken.

För ett lager med urladdningseffekten 1 MW krävs en torvmarksareal av ca 3 ha. Lagermäktigheten är då 6 m och avståndet mellan varje slang ca 0,8 m. Vidare är lagrets arbetstemperatur 60-20°C. Fallet ger följande investeringsbild:

- kartläggning	40 000:-
- slangar och övrig materiel	520 000:-
- anläggningskostnad	360 000:-
- projektering	80 000:-

totalt således drygt 1 milj kronor.

Med 4 000 timmars fulleffektutnyttjande (vid urladdning) erhålles 4 000 MWh vilket ger en specifik investeringskostnad av 0,25 kr/kWh beräknad på återvunnen energi.

POTENTIALASPEKTER

Den för värmelagring tillgängliga bruttotorvsmarkytan har beräknats till ca 3,2 milj ha. Teoretiskt kan ca 3 000 TWh lagras in i den torvvolym, som ytan representerar. Efter 6 månaders lagring skulle drygt 2 000 TWh kunna återvinnas, resten är förluster.

I praktiken begränsas denna bruttopotential på flera olika sätt. Om man börjar med att räkna bort naturskyddade torvmarker återstår ca 95 %. Räkna sedan bort de arealer som ligger på ett större avstånd än 5 km från de större tätorternas (>2 000 invånare) ytterområden blir den kvarstående torvmarksarealen knappa 400 000 ha eller ca 12,5 % av bruttopotentialen.

Ytterligare ej kvantifierbara reduceringar kan påräknas om hänsyn tas till bl a torvmarkstyp (högmossarna är de mest lämpliga), lokala mäktighetsvariationer (lagrets tjocklek bör vara minst 4 m) samt till miljömässiga och juridiskt kopplade restriktioner.

Även om bruttopotentialen reduceras så lågt som till 1 % av bruttopotentialen rör det sig ändå om en så stor nettopotential att torvmarkslagren bör betraktas som ett seriöst alternativ inom markvärmelagringstekniken. Fortsättningsvis krävs dock fältmässiga försök för att bättre utvärdera de tekniska, ekonomiska och miljömässiga förutsättningar.

Källa: Koncept till BFR-projekt 80 09 11-3/80 09 21-4

SUNSTORE HÅLMARKLAGER

Sammanfattning av föredrag, Ove B Platell

Sunstore KB bildades 1977 för att utveckla bl.a hålmärklager för lagring av värme samt den speciella lågtemperaturteknik, vars grund lades redan på 50-talet. År 1972 byggdes i Sigtuna ett enfamiljshus som är helt anpassat till lågtemperaturteknik för uppvärmning.

I anslutning till byggnaden anlades år 1977 ett borrhålslager med en volym av c:a 10.000 m³. Lagret anpassades systemmässigt till lågtemperaturtekniken.

För att få en systematiskt utvärdering av lagrets prestanda värmdes det med elenergi under åren 1978 - 1981, se fig 1. Under denna tid gjordes ett antal systematiska experiment för att utröna effektsväljningsförmågan och andra tekniska prestanda, se BFR-rapport R100-1981.

Utöver anläggandet av hålmärklager i Sigtuna, som är anlagt i berg, har sammanlagt 14 infodringsförsök i lera utförts, se fig 2. Tekniska förutsättningar och ekonomi för olika nedföringsmetoder har studerats. Effektsväljningsförmågan för de 14 hålen har bestämts genom värmning med el.

Sunstore-tekniken kan användas överallt där det finns lagringsbehov för värmeenergi, exempelvis spillvärme eller solenergi.

Fig 3 visar de tre principiella koncept som Sunstore arbetar med där solenergi utgör basen, dessa är:

1. Utan värmepump
2. Med sommar driven värmepump
3. Med vinter driven värmepump

Målsättning med system 1 är att med solfångare ladda ett hålmärklager till en temperatur som inte är högre än att de utpräglade lågtemperaturvärmeavgivarna (LTVA) kan tillgodogöra sig lagrets värme under vintern. I detta system täcks uppvärmningen således helt med solenergi

System 2 och 3 är försedda med en eldriven värmepump, före resp efter lagret. Båda systemens solfångare arbetar vid mycket låg temperatur, vilket gör dem utomordentligt effektiva, även om de utgörs av enkla oskyddade absorbatörer.

Motivet för system 2 (sommardriven VP) är att elenergin är billigare under sommaren än under vintern. Lagertemperaturen för system 2 är emellertid högre för system 3 och har därmed större värmeläckage. Detta större läckage förtar i viss mån vinsten med det lägre priset för drivenergin.

På samma sätt som relationen mellan priset på sommaren resp vintern i framtiden är en öppen fråga, är relationen mellan system 2 och 3's ekonomi det. Både system 2 och 3 är betjänta av den utpräglade LTVA men är inte beroende av en sådan värmeavgivare. Konventionella radiatorsystem är möjliga att använda men ekonomin blir ej lika bra som med LTVA.

I fig 4 åskådliggörs temperaturstrukturen för de olika komponenterna ingående i system 1. Systemet (det renodlade Sunstore-systemet) utmärks av den genomgående mycket låga temperaturen och att det kräver LTVA.

De tre Sunstore-systemen för solenergi har alla en mycket låg arbetstemperatur på cirkulationsvattnet genom solfångarna. Av fig 5 framgår hur gynnsamt detta är helt allmänt för infångningseffektiviteten oavsett vilken typ av solfångare som används. I figuren är den principiella karakteristiken inlagd för de tre grundtyperna av solfångare. Anmärkningsvärt är att den enkla oskyddade absorbatören blir så effektiv då låg arbetstemperatur används, samt att skärningen mellan de tre kurvorna är mycket flack. Det senare gör att det är liten skillnad mellan de olika typernas prestanda och att man har svårt att avgöra vilken typ som är bäst. I området 20-25 °C är spridningen inom en solfångartyp större än den principiella skillnaden mellan de olika typerna. Resultatet av detta är givetvis att man bör välja den avsevärt billigare oskyddade enkla absorbatortypen i dessa applikationer.

För att belysa potentialen och ekonomin för de olika Sunstore-systemen har en ingående teknisk och ekonomisk genomräkning

gjorts av dessa system. Av fig 6 framgår resultaten för en del av dessa studier. Den ekonomiska metod som används vid denna analys är densamma som i BFR-rapporten R100-1981, nämligen en konsekvent genomförd nuvärdesmetod.

För att över huvud taget kunna göra jämförelser mellan olika system måste man förutsätta att dessa installeras i ny bebyggelse. Ekonomin för system som införes i befintlig bebyggelse är mycket svår att bestämma då den är beroende av ett stort antal begränsningar och förutsättningar som är typiska för varje objekt. De i fig 6 givna resultaten (som gäller nybebyggelse) kan dock tjäna som riktlinje för hur potentialen är för systemen även i befintlig bebyggelse.

För att få en god referensram för ekonomianalysen har totalkostnaden för ett konventionellt oljeeldat system och ett konventionellt system med direktel medtagits och återges längst ned i fig 6.

På inrådan av ekonomisk expertis har för alla system använts en kalkylränta på hela 8 %, vilket mycket hårt drabbar investeringsintensiva system (såsom Sunstore utan värmepump) och favoriserar system som använder köpt energi.

Denna analys förutsätter vidare att kostnaden för LTVA är likvärdig med dagens kostnad för ett konventionellt värmeavgivningssystem. I denna studie antas att produktutvecklingstakten är sådan att detta inträffar år 1988, varför detta har valts som driftsstartår. Den enda ytterligare konsekvens av detta startår är att oljepriset i det oljeeldade systemet har räknats upp med 2 % per år.

Vill man emellertid tillföra en merkostnad för LTVA utöver kostnaden för ett konventionellt värmeavgivningssystem gäller följande: Om merkostnaden för LTVA utslaget på hela LTVA-ytan innebär 40 kr/m^2 , medför detta ett tillägg av 1,5 öre/kWh för det system som förutsätts ha LTVA.

Förväntad energiinfångning hos solfångarna samt övriga kostnader i systemet (uttryckt i dagens penning värde) ingår som parametrar i studien. Sålunda har den årliga solinfångningen

(E_{SC}) satts till alternativt 250 eller 500 kWh/m², hålkostnaden (C_H) till 70 eller 140 kr/m samt solfångarkostnaden (C_{SC}) till 100, 250 eller 500 kr/m².

Storheten E_{SC} är funktion av den signifikanta insamlingstemperaturen som kan hållas på solfångarna. För system utan VP är siffran 250 mycket lätt uppnåerlig men däremot 500 endast i kombination med speciell LTVA som medger låg temperatur.

Storheten C_H är idag lägre än 140 kr/m och framemot 1988 borde det vara möjligt att nå c:a 100 kr/m (i dagens penningvärde). Siffran 70 kr/m förutsätter genombrott på borr- och infodrings-teknik som emellertid kan komma i de närmaste årens FoU-arbete.

Storheten C_{SC} är särkostnaden för solfångarfunktionen. Således är C_{SC} extrakostnaden för att få solfångarfunktionen hos ett taktäcknings- eller fasadmaterial. I prototyputförande är denna kostnad idag c:a 500 kr/m², men redan vid en mycket måttlig produktutveckling och integrering är siffran 250 möjlig. 100 kr/m² är uppställt mål för FoU och produkt och metodutvecklingsinsats.

För de båda Sunstore-systemen med VP förutsätts solfångaren bestå av en vattenyta. Pga den mycket låga solfångartemperaturen vid dessa system är 900 resp 700 kWh/m² mycket rimliga siffror för E_{SC} och 80 kr/m² för solfångarkostnaden C_{SC} . Detta sammantaget gör att för de båda VP-systemen är solfångarnas bidrag till totalkostnaden mycket marginellt.

Jämförelsen i fig 6 visar att potentialen för Sunstore-system utan VP är mycket hög. Anmärkningsvärt är att detta gäller även vid de mest ogynnsamma kombinationerna av parametrarna E_{SC} , C_H och C_{SC} . För de mera sannolika resp uppnåerliga parametervärdena är kostnaden för Sunstore utan VP c:a hälften resp en tredjedel av oljeeldning.

System med VP ligger mellan Sunstore utan VP och de två konventionella systemen oljeeldat och direktel. Som nämntes tidigare så förtar det ökade värmeläckaget för det sommardrivna systemet vinsten med billigare el på sommaren och resultatet

blir att detta system är dyrare än systemet med vinterdriven VP. Tilläggas bör att de använda antagandena betr relationen mellan elpriset under vinter och sommar (som satts till 2:1) är mycket osäkert. Sannolikheten är stor att denna relation blir betydligt större (ex.vis är den 10:1 i Frankrike) och då skulle det vinterdrivna systemet bli dyrare än det somrardrivna.

Avslutningsvis är det värt att poängtera att den valda kalkylräntan av 8 % är mycket ofördelaktig för det system som är billigast - Sunstore utan VP. Detta system har även andra fördelar såsom låg sårbarhet och ställer inga krav betr. ökning av elförsörjningen i samhället, vilket däremot är fallet med system som har eldriven VP.

Sammandrag av diskussionsinlägg samt kompletterande
synpunkter av Ove Platell

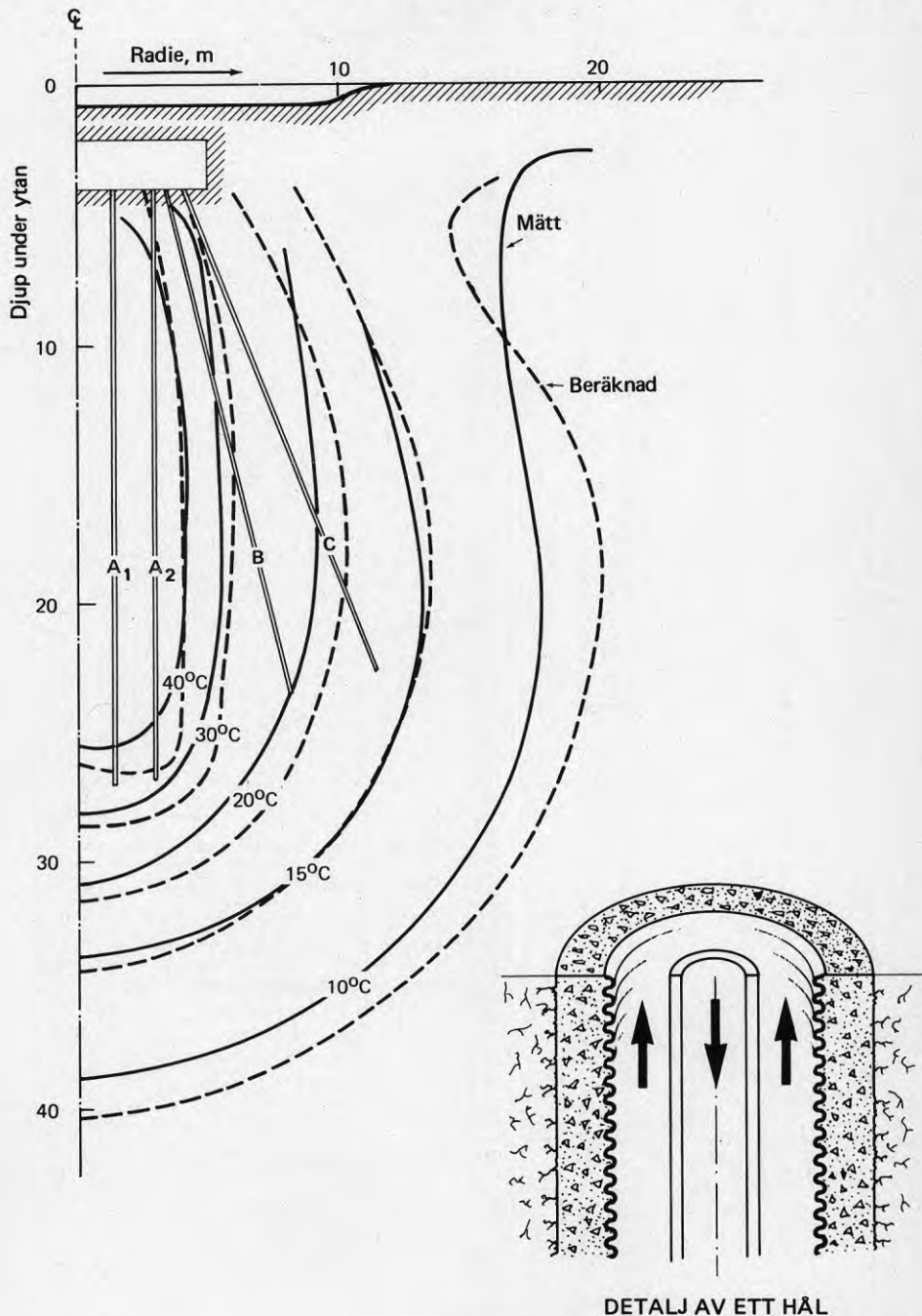
Vid användande av grundvattnet som cirkulationsmedium (oinfodrade hål samt akviferer) kommer det att uppstå följande problem: Antingen får man undertryck i de övre delarna av rörsystemet eller också måste man för uppföring av cirkulationsvattnet offra pumpenergi, som ej kan återvinnas.

I föredraget visades den principiella karaktären för de tre typerna av solfångare varvid uppstod diskussion om precision och läge för skärningspunkter. Som ett kompletterande inlägg bifogas därför ett diagram baserat på 1971 års väder för olika solfångare med variationsområdena för den skyddade och oskyddade solfångaren.

I ett avsnitt av det svenska samhället förbrukas idag 5 - 10 gånger så mycket olja som el. Oljan går huvudsakligen till uppvärmning. Om man försöker eliminera denna oljekonsumtion med hjälp av värmepump, skulle därför följden bli en mycket drastisk ökning av elförbrukningen. Även med en värmefaktor av 3 skulle elåtgången flerfaldigas. Då elförsörjningen redan idag är hårt ansträngd vintertid och känslig för mycket marginella belastningsökningar skulle ett utbrett införande av vinterdrivna värmepumpar medföra behov av en mycket omfattande utbyggnad av elförsörjningsförmågan. Detta gäller energi- och speciellt effektmässigt i både produktions- och distributionsledet.

EXPERIMENTANLÄGGNING I SIGTUNA

TEKNISKT KONCEPT 1975, ANLÄGGNINGSÅR 1977



FIGUR 1

Experiment med olika rörtyper i lera vid Vinterwiken 1978

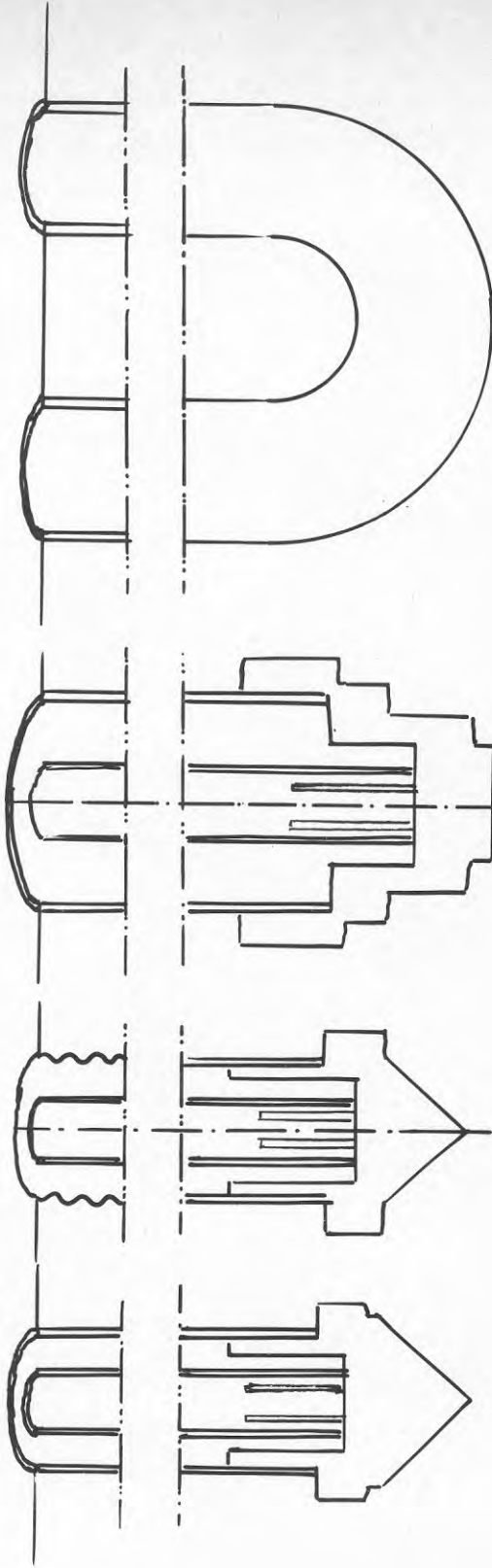
FIGUR 2

PEH 50/46
korrug.
gods 2 mm
VP 28,2/25

PVC 46/40
korrug.
gods 2 mm
VP 28,2/25

Tiltex 76/68
gods 4 mm
VP 28,2/25

2 st 2" vattenledningsrör



K_{H1}

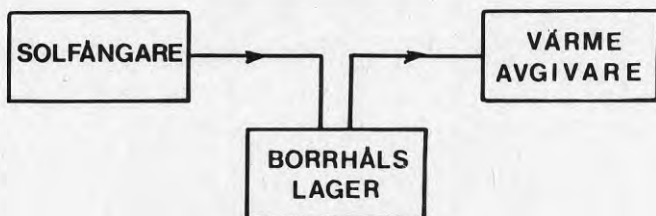
4,0

4,0

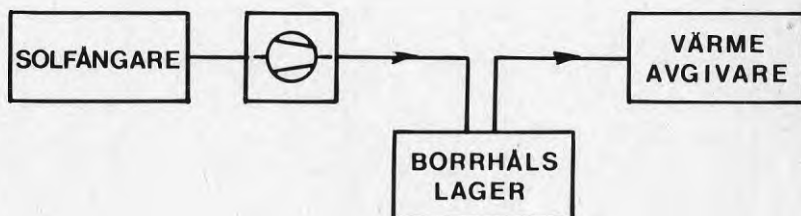
5,8

9,2

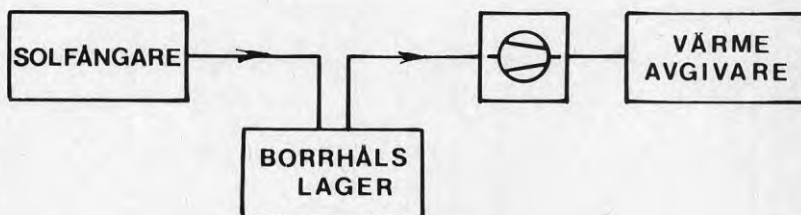
UTAN VÄRMEPUMP



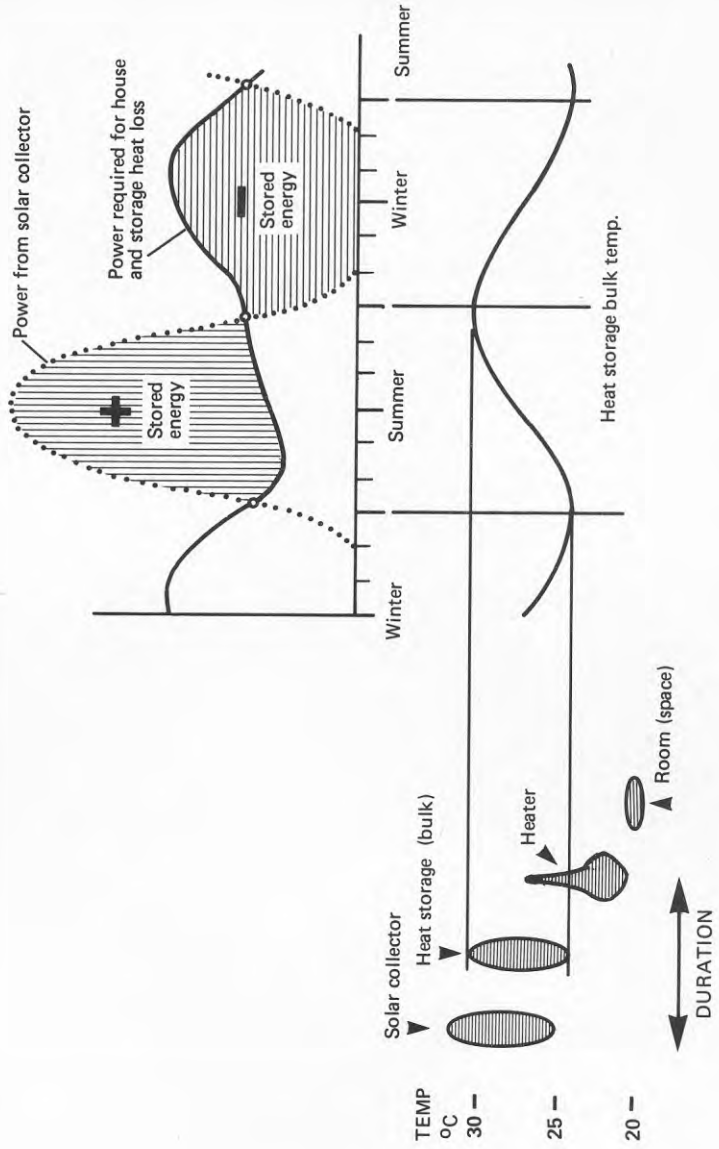
MED SOMMARDRIVEN VP



MED VINTERDRIVEN VP



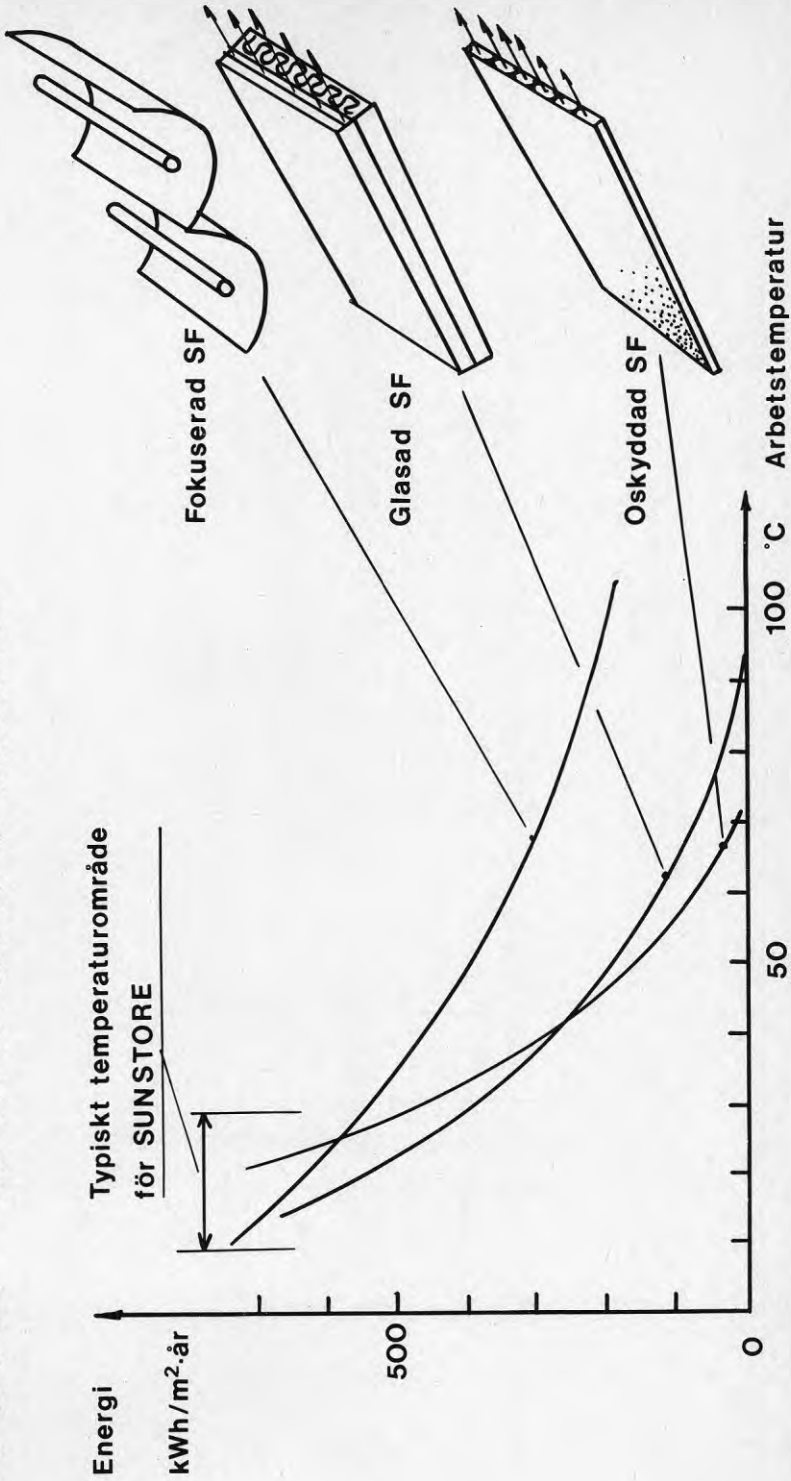
FIGUR 5



FIGUR 4. Energilagring i högtemperatur-solenergisystem utan värmepump.

SUN STORE

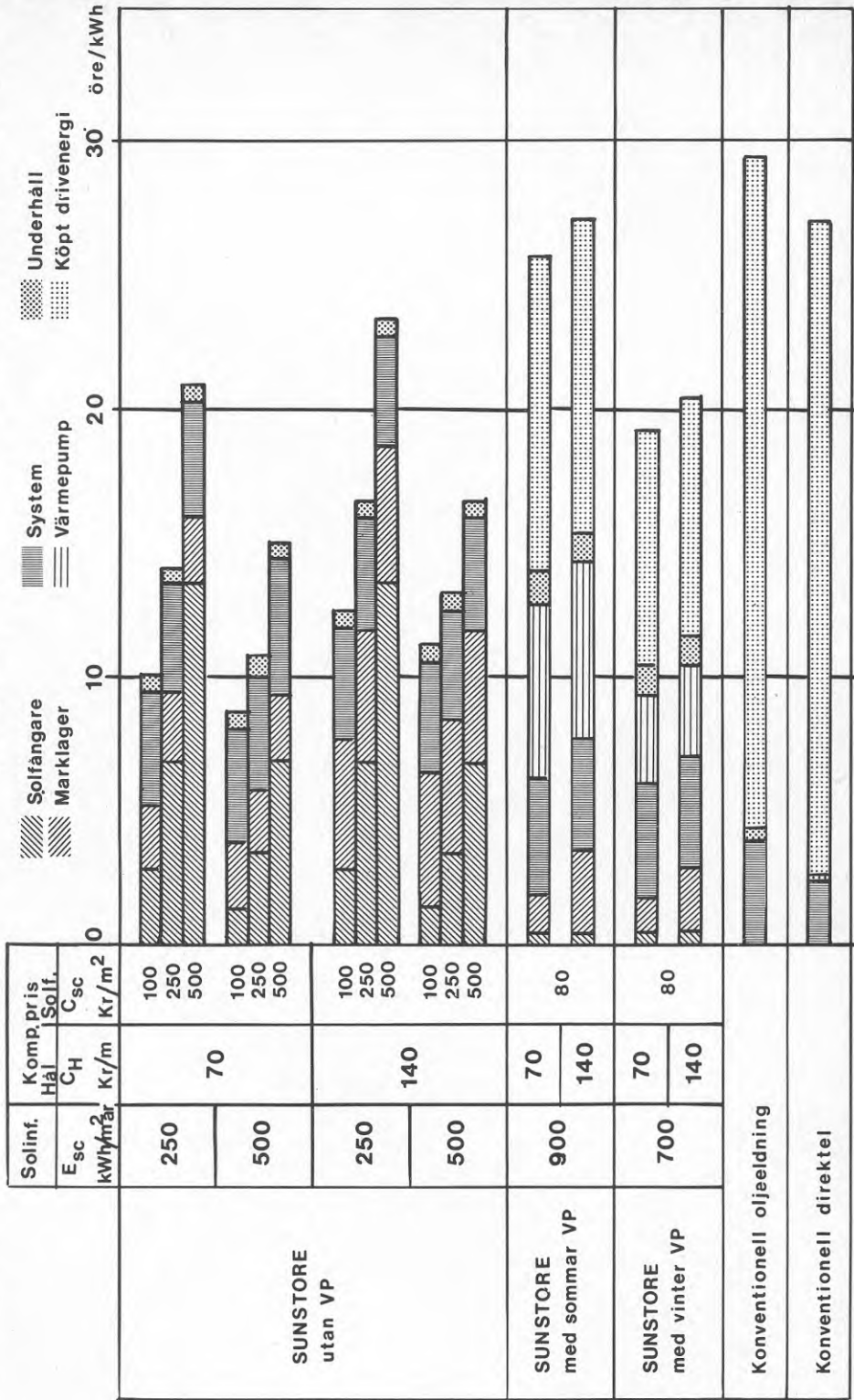
ÅRLIGT INFÅNGAD SOLENERGI FÖR DE
TRE GRUNDTYPERNA AV SOLFÅNGARE

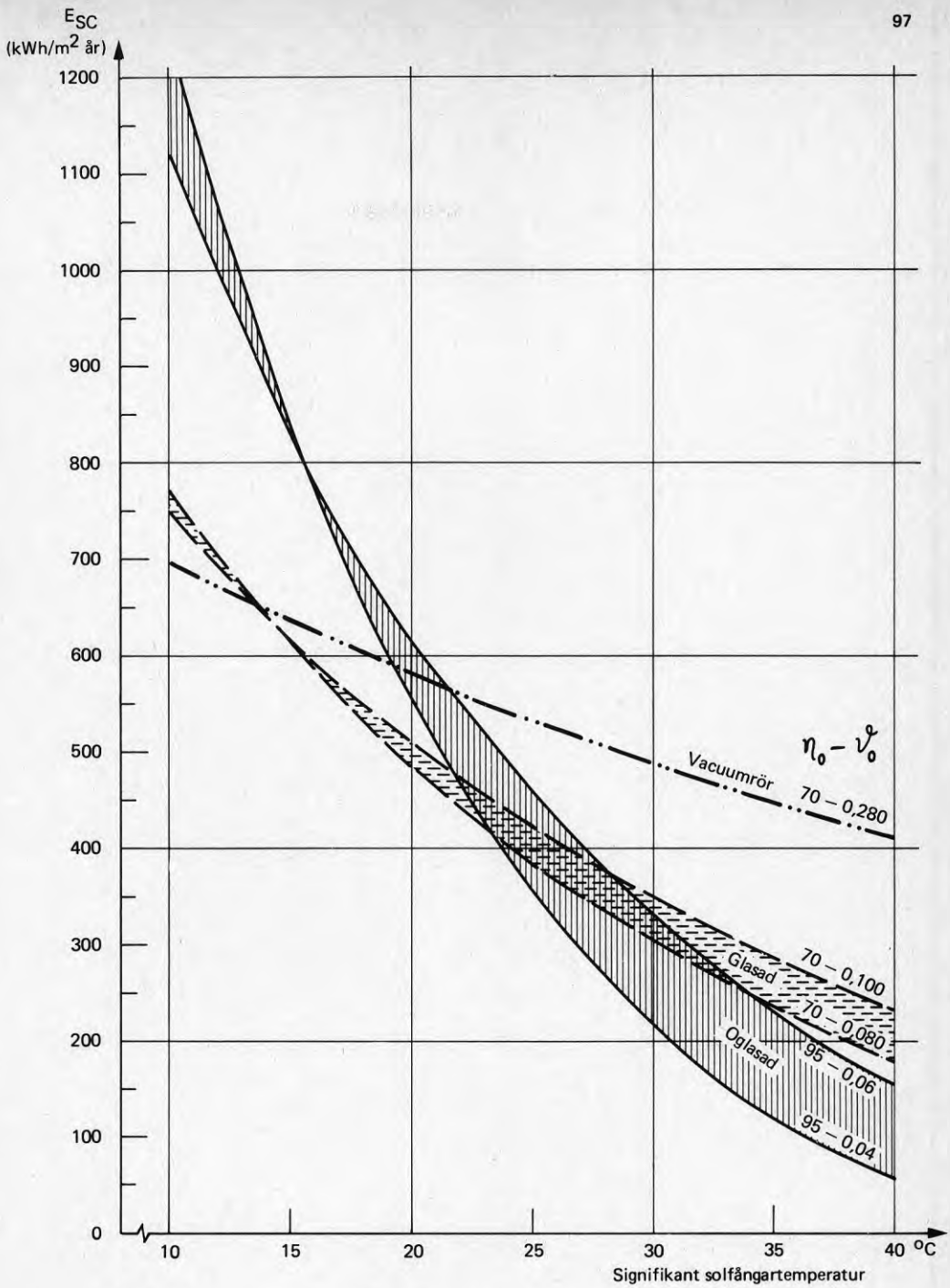


FIGUR 5

Totalkostnad för olika system (nuvärdesbestämt)

Årsförbrukning Driftstart	2000 MW/h 1988	Kalkylränta över inflation Årlig elprisökn.	8 % 0 % 2 %	Begynnelseoljepris Begynnelse-sommarepris Begynnelsevinterpris	2500 Kr/m ³ 20 öre / kWh 40 öre / kWh
------------------------------	-------------------	--	-------------------	--	--





FIGUR 7

OLIKA SOLFÅNGARES INSAMLINGSFÖRMÅGA I
STOCKHOLM MED 71 ÅRS VÄDER

BORRHÅLSLAGER I LULEÅ

Föredrag vid lagringsseminariet i Studsvik 15-16 dec 1982 av geolog Anders Eriksson, Allmänna Ingenjörbyrå AB, Stockholm.

1. ORIENTERING

Sedan 1979 pågår vid Tekniska Högskolan i Luleå, i samarbete med AIB, Lunds Tekniska Högskola och Chalmers Tekniska Högskola, försök med värmelagring i berg.

2 FÖRSÖKSLAGER

Ett försökslager byggdes 1981 vid Tekniska Högskolan i Luleå. Försökslagret består av 19 st borrhål för tillförsel och uttag av värme samt 10 st borrhål för temperaturmätning. Borrhålen är 21 m djupa varav 6 m i jord. Borrhålen ligger på 1,3 m avstånd från varandra. Försökslagret har en bergvolym av ca 400 m³. Inlagring av värme sker via värmeväxlare från en hetvattencentral. Vattnet i lagret cirkulerar direkt mot berget (öppet system). Cirkulationssystemet bygger på hävertprincipen. Försöksuppställning och lagrets layout framgår av fig 1. Det nedskalade lagret medför att en simulerad årscykel (laddning och uttag) kan genomföras på 24 dygn.

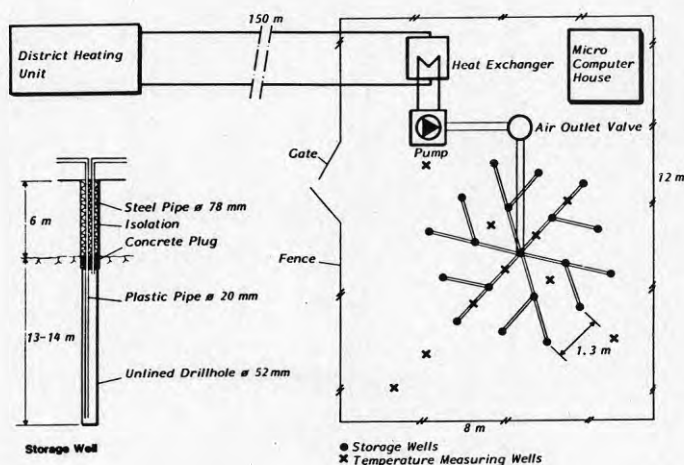


Fig 1 Försökslager, layout

5 årscykler à vardera 24 dygn genomfördes under tiden juli till oktober 1981. Initialtemperatur var 3,5°C och högsta temperatur i cirkulationssystemet var 56°C. Temperaturförhållandena i lagret under de 5 cyklerna framgår av fig 2. Av diagrammet framgår att en temperaturförlust görs vid in- och utlagring eftersom en dri-

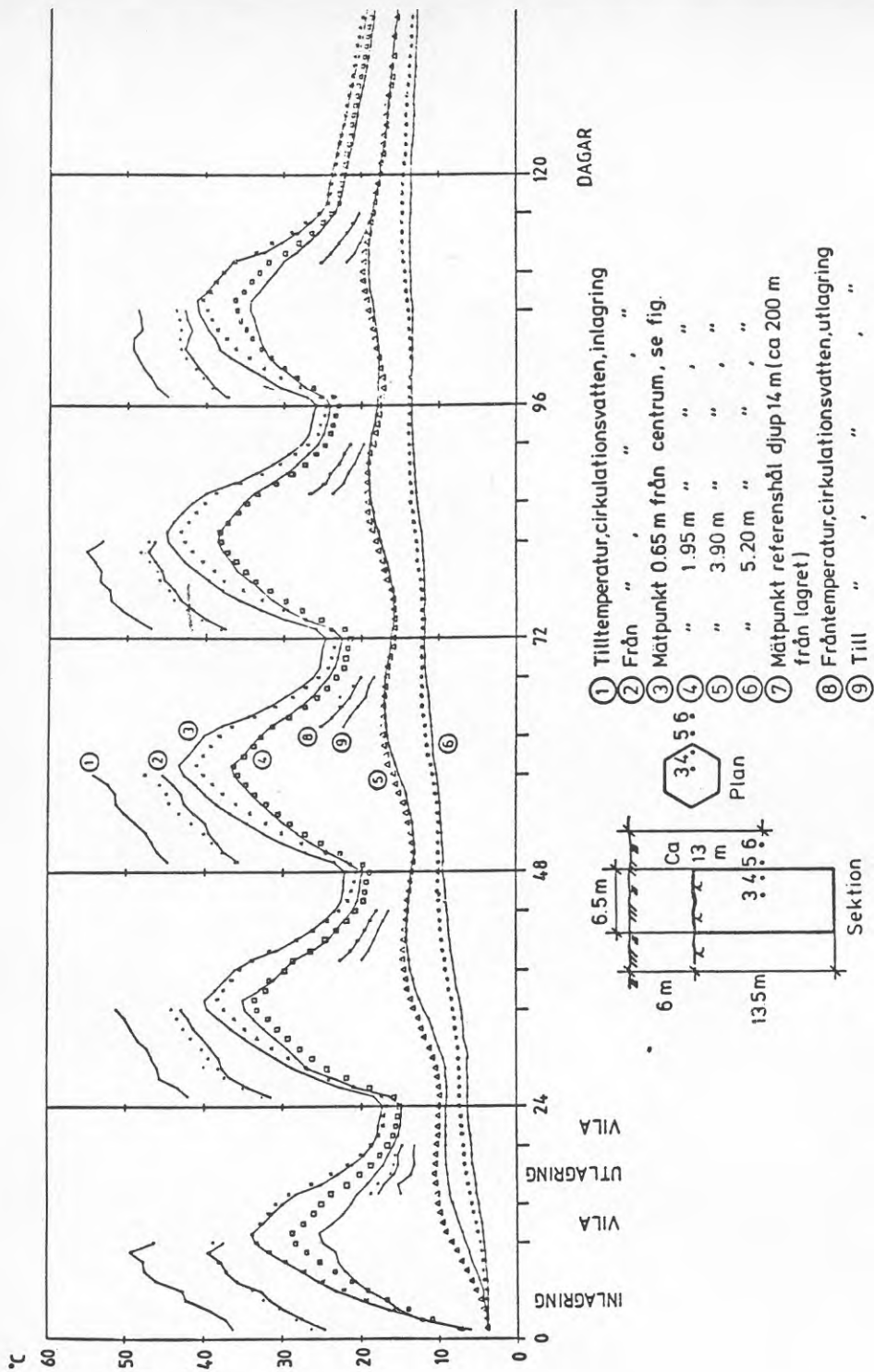


Fig 2. Uppmätta (helldragna linjer) resp beräknade (punktmarkeringar) temperaturer i försökslagret.

vande temperaturskillnad krävs mellan cirkulationsvatt-
net och berget.

De erfarenheter som kunde dragas från försökslagret var att

- inga utförandemässiga problem vid byggande av lagret uppstod
- god överensstämmelse med den värmeteoretiska modellen förelåg
- få praktiska problem under försöket (inget oönskat stopp under 120 dygn)
- inga vattenkemiska problem observerades
- effekter över 100 W/m borrhål är realistiskt att räkna med
- en något ökad vattengenomsläpplighet i bergmassan vid försöksperiodens slut kunde konstateras
- temperaturgivarna i mätborrhålen fungerade utan problem

3. EXPERIMENT - DEMONSTRATIONSLAGER

De goda erfarenheterna från försökslagret ledde till att ett lager med fullstora borrhål studerades.

Våren 1982 beviljade BFR medel till Luleå Energiverk för byggande av ett borrhållager för experiment och demonstration. Överskottsenergi (SSAB's masugnsgas) skall sommartid överföras via värmekulvertnätet till lagret. Utlagring sker delvis med värmepump för att under vinterhalvåret värma en del av Högskolan, fig 3.

Preliminära data för anläggningen:

	GWh/år
Laddningsenergi	2,8
Förlust (40%)	1,2
Uttagen energi	1,6
Drivenergi	0,4
Levererad värme	2,0
Värmebehov	2,7
Inlagring max temp	70°C
Temp diff Δt	ca 30°C
Volym	100 000 m ³
Antal borrhål \varnothing 150 mm	120 st
Borrhålsavstånd	4 m
Borrhålsdjup	66 m
Djup till berg (jorddjup)	2-6 m
Lageryta (36 x 44 m)	1600 m ²

Lagrets volym, 100 000 m³, är avsevärt mindre än en minsta normal fullskaleanläggning. Storleken har dock bedömts tillräcklig för att i alla avseenden ge anläggningstekniska och drifttekniska erfarenheter.

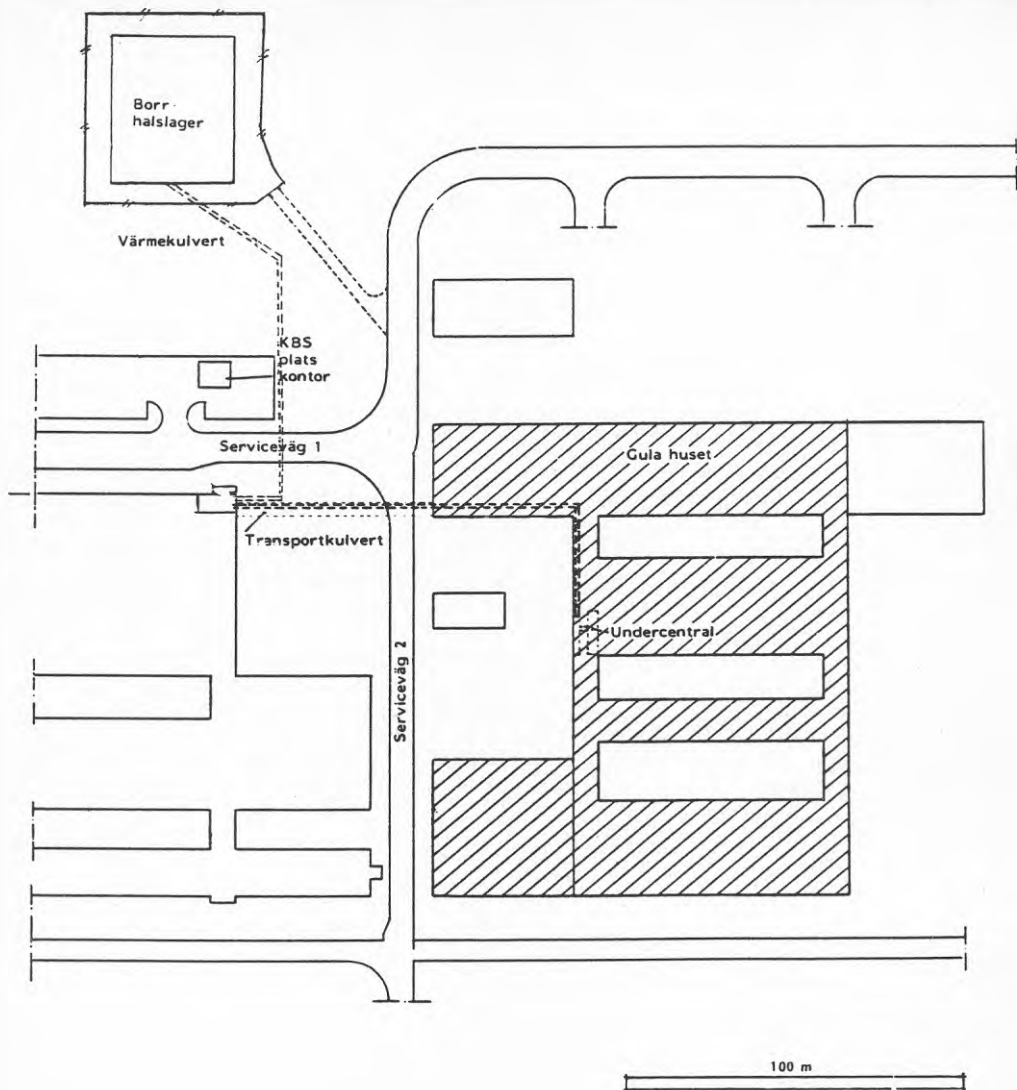


Fig 3 Lagrets lokalisering invid högskolans "gula hus". Huset kommer att få sin värme från lagret fr o m vintern 1983

Lagret byggs av Svenska Energi System AB (SES) och huvudkonsult är AIB. Forskningsdelen, inklusive mätning och utvärdering, genomförs av Luleå Tekniska Högskola med samordningsansvar hos avdelningen för Vattenteknik.

Lagret och dess cirkulationssystem är under detaljprojektering. Tidigare erfarenheter från det närliggande försökslagret samt vattenförlustmätningar i kärnborrhål inom lagret visar på tätt berg.

Lagret kan utföras med öppet cirkulationssystem, typ hävert alternativt trycksatt. Installationen kan enkelt kompletteras så att olika typer av slutna cirkulationssystem kan provas.

Försök med olika typer av slutna cirkulationssystem pågår vid Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby.

4. VÄRMELAGER I KERAVA

Ett lager där borrhål kommer till användning för in- och utlagring av värme i berg är ett i Finland utbyggt kombinationslager, borrhål/utsprängt groplager, fig 4.

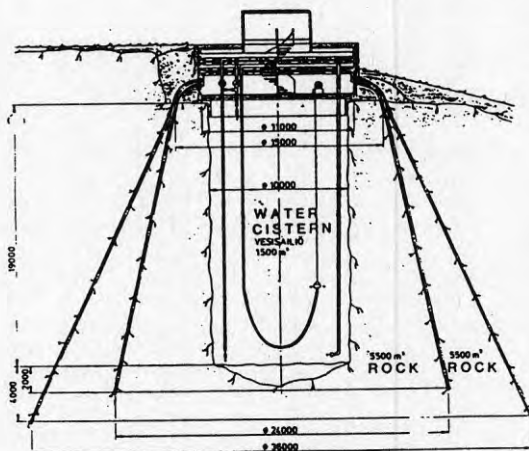


Fig 4 Värmelager i Kerava

Groplagret har en vattenvolym på $1\,500\text{ m}^3$. Borrhållagret har en bergvolym på $11\,000\text{ m}^3$.

Lagret beräknas tagas i drift sommaren 1983.

5 LITTERATUR

1. Johansson B och Nordell B, 1980
Berglager, en anläggning för säsongslagring av värme. Högskolan i Luleå, forskningsrapport TULEÅ 1980:14
2. Andersson S, Eriksson A och Tollin J, 1981
Borrhålslager för säsongslagring av värme. BFR R66:1981
3. Kadesjö H och Sintorn J, 1981
Säsongslagring av värme i berg. Förstudie av borrhålslager för ca 1000 lägenheter. BFR R98:1981
4. Platell O och Wikström H, 1981
Sunstoreprojektet 1977-1980. Solvärmesystem med låg temperatur och säsongslagring för uppvärmning av lokaler. BFR R100:1981
5. Andersson S, Eriksson A och Nordell B, 1981
Heat Storage in Rock - Multiple Well System. Research report Tuleå 1981:28
6. Claesson T och Ronge B, 1982
Vattenkemi. Värmelagring i berg - fältförsök i Luleå. Geologiska Institutionen /Chalmers Tekniska Högskola / Göteborgs Universitet. Undersökningsrapport
7. Claesson J och Eskilson P, 1982
Värmelagring i berg - fältförsök i Luleå. Simulering av temperaturförlopp. Inst för matematisk fysik, Lunds Tekniska Högskola
8. Andersson S, Johansson A, Nordell B och Åbyhammar T, 1982
Borrhålslager i berg. Fältförsök i Luleå, 5 årscyklar i nedskalat lager. Förprojektering av demonstrations- och experimentanläggning. BFR R?, 1982. (ännu ej tryckt)

BORRHÅLSLAGER I BERG FÖR SÄSONGLAGRING AV LÅGTEMPERATURVÄRME

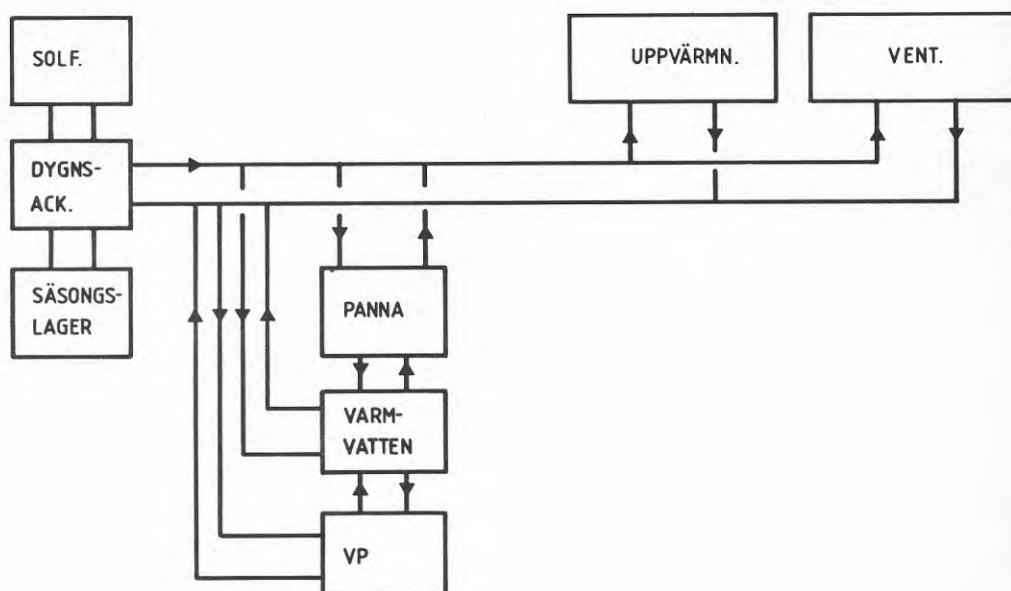
av Hans Hydén, VBB Stockholm.

Principerna för utnyttjande av ett borrhålslager för lagring av lågtemperaturvärme illustreras av Figur 1 (från förprojektering av Stora Skuggan-anläggningen). Systemkomponenterna kan sedan variera inom vida gränser. Systemoptimeringen måste göras från fall till fall. Grunden för borrhålslagrens stora potential är den låga lagerkostnaden, ca 15 kr/m³, som möjliggör system med måttligt temperatursving i lagret. Dessutom är lagerkostnaden relativt oberoende av lagerstorleken i systemstorlekar av intresse.

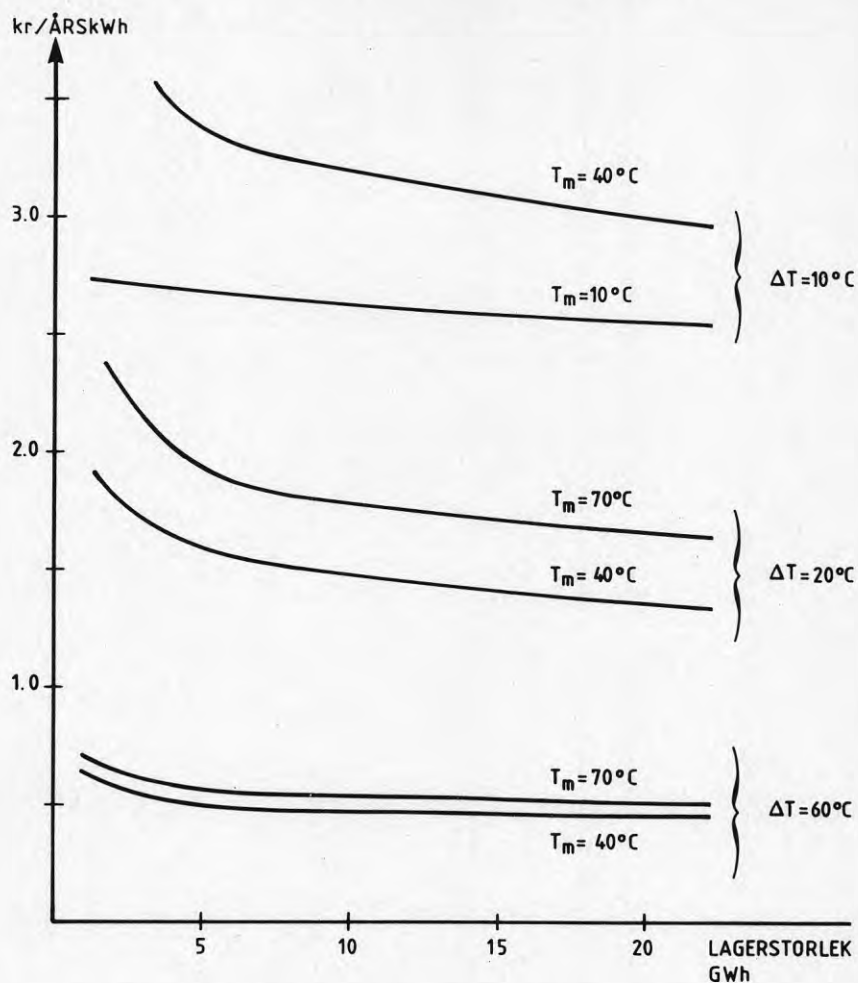
Lagerekonomin sammanhänger med temperatursving och lagerförluster som är en funktion av lagrets storlek, form och medeltemperatur. En schematisk beräkning av dessa förhållanden visas i Figur 2.

För varje tillämpning måste funktionskraven på komponenterna klargöras. Viktigt är härvid bl a värmemotståndet i borrhålen och möjligheter till temperaturstrukturering samt val av öppet eller slutet cirkulationssystem.

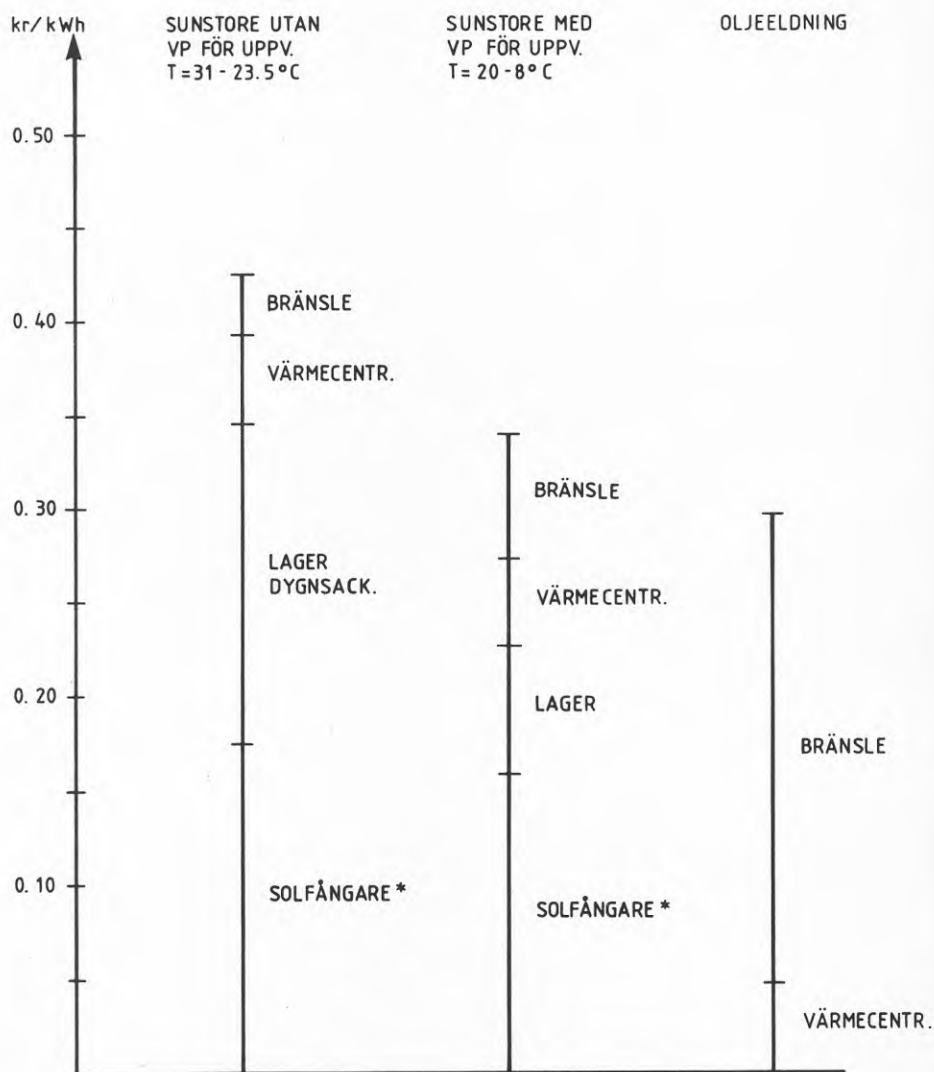
I sin enklaste form ger borrhålslager i berg ungefär samma systemkostnader som för lager i lera. Berglagrens överlägsenhet kommer av deras flexibilitet med hänsyn till anläggningsförutsättningar (geologi, lagerform), temperaturnivå och temperatursving samt begränsade utrymmeskrav. Möjligheterna för applicerbarhet i befintlig bebyggelse är avsevärda och ger möjlighet till en successiv generell sänkning av temperaturerna i fjärrvärmenäten och jämnare belastning på befintliga värmeproduktionsanläggningar. Av Figur 3 framgår att kostnaderna för solvärmesystem med låg temperatur idag kan bli nära konkurrenskraftiga med konventionell oljeeldning med dagens oljepriser.



Figur 1 Systemlösning för utnyttjande av borrhålslager för säsongslagring av lågtemperaturvärme



Figur 2 Lagringskostnader för borrhålslager (nyttiggjord energi)



*PLANA TÄCKTA, 500 kr/m², 350 kWh/m²ÅR

Figur 3 Kostnadsjämförelse solvärmesystem -
konventionell oljeeldning.
Systemstorlek 3 GWh/år

BORRHÅLSLAGER MED TUNNLAR - ETT KOMBINERAT SÄSONGS- OCH KORTTIDSLAGER

Peter Margen, Studsvik Energiteknik AB

Historik

Borrhålslager är en variant av djupa marklager med vertikala kylkanaler. Denna typ av lager föreslogs av Ove Platell (Sunstore KB) under första hälften av 70-talet, då han även lade grunden till den teoretiska dimensioneringsfilosofin.

På senare tid har intresset i djupa marklager ökat starkt så att idag ett halvt dussin grupper bearbetar olika aspekter. Det ökade intresset visar att alltfler har upptäckt den goda ekonomi som denna typ av lager erbjuder när det gäller långtidslagring.

Varför är borrhålslager ekonomiskt intressanta?

Figur 1 visar varför ekonomin blir god. Ett borrhål med kylkanal och uppsamlingsledningar kostar omkring 140 kr/m. Beroende på avståndet mellan kanalerna - 3.5 à 4 m - som väljs som funktion av tillgänglig laddnings- och urladdningstid - värms och kyls 3.5^2 à $4^2 = 12$ à 16 m^3 berg per m kanal.

Sålunda blir kostnaden av lagret per m^3 mellan 140/12 och 140/16 = 12 à 8 kr/ m^3 . Även om i praktiken andra poster måste läggas till för projektering, i vissa fall värmeväxlare, anslutningsledningar, ränta under byggnadstiden m m, kan man ofta få en total kostnad på 15 à 20 kr/ m^3 för ett högtemperaturutförande, 10 à 15 kr/ m^3 för ett lågt temperaturutförande. Dessa kostnader är låga jämfört med andra lagertyper, även när de uttrycks per kWh/år lagrad energi.

Dock bör observeras att borrhållagret såsom det hittills föreslagits är termiskt trögt, dvs kan i huvudsak användas för långtidslagring. Är uppgiften att korttidslagra måste kanalerna läggas så nära varandra att lagret blir dyrare än konkurrerande typer.

Tekniskt underlag

Figur 2 visar en del projekt som ger underlag för denna lagertyp. Det första är Sigtunalagret på 10 000 m^3 som nu varit i drift under 4 år. Såsom Figur 3 visar stämmer beräkningsresultaten och mätresultaten väl överens.

Luleålagret är intressant eftersom det kommer att visa driften vid relativt hög temperatur (70°C) och Stora Skuggan genom att det bl a demonstrerar en mycket billig kanalkonstruktion.

Mera grundläggande egenskaper demonstreras genom kanalförsöken i Studsvik, Stora Skuggan samt vid Älvkarleby.

Även demonstrationsprojekten för bergrum (Avesta och Lyckebo) har direkt intresse genom att de bl a

belyser de vattenkemiska frågorna, beläggning av värmväxlarytor m m.

I princip finns genom alla dessa projekt underlag för att åta sig byggandet av borrhålslager. Dock finns givetvis kvar önskemål om att ytterligare förbättra prestanda och sänka de specifika kostnaderna.

Vidareutvecklingsbehovet

Inom Studsvik och Sunstore KB har vi av denna anledning ägnat bl a följande frågor intresse:

- 1) att minska **värmeöverföringsmotståndet** mellan det strömmande vattnet och borrhålsväggen. Är vattenflödet så lågt att man har laminär strömning (viket oftast är fallet) kan detta åstadkommas genom att ordna en mycket tunn vattenspalt mellan ledröret och borrhålsväggen. Den smala spalten bidrar väsentligt till minskningen av motståndet jämfört med t ex den mycket breda spalten för Luleålagret, som är en konsekvens av användningen av hävertprincipen med två rör i den översta delen av kanalen.
- 2) För att dels lämna **markytan orörd** (så att lagret även kan anläggas under befintlig bebyggelse eller naturskyddad miljö), dels kunna utnyttja lagret även för **korttidslagring** har vi i konstruktionen illustrerad i Figur 4 förutsatt tunnlar under grundvattennivån från vilka borrhålen borras. Tunnlarna är vattenfyllda i normal drift och tjänstgör sålunda som korttidslager. Dessutom undviks behovet att penetrera ett ytlager av jord och dåligt berg, vilket undviker kostnaden för foderrör och minskar kostnaden för borrhning. Konstruktionen

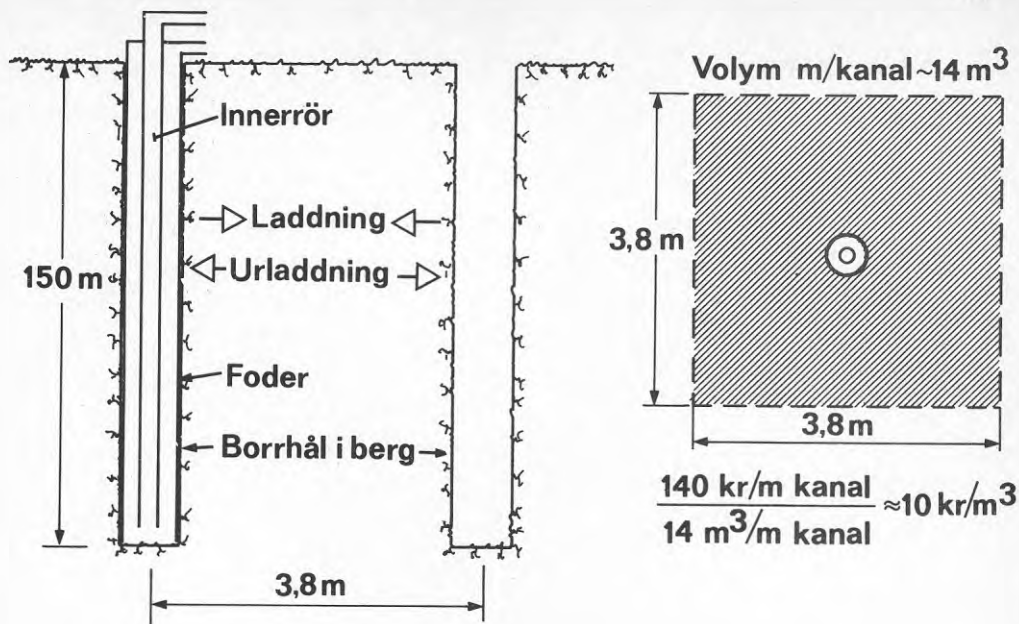
föreslogs av författaren 1980 i samband med förstudier för ett stort energilager för Göteborg, och har sedan dess beskrivits utförligare vid högttemperaturlagringsseminariet i Göteborg.

- 3) Vattenfyllda tunnlar under marknivån leder till utjämning mellan trycket i kanalerna och grundvattentrycket och eliminerar huvudparten av de tryckskillnader som kan förorsaka vattenläckage från kanalerna. Därför är det möjligt att använda **ofodrade kanaler**, vilket minskar kostnaden och förbättrar värmeöverföringen. (Även Luleå-lagren har ofodrade kanaler, men med samlingsrören ovanför mark. Då måste man för att undvika nämnvärt övertryck i kanalerna använda en hävert för att suga upp vattnet från kanalerna, vilket ger undertryck i samlingsrören och risk för inläckage av luft i systemet. Detta undviks genom den här valda lösningen med vattenfyllda tunnlar.)

- 4) Vi har utgått ifrån **flexibla ledrör** av plast som kan levereras i rullar av full längd. Detta leder till en mycket **kort installationstid** av kanalen jämfört med styva ledrör som måste skarvas (ofta svetsas) på platsen. Jämfört med ledrör av stål undviks dessutom korrosionsproblemet.

Slutord

Sammanfattningsvis kan konstateras att lagerprincipen illustrerad i Figur 4 som kombinerar fördelarna av borrhålslagrets låga specifika kostnader med bergrummets höga effektöverföringsförmåga och orörda markytor är ytterst attraktiv för många tillämpningar, särskilt i relativt stora projekt.

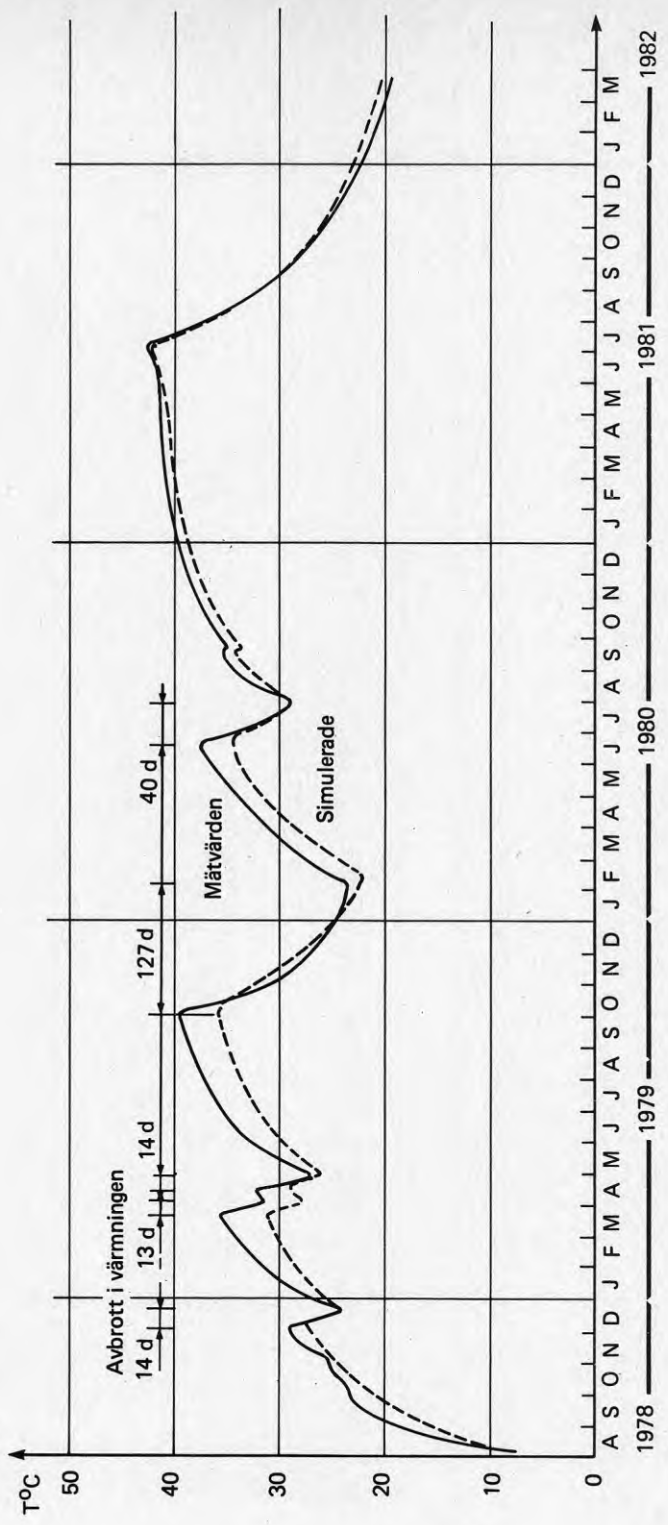


Figur 1. Borrhålslager (Sunstore) och dess specifika kostnad

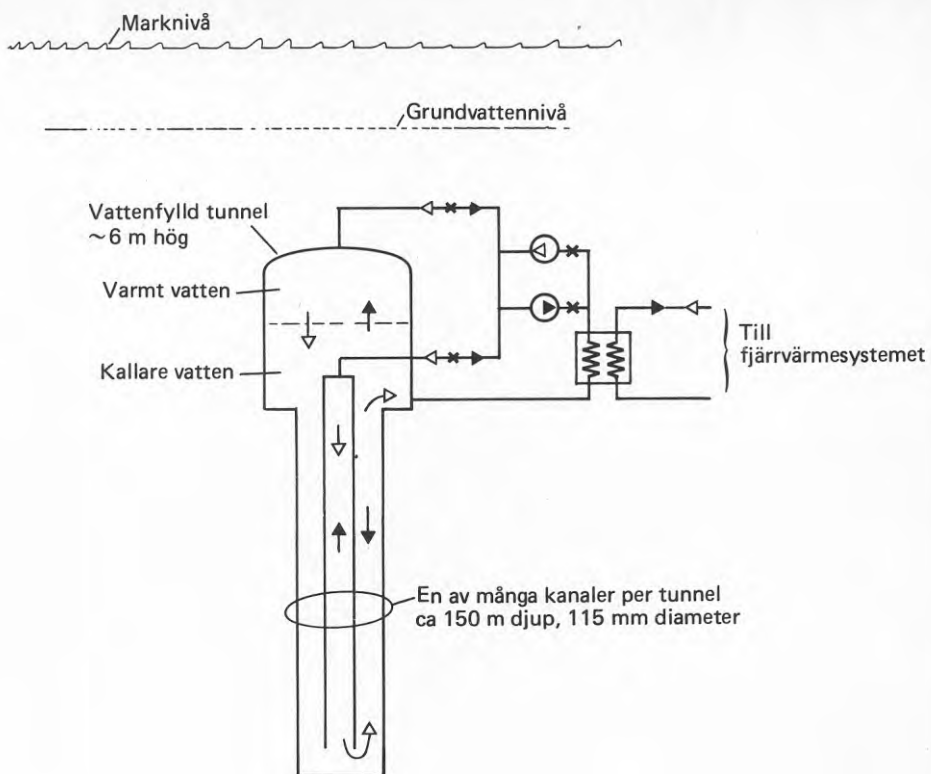
Projekt	Volym	Idrifttag- ningsår	Kommentar
Borrhålslager			
Sigtuna	10 000 m ³	1978	Goda drifterfarenheter
Luleå 1	500 m ³	1981	Oinklädda kanaler ca 40°C
Luleå 2	100 000 m ³	1983	Oinklädda kanaler ca 70°C
Stora Skuggan	ca 100 000 m ³	1984	ca 12 kr/m ³
Studsвик	} Enskilda kanaler }	} 1982/83	} försök
Stora Skuggan			
Älvkarleby			
Bergrum			
Avesta	15 000 m ³	våren 82	} Bergrum; vattenkemierfarenheter
Lyckebo	100 000 m ³	vintern 82/83	

Figur 2. Erfarenheter borrhålslager/bergtrum

Figur 3



Temperaturen i Sigtuna borrhålslager på en central axel 16.5 m under marknivån.



Figur 4. Sunstore-lager i berg med tunnlar och borrhål för korttids- resp långtidslagring.

HYDROCK - en ny metod att lagra värme i berg.

av

K. Gösta Eriksson	Chalmers tekniska högskola, Göteborg
Sven Åke Larson	Sveriges geologiska undersökning, Göteborg
Örjan Haag	Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Vid detta seminarium i Studsvik om "Lagring av värme i mark vid låg temperatur" har en rad förslag presenterats avseende värmelagring i både berg och jord. Värmetransport- och lagringsproblem har lösts med olika metoder. Den i denna uppsats beskrivna metoden att lagra värme i vår kristallina berggrund - urberget - söker utnyttja detta bergs gynnsamma spänningsegenskaper som ett instrument att åstadkomma ett relativt billigt och effektivt verkande värmelager. Den metod, efter vilken det här beskrivna värmelagret skapas, kallas HYDROCK och har utarbetats av docent Sven Åke Larson under dennes tid som forskare vid Geologiska institutionen, CTH/GU.

Flera försök har de senaste åren genomförts för att med olika metoder långtidslagra värme. Beträffande värmelagring i kristallint berg har främst två principer prövats:

- sprängning i berg för att åstadkomma utrymme för värmemediet (bergrum)
- borrhning i berg för att åstadkomma transportvägar för värmebärare där berget utnyttjas som lagringsmedium (borrhåls-lager).

En allvarlig begränsning för dessa båda typer av lager har dock varit den ekonomiska frågan gentemot andra typer av lager. Den mest uppenbara nackdelen är de dryga anläggningskostnaderna.

Önskvärda egenskaper hos ett värmelager i berg är, att det ej har geografiska begränsningar och att det kan användas både som långtidslager och korttidslager. Dessutom är det önskvärt att

lagret kan anläggas till rimliga kostnader såväl i redan befintlig bebyggelse som vid nybyggnation.

Lagring i berg av värme med hjälp av HYDROCK-metoden utgår från en ny princip för anläggning av värmväxlarytor i berget.

Dessa åstadkommes genom hydraulisk uppspräckning av berget på relativt ringa djup. Sprickorna kommer därvid att öppnas längs ett plan som är vinkelrätt mot minsta huvudspänningsriktningen. Emedan de övre delarna i Sveriges kristallina berggrund karakteriseras av stor spänningsgradient, där de horisontella huvudspänningarna är större än den vertikala, kommer de hydrauliskt uppspräckta sprickorna att öppnas längs horisontella eller subhorisontella plan (fig. 1). Detta är förutsättningen för att stora sprickor skall kunna skapas på ringa djup, eftersom de i annat fall interfererar med markytan. En undre gräns för att erhålla horisontella sprickor ligger vid ca. 200 meters djup.

Flera parallella sprickor kan åstadkommas på samma sätt. (Den hydrauliska konduktiviteten kan förbättras genom injektering av distanselement). Då tillräckligt stora värmväxlarytor skapats, kan varmt vatten pumpas genom sprickytorna varvid berget uppvärms. Varmt vatten kan erhållas från t.ex. spillvärme, solfångare, etc. Vatten-berg förhållandet kommer härvid att vara gynnsamt i jämförelse med andra lagertyper i berg. Den plana värmväxlarytan kommer dessutom att erbjuda fördelar, så att lagret snabbare kan laddas resp. tömmas i jämförelse med t.ex. ett lager med en borrhålsvägg som värmväxlaryta. Under behovsperioden pumpas kallt vatten genom spricksystemet varvid det varma berget avger sin värme (fig. 2).

HYDROCK-lagret erbjuder flera fördelar i jämförelse med t.ex. ett borrhålslager.

Några av de viktigaste är att:

- endast ett fåtal borrhål erfordras (för själva uppspräckningen samt för in- och utgående vatten vid drift)
- stora volymer berg kan utnyttjas som lager, dvs låg anläggningskostnad per m^2 värmväxlaryta

- lagret kan användas såväl som långtidslager som korttidslager
- byggnader kan uppföras ovanpå lagret.

Ett gammalt stenbrott vid Rixö i Bohuslän har under 1982 varit plats för försök med uppspräckning av granit i syfte att åstadkomma horisontella, parallella sprickor enligt HYDROCK-principen. I Bohusgraniten borrades fyra stycken borrhål. Blottningsgraden vid borrningsplatsen var mycket god och berget så gott som sprickfritt i ytan. Ett av hålen kärnborrades. Detta hål skulle senare komma att användas som uppspräckningshål. Samtliga borrhål nådde ned till c:a 70 meters djup under markytan. Avståndet från uppspräckningshålet till de tre kontrollhålen var 10 m, 10 m resp. 6 m (fig. 3).

Efter en noggrann dokumentation av försöksplatsen såväl på markytan som i borrhålen inleddes uppspräckningsförsöken. Dessa utfördes på två nivåer, dels 44 meter, dels 32 meter under markytan. Båda sprickorna anlades som horisontella sprickplan. De sprickor som anlades på 44 m nivå nådde fram till det närmaste kontrollhålet, dvs det som låg 6 m från uppspräckningshålet (fig. 3) varvid uppspräckningen avbröts. Den ytligare sprickan (32 m nivån) nådde fram till samtliga kontrollhål, dvs sprickan har en diameter på minst 20 meter. Sprickan kan dock vara större.

Försöket visar, att goda möjligheter finns att anlägga ett flertal parallella sprickor i syftet att åstadkomma ett HYDROCK-lager. Det spräcktryck som maximalt erfordrades för anläggning av sprickorna var 22,5 MPa. God kommunikation mellan borrhålen 1 och 2 resp. 4 erhöles vid provpumpningen.

Avsikten är att i en andra etapp åstadkomma flera parallella sprickor, samt att i dessa utföra olika tester för att närmare utreda de ekonomiska och tekniska förutsättningarna för ett lager av HYDROCK-typ. Häri ingår försök att nedbringa flödesmotståndet i sprickorna, uppladdning och urladdning av lagret samt försök att ta fram den optimala borrhålskonfigurationen för lagret. Befintliga datamodeller skall modifieras med hjälp av framtagna mätvärden. Modellerna skall därefter användas

som verktyg vid dimensionering av HYDROCK-lager.

Under den första etappen bekostades undersökningarna till lika delar av STU och BFR.

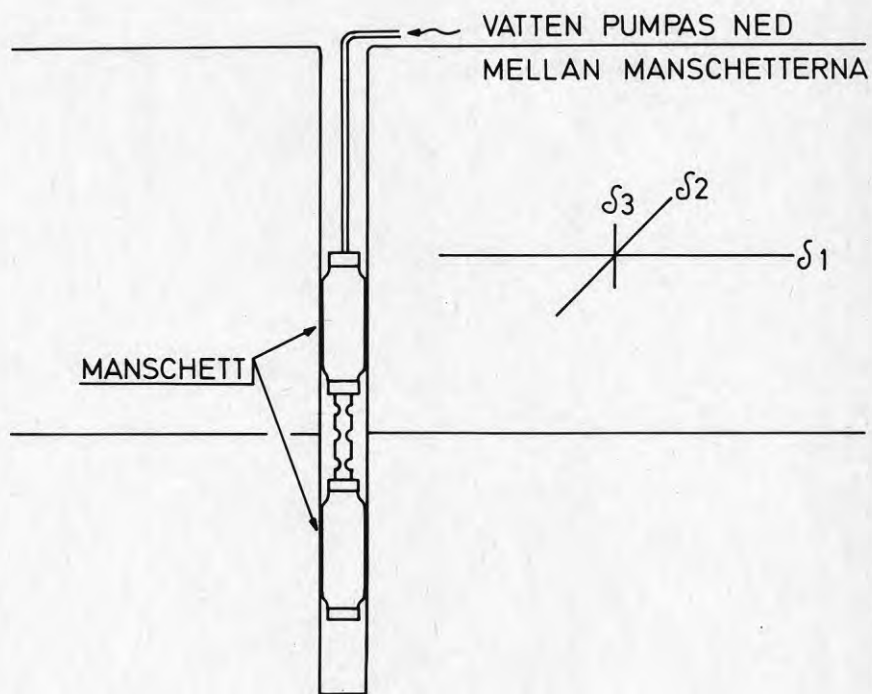


Fig 1.

Då minsta huvudspänningen är orienterad vertikalt kommer en horisontell spricka att öppnas när vattentrycket uppnått sitt kritiska värde mellan manschetterna.

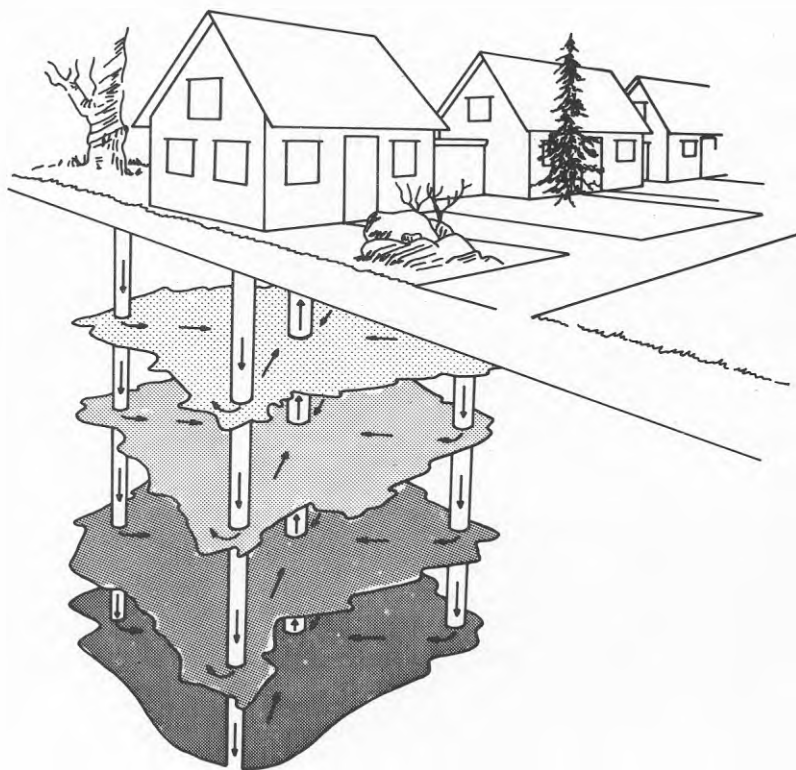


Fig 2.

Principskiss över HYDROCK-systemet, i vilket flera parallella sprickor i berget nyttjas för vattengenomströmning.

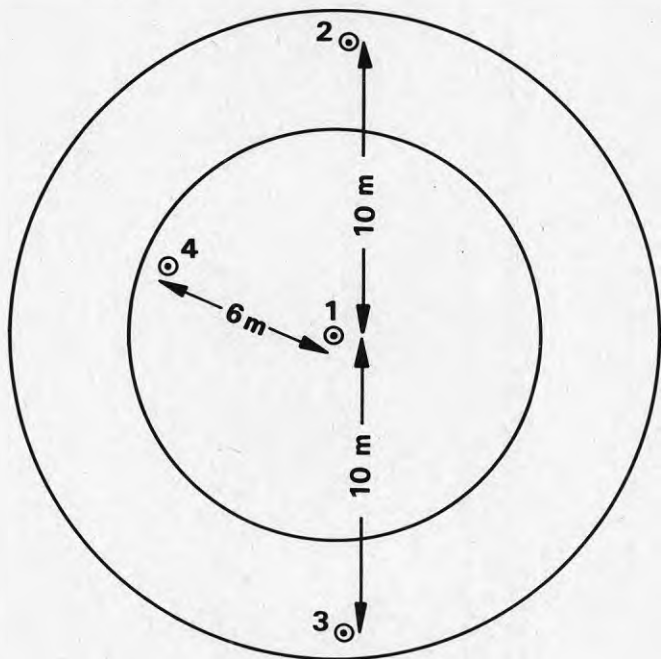


Fig 3.

Borrhålskonfigurationen i ytan vid försöksplatsen i Rixö. Borrhål nr 1 är kärnberrat. Inre cirkeln utgör minsta troliga utbredning hos sprickan anlagd på 44 m nivå. Yttre cirkeln utgör minsta troliga utbredning för sprickan på 32 m nivå.

AKVIFERLAGER

Föredrag vid lagringsseminariet i Studsvik 15-16 dec 1982 av civ ing Sam Johansson, Allmänna Ingenjörbyrå AB, Stockholm / Inst för vattenbyggnad, KTH, Stockholm.

1. ORIENTERING

1.1 Hydrogeologiska förutsättningar

Grundvattenmagasin i sand- och grusavlagringar (porakviferer) har sedan lång tid använts för vattenförsörjning. Från vattentäkter har erhållits en god baskunskap om grundvattenströmning, brunnsutformning och kemiska problem i svenska akviferer. Den grundläggande tekniken för vattenhantering vid värmelagring är således både känd och tillämpad. Vid vissa vattenverk sker redan i dag en oavsiktlig form av värmelagring i och med att varmt ytvatten infiltreras sommartid. Energin i det uttagna vattnet kommer hushållen till godo genom ett något varmare förbrukningsvatten.

De vanligaste porakvifererna är grusåsar och sandavlagringar. Dessa har bildats i samband med landisens avsmältning. Grundvattenmagasinen har ofta en betydande utsträckning och värmelager på några miljoner m³ kan erhållas i närheten av många tätorter. Kornstorleken i materialet varierar vanligen inom ett relativt stort intervall. Karaktäristiskt är att permeabiliteten är hög. Åsakvifererna är oftast uppbyggda av lager med varierande kornstorlek. Detta ger upphov till anisotropa förhållanden vilka medför svårigheter vid bedömning av en akvifers lämplighet för värmelagring. Omfattande förundersökningar måste därför utföras innan ett akviferlager kan anläggas.

Grundvattnets hastighet är beroende av tryckgradienten och akviferens permeabilitet. Även vattnets egenskaper som temperatur/viskositet påverkar grundvattenströmningen. Värmelager i grundvattenmagasin med hög vattenhastighet och kraftiga grundvattenståndsvariationer bör undvikas.

1.2 Lagerfunktion

En akvifer består av vattenfyllda porer och fast material. Vid värmelagring ersätts det ursprungliga kalla grundvattnet i porerna med varmare vatten samtidigt som kornmaterialet värms upp. En gränsszon eller temperaturfront mellan det varma och kalla vattnet utbildas. Temperaturfrontens bredd beror på den dispersion som uppstår vid det varma vattnets strömning genom porerna.

Temperaturfrontens rörelse och utseende påverkas även av vattnets temperaturberoende egenskaper som densitet och viskositet. Eftersom det varma vattnet är lättare

och mer lättörsligt tenderar detta att lägga sig överst i akviferen. En från början vertikal temperaturfront strävar därför mot en viss snedställning eller kantring.

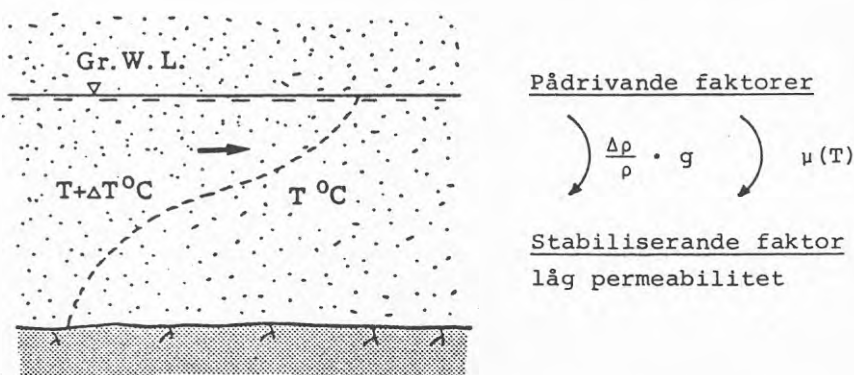


Fig 1 Kantringsförlopp vid en från början vertikal temperaturfront. Principfigur.

Effekter som kantring och dispersion påverkar i hög grad värmeförlusterna. Det är därför av stor vikt att dessa effekter kan beräknas innan ett akviferlager anläggs. Vid låga temperaturer samt i akviferer med låg permeabilitet är dessa effekter mindre.

I rapporten "Heat Storage in Natural Ground Water Basins Stage II" studerades dessa fenomen och följande kunde konstateras:

- system med vertikal front kan anläggas i akviferer vid säsongslagring vid låga temperaturer ($30-10^{\circ}\text{C}$) eller vid korttidslagring vid höga temperaturer ($90-40^{\circ}\text{C}$)

Akviferernas inhomogena och anistropa egenskaper måste dock alltid beaktas.

I samma rapport studeras även system med horisontell front. I dessa system åstadkommes en stabil skiktning genom att inlagra varmare vatten i lagrets övre del. Lagertypen kan därför användas vid höga temperaturer ($90-40^{\circ}\text{C}$) både för kort- och långtidslagring.

2. AKVIFERLAGERSYSTEM

2.1 Allmänt

Värmelagring i akviferer kan tänkas ske enligt ett flertal olika principer, beroende på önskad lagervolym och temperatur samt på akviferens egenskaper.

I slutna akviferer kan system med vertikal temperaturfront anläggas. Inlagring sker genom ett antal centralt placerade brunnar samtidigt som vatten pumpas bort ur perifert belägna brunnar.

I öppna akviferer kan ett flertal olika lagringsvarianter tänkas. Inlagring kan ske via brunnar eller via infiltrationsbassänger. I de fall man vill infiltrera sommarvarmt vatten kan även inducerad infiltration vara ett alternativ.

I båda akvifertyperna kan igensättningsproblem uppstå vid infiltrationsbrunnar. Dessa problem kan minskas genom värmeväxling av det varma vattnet till grundvattnet, vilket sedan återförs till akviferen.

2.2 System med vertikal temperaturfront

Vid lagringstemperaturer på upp till ca 30°C kan system med vertikal temperaturfront anläggas i våra svenska åsakviferer. Kantringsproblemen blir under sådana omständigheter begränsade och en relativt hög verkningegrad kan förväntas.

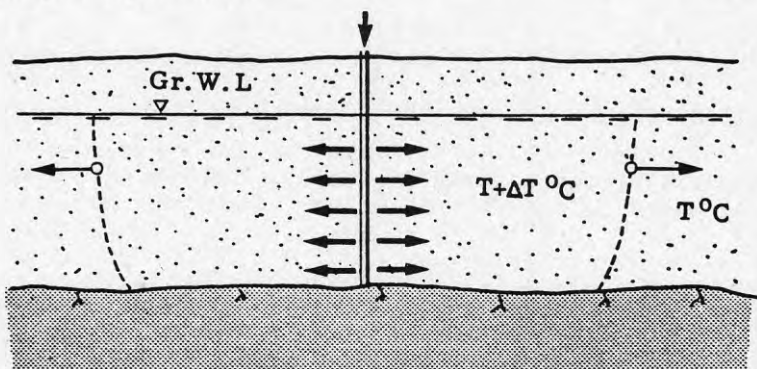


Fig 2 Akviferlager med vertikal front och inlagring genom en centralbrunn

Denna typ av system kan anläggas med idag känd teknik, även om en del problemställningar fortfarande är olösta, t ex inverkan av högpermeabla skikt i akviferen och inhomogenitetens inverkan på dispersionen. För att ut-

nyttja dessa låga temperaturer krävs en värmepump som höjer temperaturen till erforderlig nivå.

2.3 System med horisontell temperaturfront

För att åstadkomma ett system med horisontell temperaturfront måste en del av en akvifer avgränsas. Avgränsningen måste vanligen göras genom någon form av tätskärm av t ex bentonit men i vissa fall kan naturliga avgränsningar av berg utnyttjas. Ett värmelager med horisontell front blir stabilare vid högre temperaturer.

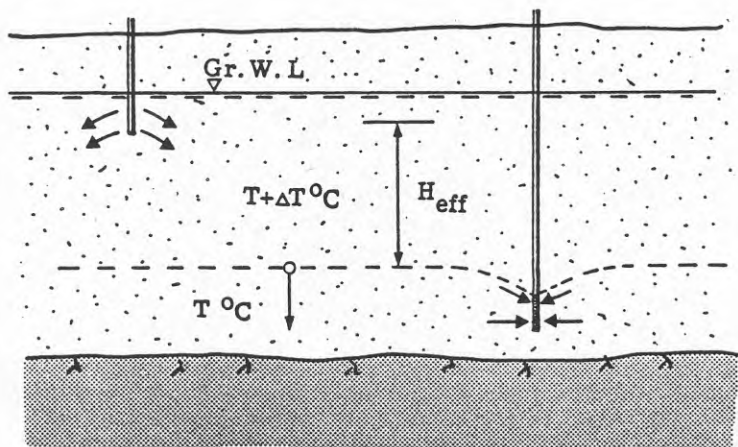


Fig 3 Akviferlager med horisontell front. Figuren visar också "down-coning-effekten", dvs den neddragning av fronten som sker vid uttag av bottenvatten vid laddning.

Problemen vid detta lagersystem är främst koncentrerade till brunnarna vid inlagrings- och uttagsförloppen. I brunnarnas närhet påverkas temperaturfronten kraftigt, vilket innebär att vid uttag av varmt vatten i lagrets övre del sker en uppdragning av temperaturfronten, s k up-coning. Vid inlagring pumpas bottenvatten från lagret och temperaturfronten dras då nedåt, s k down-coning. Dessa effekter kan medföra en blandning av varmt och kallt vatten, vilket leder till en försämrad verkningsgrad.

Systemen lämpar sig troligen bäst för mindre volymer och höga lagringstemperaturer.

2.3 Akviferlager med hydraulisk kontroll av temperaturfronten

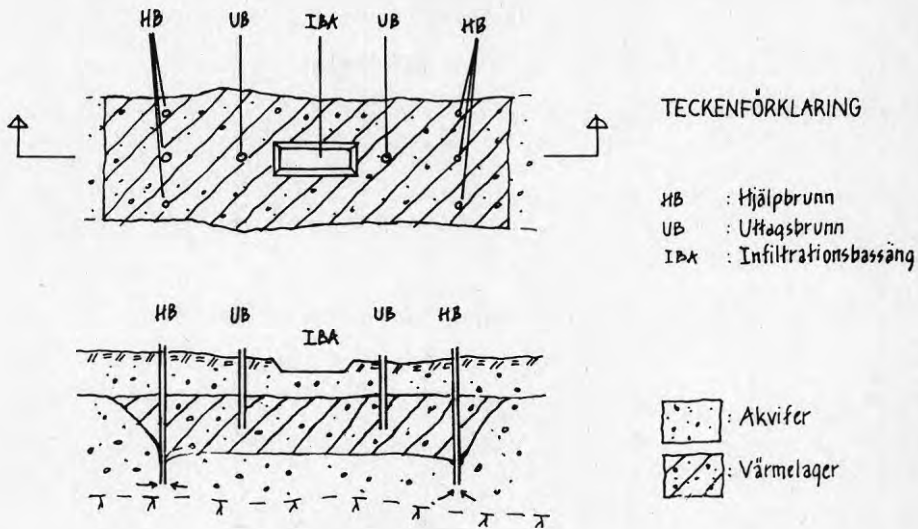


Fig 4 Akviferlager i grusås begränsad av två brunns-gallerier för stabiliserande pumpning

Detta lagringsförfarande är en kombination av de ovan nämnda systemen. Genom stabiliserande pumpning i de perifert belägna hjälpbrunnarna kan frontkantringen kontrolleras, samtidigt som det inlagrade varma vattnet hålls på plats. Systemet kan tillämpas inom ett brett temperaturområde. Även här måste dock effekter av up- och down-coning beaktas.

3. UTVECKLINGSLÄGE

Akviferlager bör inom de närmaste åren få en kommersiell tillämpning, speciellt lågtemperatursystem med vertikal front. De problemställningar som återstår bör lämpligen lösas i samband med att demonstrationsanläggningar uppförs.

För system med horisontell front samt system med hydraulisk kontroll av temperaturfronten erfordras ytterligare forskning innan systemen kan tas i bruk. En del av denna forskning pågår vid Inst för Vattenbyggnad vid KTH, där olika system och detaljutformningar studeras teoretiskt och i modellförsök. Under 1981 genomfördes där en mindre serie modellförsök av system med vertikal front, se fig 5. De effekter som främst studerades var frontkantring och värmeförluster till över- resp underliggande lager.

Akviferlagring har en betydande potential och forskningen bör därför bedrivas inom ett brett område. Utvecklingen bör drivas mot system som har en bred tillämplighet, både nationellt och internationellt.

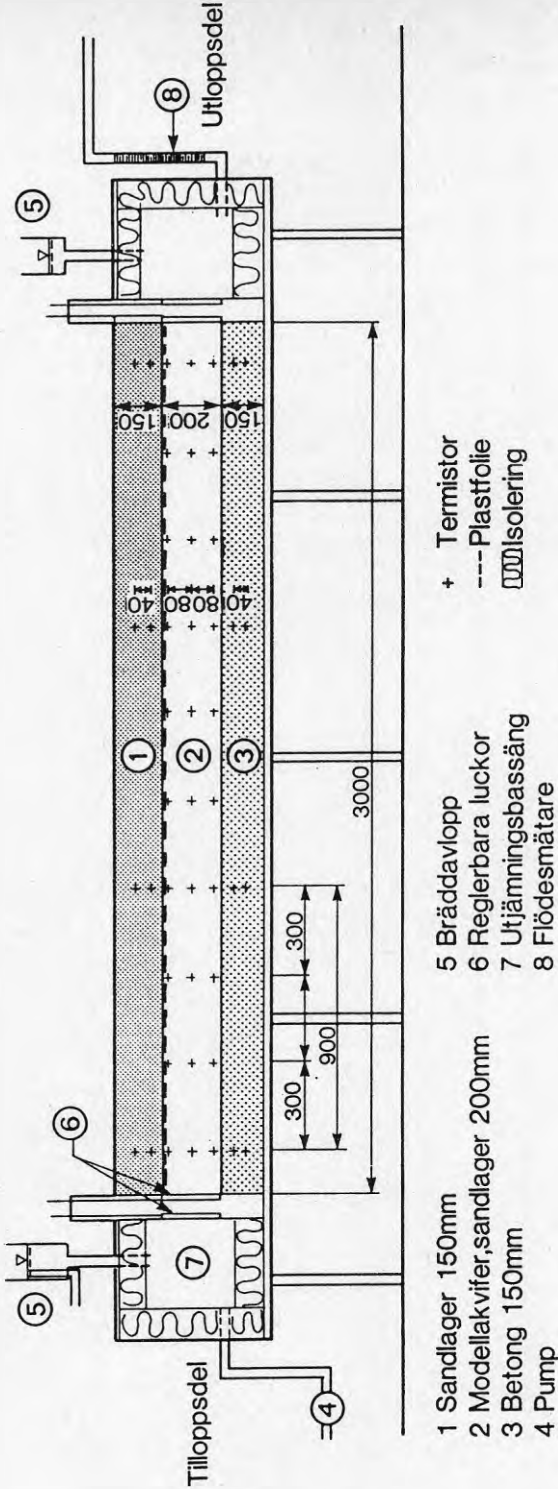


Fig 5 Principskiss över en värmelagringsmodell för studium av frontkantring och värmeförluster vid Inst för Vattenbyggnad, KTH

4. LITTERATUR

1. Andersson S m fl
Heat Storage In Natural Ground Water Basins,
AIB, Stockholm 1978
2. Andersson S m fl
Heat Storage In Natural Ground Water Basins,
Stage II, AIB, Stockholm 1980
3. Andersson S, Eriksson A
Värmelagring i konstgjorda grundvattenmagasin.
BFR R78, 1980
4. Hellström G, Tsang C, Claesson I
Heat Storage in Aquifers. Buoyancy flow and
thermal stratification problems. Inst för mate-
matisk fysik, Lunds Tekniska Högskola, 1979
5. Hydén H, Emmelin A
Utnyttjbar potential för värmelagring i
akviferer i Sverige. BFR :1983 (ännu ej
tryckt)

VÄRMELAGRING I GRUNDVATTEN VID LÅGA TEMPERATURER

Leif Lemmeke

INLEDNING

Flertalet av de FoU-projekt avseende värmelagring i grundvatten, som presenterats i Sverige och utlandet under senare år, har avsett lagring vid relativt höga temperaturer, dvs vid temperaturer mellan 50 och 100°C. Syftet med dessa projekt har främst varit att åstadkomma belastningsutjämnningar i värmeförsörjningssystem. Det ekonomiska motivet härför har då varit att begränsa investeringarna i värmeproduktionsanläggningar.

Om värmeproduktionen sker med hjälp av värmepump kan lågvärdiga värmetillgångar utnyttjas. Möjligheterna för att utnyttja dessa kan avsevärt förbättras genom värmelagring vid låga temperaturer av storleken 10-30°C. Både olika naturliga värmekällor (mark, luft och vatten) och lågvärdig industriell spillvärme kan användas. Av största allmänna intresse är dock utnyttjandet av de naturliga värmekällorna.

NATURLIGA VÄRMEKÄLLOR

Vid jordens yta bestäms temperaturen av värmebalansen mellan solinstrålningen och värmealstringen från jordens inre samt utstrålningen till himlavalvet. Då energiomsättningen där i huvudsak sker genom strålning medför säsongvariationerna i solinstrålningen att betydande energimängder omsätts i ytskiktet under en årscykel. Växlingarna bidrar till att hålla det hydrologiska kretsloppet igång samt ger upphov till säsongmässiga variationer av temperaturen vid ytan. I södra Sverige når exempelvis ytvatten temperaturer av storleken 15-20°C sommartid medan temperaturen om vintern faller till nära nollpunkten.

Under ytskiktet, där energiutbytet sker genom värmeledning, är värmeomsättningen trög. Detta kommer bl a till uttryck genom att grundvattnet redan på ringa djup håller en stort sett konstant temperatur året om. Denna temperatur motsvarar årsmedeltemperaturen vid markytan och uppgår i södra Sverige till 7-8°C.

PRINCIPLÖSNING FÖR STORSKALIG VÄRMEFÖRSÖRJNING

Genom att kombinera ytvattnets förmåga att infånga den instrålade solvärmens med grundvattens värmelagrande egenskaper kan naturen utnyttjas optimalt. Härvid kan en attraktiv värmekälla, som håller "sommartemperatur" året om, erhållas.

Detta sker genom att ytvatten från en sjö eller ett vattendrag sommartid cirkuleras via en värmeväxlare. I denna överförs värmen från ytvattnet till grundvatten som cirkuleras i ett slutet kretslopp från en del av ett grundvattenmagasin med kallare vatten till en annan del med varmare vatten. Magasinet uppladdas härvid med varmt grundvatten. En viss del av det uppvärmda grundvattnet eller det varma ytvattnet kan samtidigt tillföras en värmepump för produktion av erforderlig värmemängd.

Under årets kalla del avstängs ytvattenkretsen. Grundvattenflödet reverseras varvid det varma grundvattnet tillförs värmepumpanläggningen. Efter nerkylning återförs grundvattnet till magasinets kalla del varvid värmelagret urladdas.

VÄRMELAGRING

Genom lämplig placering och drift av uttags- och infiltrationsbrunnar kan värmelagringen styras och kontrolleras. Härvid uppnås att hydraulisk balans kan upprätthållas kontinuerligt liksom termisk balans kan upprätthållas på årsbasis. Detta innebär att värmelagrets påverkan på omgivningen minimeras.

Som hjälpmedel för detaljplanering och analys av värmelager i grundvattenmagasin har matematiska modeller utvecklats. Dessa ger möjlighet till att beskriva och undersöka ett planerat värmelagers hydrauliska och termiska funktion.

Användningen av brunnar för uttag och infiltration ger möjlighet till att utnyttja lämpliga grundvattenförande formationer som är belägna på relativt stort djup. Vid lågtemperaturlagring är det dock också möjligt att utnyttja ganska ytligt belägna grundvattenmagasin, då några få meters täckning över grundvattensytan ger tillräcklig isolering för att begränsa värmeförlusterna.

Genom att utföra värmelagringen vid låg temperaturnivå och först höja temperaturen efter lagringen i samband med användningen uppnås också andra tekniska och ekonomiska fördelar. Sålunda undviks de svårigheter med oönskad värmespridning (konvektion), som uppträder vid högtemperaturlagring, liksom de vattenkemiska problemen begränsas till att vara av stort sett samma omfattning som de som gäller för direkt utnyttjande av grundvatten. Ur ekonomisk synpunkt är det av avgörande betydelse att "gratisvärme" kan nyttiggöras. Det är vidare av viss betydelse att värmeförlusterna från lagret är ganska begränsade då detta medför att hanteringen av yt- och grundvatten kan hållas på ett minimum.

För att lagra en viss värmemängd vid låg temperaturnivå fordras ett ganska stort grundvattenmagasin liksom stora vattenmängder behöver hanteras. Ur ekonomisk synpunkt är det senare dock av begränsad betydelse. Där utnyttjande av grundvatten är möjligt finns vanligtvis också möjlighet för värmelagring i stor skala. Detta gör det möjligt att etablera mycket stora värmepumpanläggningar på upp emot 100 MW. Genom direktutnyttjande av grundvatten som värmekälla är det däremot endast möjligt att etablera anläggningar på upp till ett par få MW då utnyttjandet av grundvattentillgångarna bör vara i balans med den naturliga grundvattenbildningen.

EKONOMISKA FÖRHÅLLANDEN

Den beskrivna principlösningen karakteriseras av att investeringarna i värmepumpanläggning m m är relativt stora, dvs något större än för fastbränsleanläggningar. Däremot är driftkostnaderna något lägre. Detta innebär att värmepumparna i ett normalt värmeförsörjningssystem bör utnyttjas för täckning av baslasten, medan topplasten bör täckas med mindre kapitalkrävande produktionsanläggningar.

Utförda undersökningar visar sålunda att i anslutning till befintliga fjärrvärmesystem kan värmepumpanläggningar enligt den föreslagna metoden svara för 10-40 % av den maximalt erforderliga produktionseffekten. Kostnaden för den värme som produceras med värmepumparna beräknas då uppgå till 12-16 öre/kWh. Denna produktionskostnad inkluderar då kapitalkostnader beräknade för en kalkylränta på 6 %. I samband med nyanläggande av fjärrvärmesystem, som kan lågtemperaturanpassas, kan värmepumpeffekten uppgå till omkring 50 % av totala produktionseffekten. Den föreslagna lösningen framstår då som fördelaktigare än eldning med olja och konkurrenskraftig jämfört med eldning med fasta bränslen. Lösningen är vidare mindre känslig för förändringar i den allmänna prisnivån på energi.

En förutsättning för att den föreslagna lösningen kan tillämpas för försörjning av ett samhälle är att både ytvatten och grundvattenförande formationer, som kan användas för värmelagring, finns inom rimligt avstånd. Utförda undersökningar visar dock att betydande överföringsavstånd mellan samhälle, värmelager och ytvattentillgång kan tillåtas utan att produktionskostnaden påverkas nämnvärt. För större anläggningar kan överföringsavstånd på upp till ett par mil sålunda tolereras. Genom en rikstäckande undersökning har det vidare klarlagts att det finns fysiska och ekonomiska förutsättningar för att med den föreslagna metoden kunna bidra till värmeförsörjningen av ett par hundra samhällen inom landet. Härvid beräknas en oljeförbrukning på ca 1,5 miljoner m³ per år kunna ersättas.

SLUTSATSER

Den beskrivna principlösningen illustrerar att värme-lagring vid låga temperaturer ger goda möjligheter för att bidra till täckning av behovet för byggnads-uppvärmning. Det har vidare klarlagts att detta kan ske på ekonomiskt fördelaktiga grunder samt att en betydande potential för tillämpning av tekniken finns inom landet. Systemlösningen är vidare sammansatt av tidigare kända och beprövade komponenter, vilket motiverar att ett par demonstrationsanläggningar snart kommer till utförande. Härvid kan vissa praktiska problem beträffande brunnsutformning och vattenkemi närmare undersökas och detaljstuderas.

När sedan dessa anläggningar tagits i drift finns möjligheter för vidareutveckling och förbättring av lösningen. Genom komplettering med enkla solfångar-anläggningar kan lagringstemperaturen höjas, varvid driftekonomin kan förbättras. Vidare finns möjligheter för integrering med andra produktionsanläggningar varigenom funktionen av det samlade försörjningssystemet kan förbättras.

TEKNIK VÄRDERING

Värmebehov

- ⊕ *Befintlig bebyggelse (+50-80°C)*
- Framtida bebyggelse (temp. valbar)*

Naturlig värmeproduktion

- ⊕ *Värmepumpar (tillämpbar teknik)*
- Solfångare (teknik under utveckling)*

Naturlig värmelagring

- ⊕ *Grundvatten (relativt billigt)*
- Övriga medier (dyrare)*

Värmeförsörjning

- ⊕ *Kollektiva system (stor potential)*
- Separata lösningar (begränsad potential)*

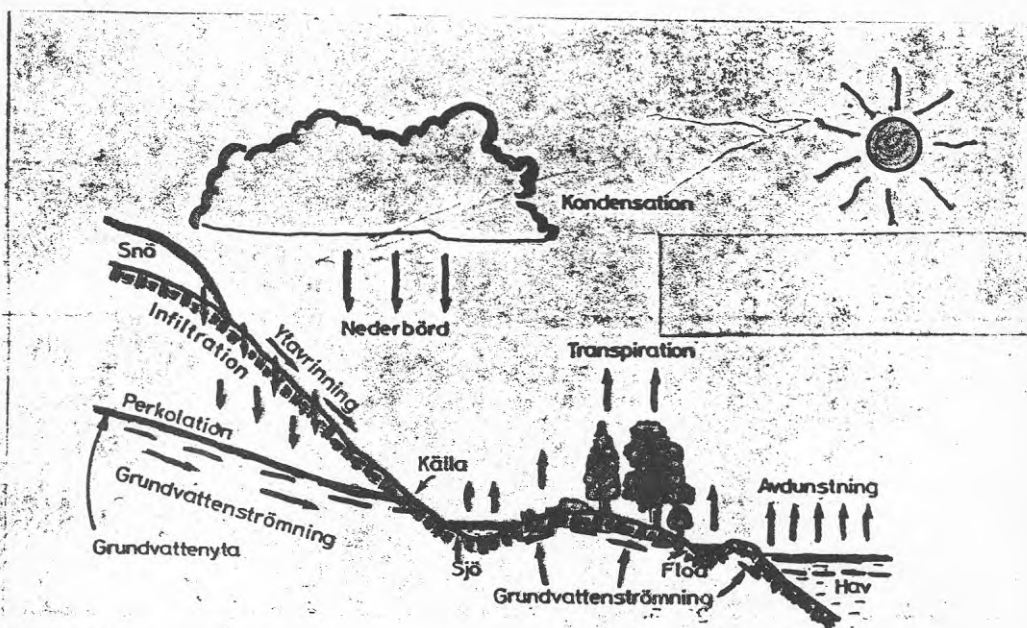
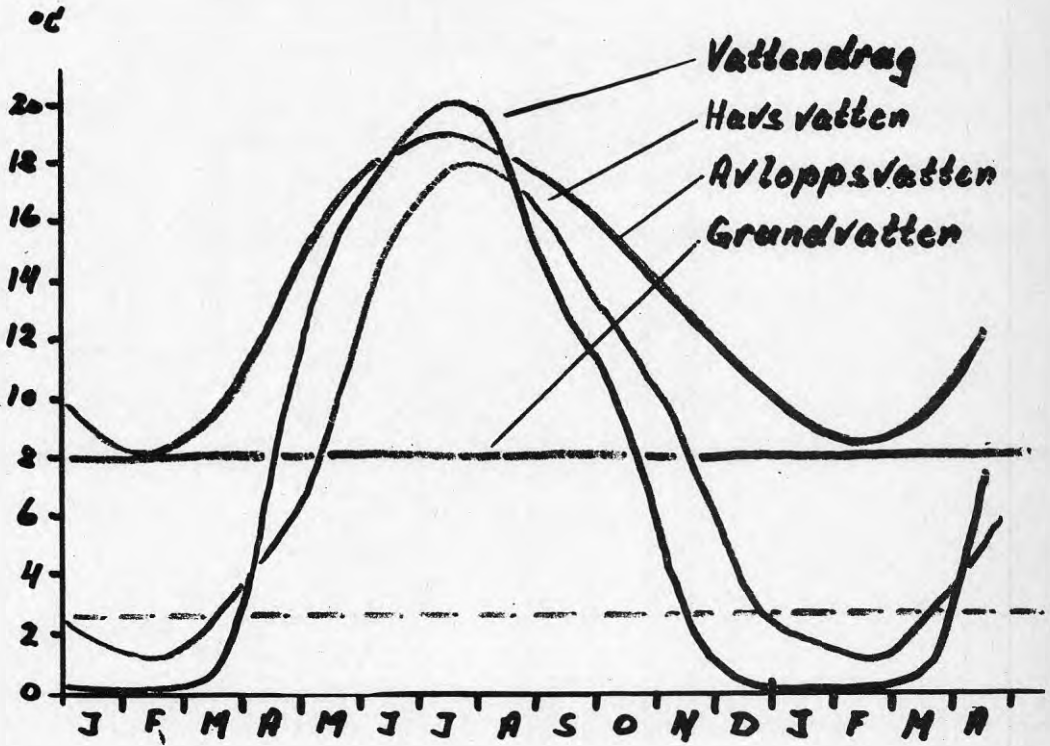


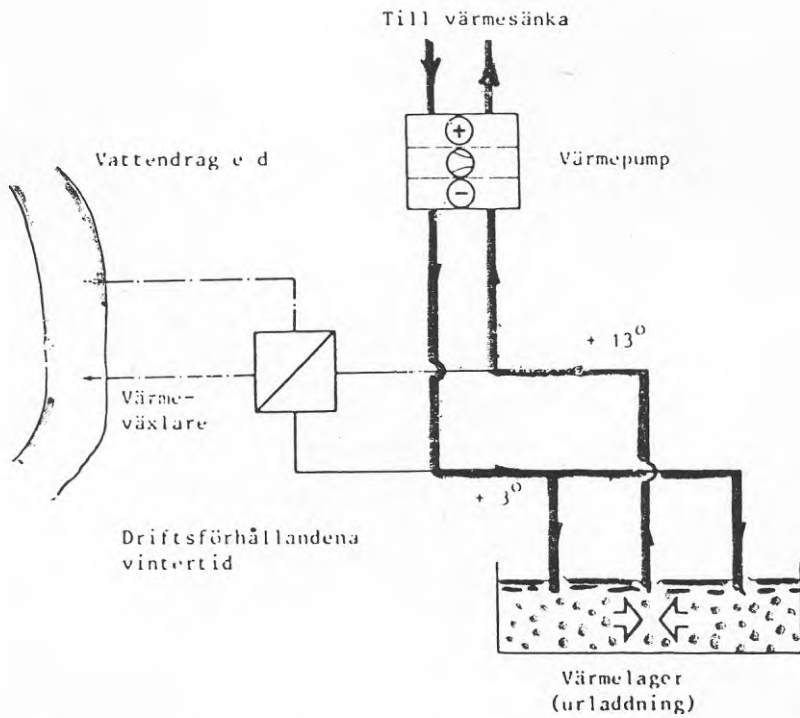
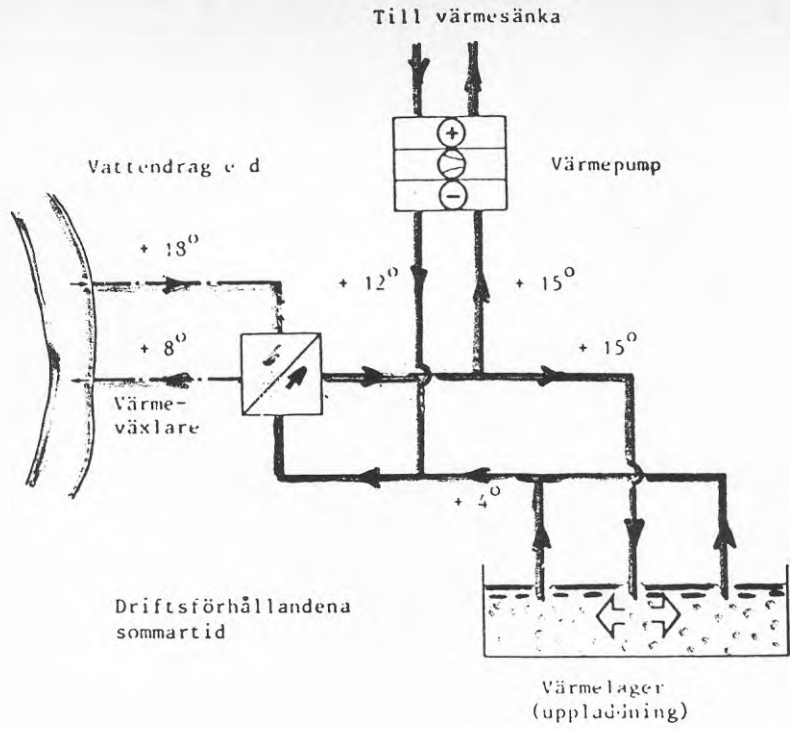
Bild 1. Vattnets kretslopp i naturen
(efter D. K. Todd 1959).

AVDUNSTNING	~ 400 mm	
GRUNDVATTENBILDNING	~ 100 "	(0-200mm)
YTAVRINNING	~ 100 "	(200-0 "
NEDERBÖRD	~ 600 mm	

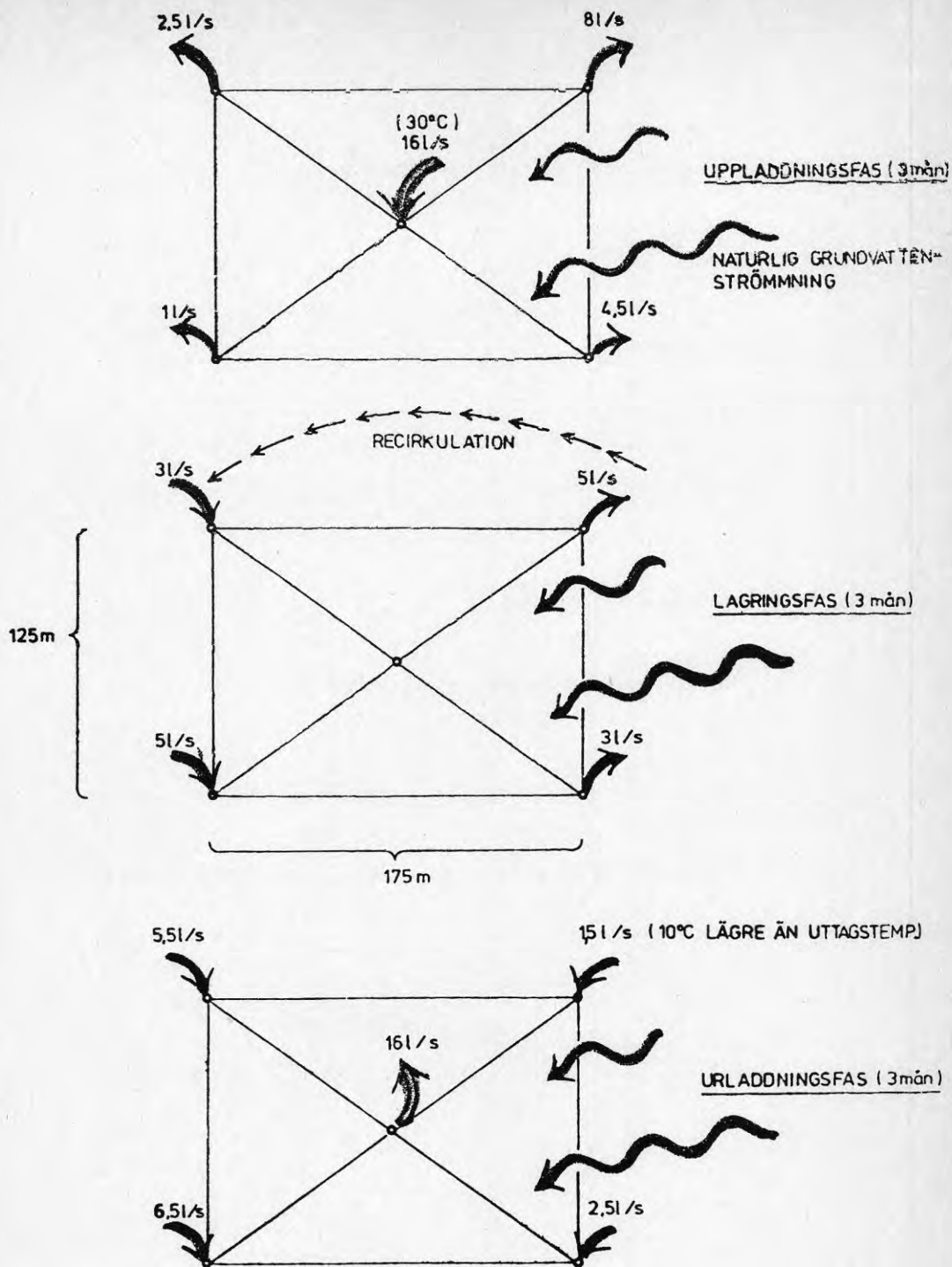
Temperaturvariationer för olika värmekällor



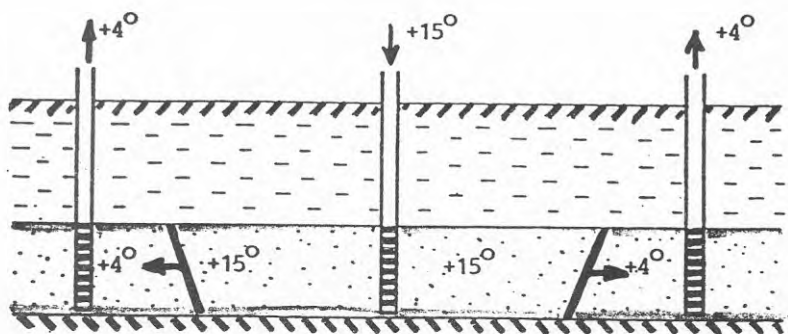
	Vatten- drag	Havs- vatten	Grund- vatten	Avlopps- vatten
$T > 18^\circ$	2 mån.	0-1 mån.	-	2-3 mån.
$T > 13^\circ$	4 "	4 "	-	7 "
$T \leq 8^\circ$	6 "	6 "	12 mån	0-2 "
$T < 3^\circ$	4-5 "	2-3 "	-	-



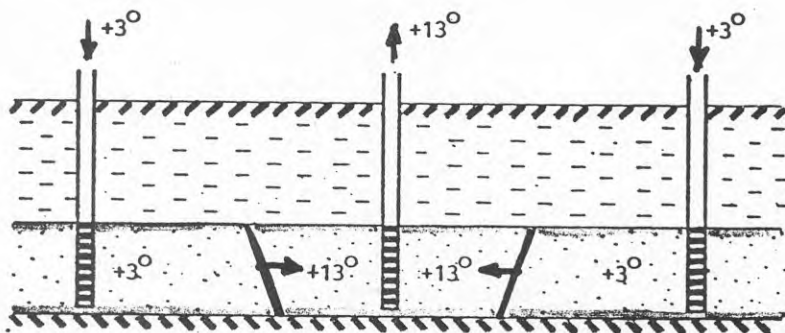
Figur 7.2 Principschema för värmeförsörjningsanläggning



Figur 6.4 Simulerad lagringscykel



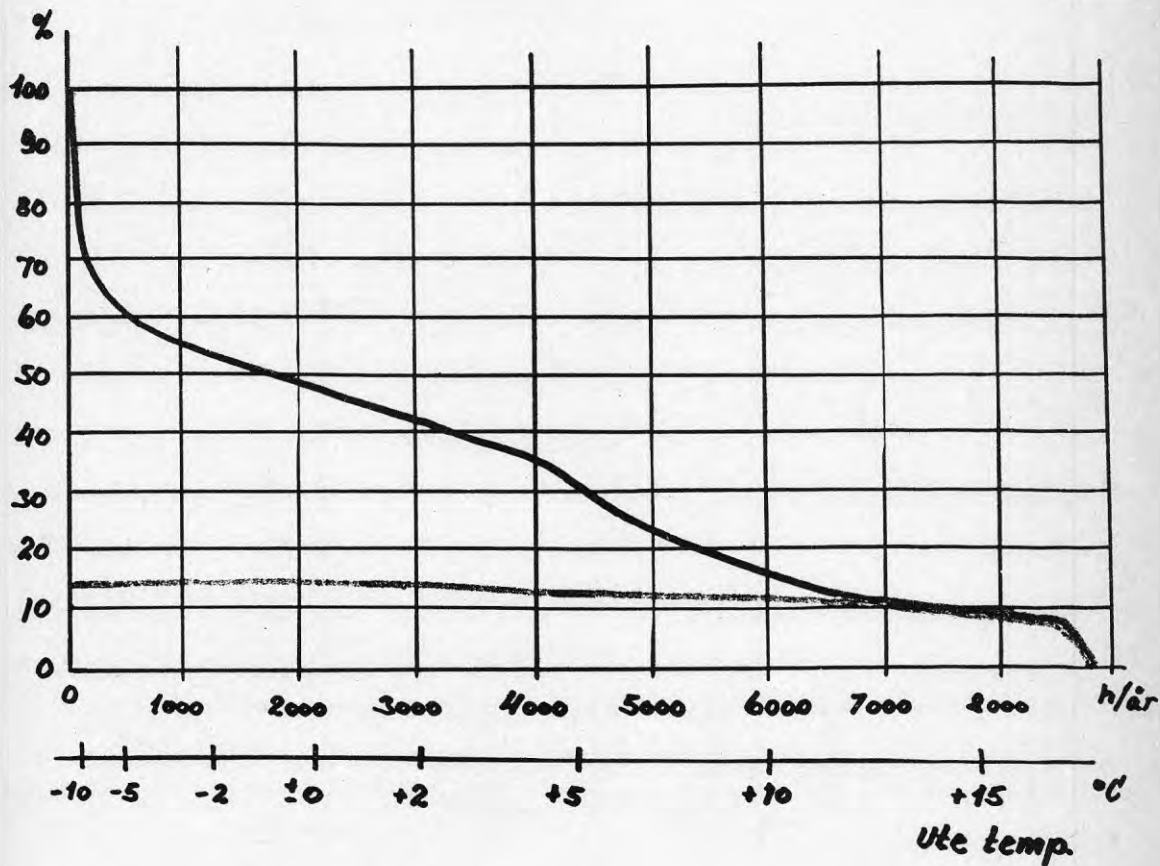
Uppladdning under sommarhalvåret



Urladdning under vinterhalvåret

Figur 3.9 Funktionsprincip för "pulserande magasin" för värmelagring

Anslutnings-
effekt



2600kWh/kW effekt

Ekonomisk kalkyl

Fjärrvärmealternativ

	Olja	Fasta ¹⁾ bränslen	Värmepump
--	------	------------------------------	-----------

Anläggningskostnad

- Produktion Mkr/MW	0,7	1,2-1,4	1,9
- Distribution "	0,5	0,5	0,6
- Summa "	1,2	1,7-1,9	2,5

Årskostnad, produktion

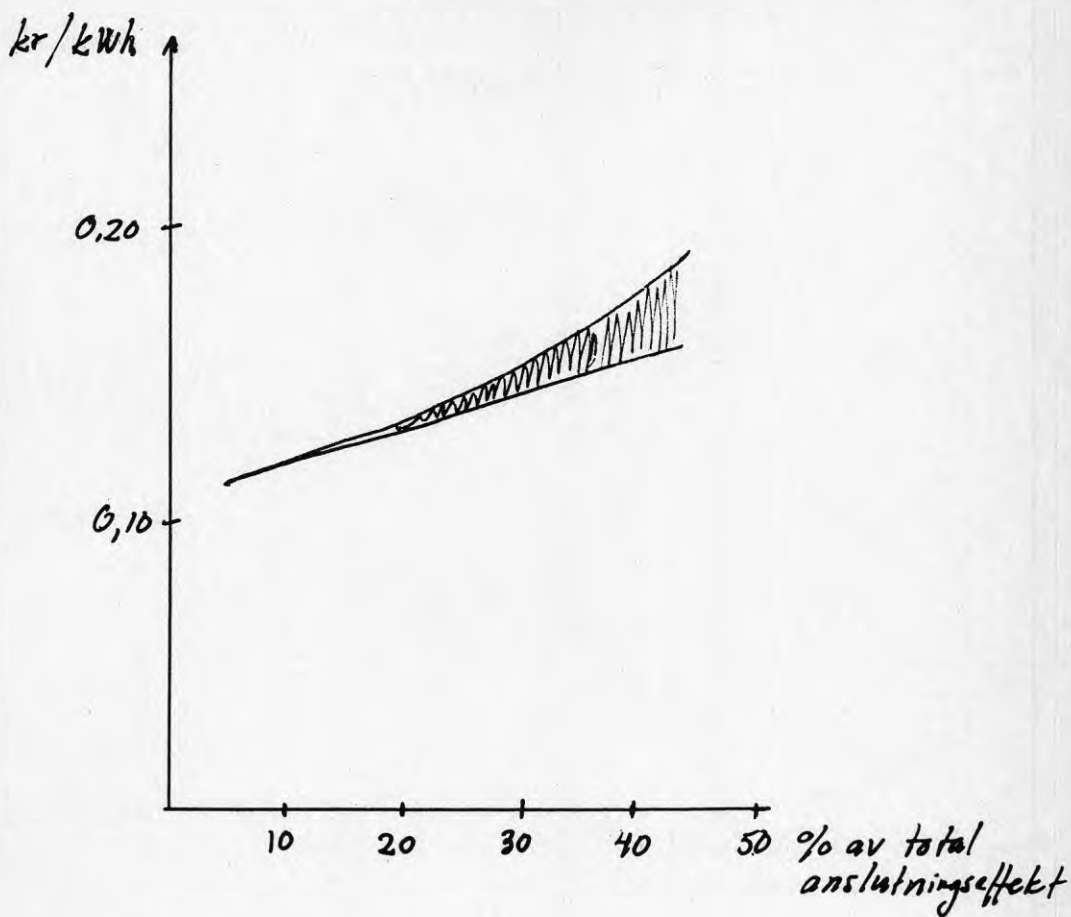
- Kapitalkostnader ²⁾ %	11	19-22	31
- Bränsle "	102	56-72	50 ³⁾
- Övriga driftkostnader -	14	20-25	19
- Summa	127	101-111	100

Produktionskostnad

öre/kWh	25	20-22	19-20 ⁴⁾
---------	----	-------	---------------------

Anmärkningar

- 1) Kol, torv, flis
- 2) Realränta 5%, 20 år (annuitet ~8%)
- 3) Elpris 23 öre/kWh
- 4) Tillägg per mil extra överföring: 1-2 öre/kWh



Energiproduktionskostnad som funktion
 av värmepumpens effekt i förhållande
 till total ~~anslutningseffekt~~
 produktions

PROJEKT SPEOS
PILOTANLÄGGNING FÖR VÄRMELAGRING I AKVIFER

Gunnar Gustafson, VIAK AB

INLEDNING

Inom IEA-samarbetet pågår för närvarande ett antal projekt med energilagring. Ett av dessa är ett försök med värmelagring i en akvifer i Lausanne, Schweiz. Projektet finansieras huvudsakligen av värdlandet men bidrag ges även av EG, Västtyskland, Holland och Sverige. Till projektet är knuten en expertgrupp med deltagare från bidragsländerna.

SYSTEMLÖSNING

I projektet inlagras och uttas värme från en kollektorbrunn, med dräner i två nivåer, se fig 1.

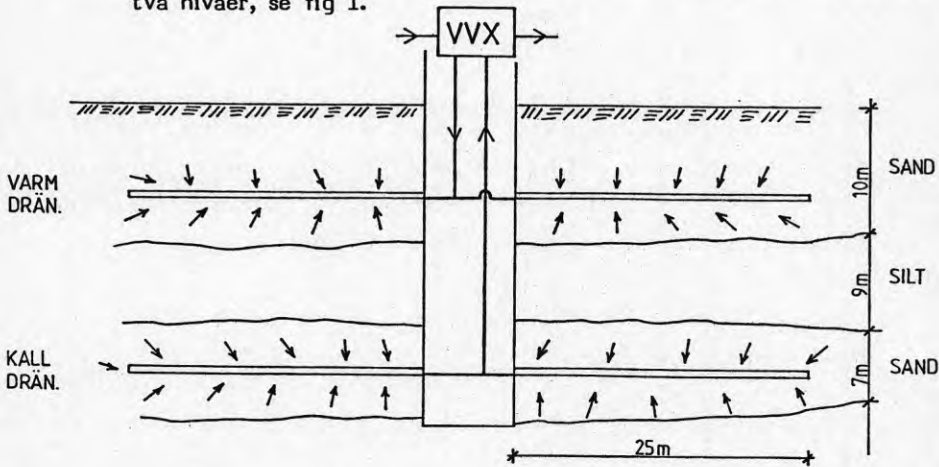


Fig. 1. Kollektorbrunn för värmelagring

På den övre drännivån inlagras och uttages varmvatten och på den lägre det svalare rehnvattnet. Genom detta vinnes en stabil temperaturskiktning.

Lagervolymer är 34.000 m³ innanför dränerna och den effektiva beräknade volymen är ca 100.000 m³. Genom att anläggningen är ett pilotförsök i ca halv skala blir värmeförlusterna ganska stora och av ca 1.500 MWh inlagrad energi räknar man med att återvinna hälften. Lagret skall arbeta med en inlagringstemperatur av 70°C och en utgående temperatur av 60-30°C. Under försöksperioden kommer lagret att värmas med en gaspanna och som värmelast används ett kyltorn.

OMRÅDETS GEOLOGI

Anläggningen är placerad i unga deltasediment från ett sidoflöde till Genevesjön. Deltat vilar på moränlera och består underifrån av ca 7 m sand, ett 9 m mäktigt siltlager och ovanpå det ca 10 m sand. Grundvattennivån ligger drygt en meter under markytan och i området råder ett grundvattenflöde med sydostlig riktning.

UTBYGGNAD OCH IDRIFTTAGNING

Kollektorbrunnen byggdes under våren 1982 efter omfattande förundersökningar. Hydrauliska tester av dränerna efter färdigställandet visade att en av dem inte fungerade väl. Under sommaren 1982 gjordes alla installationer och värmningen av lagret började i början av augusti.

MÄT- OCH UPPFÖLJNINGSPROGRAM

Under den tvåårsperiod, som försöksdriften är planerad till kommer ett omfattande försöks- och uppföljningsprogram att genomföras. Bland de viktigaste punkterna kan nämnas:

- Vattennivåer och flöden
- Temperaturer i mark och cirkulerat vatten
- Vattenkemi
- Meteorologi

- . Bakteriologi
- . Driftjournal med lagrad och producerad värme

ERHÅLLNA RESULTAT

Anläggningen har nu varit i drift i ca ett halvår, och data har redovisats från inlagringsperioden. Hydrauliskt sett har laddningen gått utan anmärkning.

I figur 2 redovisas temperaturerna i magasinet vid månadsskiftet augusti-september.

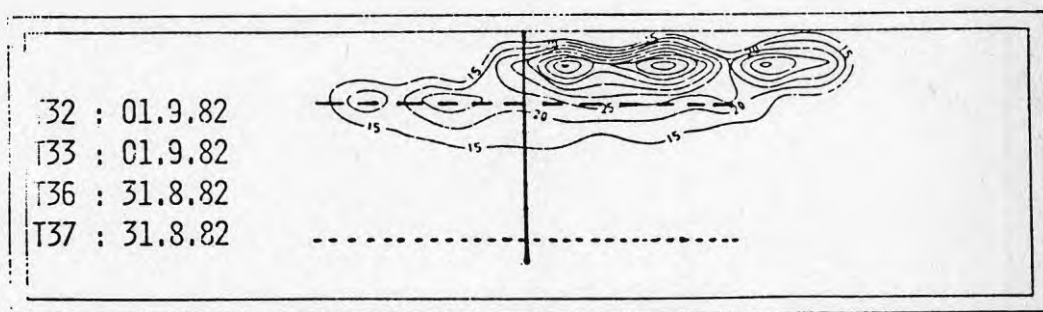


Fig 2. Temperaturer i grundvattenmagasinet, augusti-september, 1982.

Av figuren framgår dels att det varma vattnet flutit upp ovanför dränerna, dels att varmvattnet följt med det regionala grundvattenflödet. En viktig fråga blir därför om man kan kompensera för detta med ett förbilednings-system som man skisserat tidigare.

Från urladdningen av magasinet föreligger ännu ingen data.

TERMISKA ANALYSER

Johan Claesson
Byggnadsteknik, matematisk fysik, LTH, Lund

Sammanfattning av inlägg vid utvärderingsseminarium om lagring av värme i mark vid låg temperatur, 15-16 december 1982, Studsvik.

Problem och forskningsbehov rörande de termiska förloppen i marken i och kring ett markvärmelager skall här översiktligt ges i en lista.

För en översikt över datormodeller och analytiska studier hänvisas till mitt inlägg vid motsvarande utvärderingsseminarium för högtemperaturvärmelager (Göteborg 1-2 december 1982).

PROBLEM OCH FORSKNINGSBEHOV FÖR VÄRMELAGER

I BERG OCH LERA

1. Uppföljning av fältförsök: Sigtuna, Stora Skuggan, Luleå 1, Luleå 2, Utby, Kungälv, Kungsbacka, Studsvik, Älvkarleby
2. Dokumentation: Analysmetoder, beräkningsmodeller, erfarenheter från fältförsök
3. Speciella problem:
 - 3A. Styrd temperaturstratifiering med olika temperaturzoner
 - 3B. Lokalt värmemotstånd fluid - mark. Fältmätning, uttorkning, tidsvariation, frysning
 - 3C. Metodik för korttidstester i fältanläggningar
 - 3D. Noggrannare analyser av korta effektpulser
 - 3E. Miljöpåverkan
 - 3F. Störning från yttre grundvattenflöde
 - 3G. Ojämnt flöde i olika kanaler
 - 3H. Divergerande kanaler

PROBLEM OCH FORSKNINGSBEHOV FÖR AKVIFERVÄRMELAGER

1. Fältförsök: Lagring, återinjektering av varmare eller kallare vatten.
2. Viss dokumentation saknas: Räckvidd hos temperaturstörning, analytiska resultat m m.
3. Speciella problem:
 - 3A. Temperaturspridning, värmeförluster p g a inhomogeniteter (skiktad akvifer, linser). Här krävs teori, laboratorieförsök och fälterfarenheter.
 - 3B. Miljöpåverkan. Störning av naturliga grundvattentemperaturer.
 - 3C. Termohydraulisk optimering av brunnsgemetrier och pumpstrategier.
 - 3D. Termohydrauliska analyser: Upconing/downconing, stabilisering av termisk front med motpumpning.
 - 3E. Utveckling av termiska modeller för komplicerade brunnskonfigurationer.
 - 3F. Vidare analytiska och numeriska studier i samverkan mellan teoretiker, hydrogeologer och praktiker.

Värme i mark och vatten. Nuvarande lagregler.

Värmeutvinning och värmelager behandlas i en rapport från planverket som beräknas komma i

Några materiella regler som direkt behandlar värmeutvinning ur värmelagring i mark och vatten finns inte i svensk lagstiftning. Däremot finns lagar och föreskrifter som rör utförande och användning av anläggningar i jord, berg och vatten, bl a med hänsyn till störning av grannar och effekter på miljön. I följande sammanställning diskuteras några olika juridiska aspekter som är aktuella vid värmeuttag och värmelagring utifrån nu gällande lagstiftning.

Vad gäller rätt till energi på egen mark har markägaren rätten till biobränslen och samhället genom minerallagen har rätten till de fossila bränslena, men någon lagstadgad rätt till värme i jord, berg eller vatten finns inte. Likheter med gällande vattenrätt är emellertid uppenbara, varför en rätt till värme torde ingå i ägandet av en fastighet. Ett utnyttjande förutsätter dock att "skälig hänsyn tas till omgivningen" (jordabalken 3 kap 1 §).

Vid utförande av anläggning för värmeuttag eller värmelagring fordras tillstånd med hänsyn till dess konsekvenser ur allmän bebyggelsesynpunkt och eventuella omgivningsstörningar eller ändringar av naturmiljö. Tillståndsgivningen regleras av ett stort antal lagar och förordningar:

- o Byggnadsstadgan kräver byggnadslov vid nybyggnad och vissa åtgärder i samband med ombyggnad. Värmeväxlare för värmeuttag och värmelagring är inte byggnadslovspliktiga, men granskas som en del av uppvärmningssystemet om anläggningen avser nybyggnad. I vissa fall måste dock byggnadslov sökas för erforderlig bygghänsyn i anslutning till värmeväxlarsystemet, t ex pumphus.
- o Vattenlagen är ett komplex av regler för att underlätta effektiv användning av vattenresurser och är tillämplig på allt byggande i vatten. Även byggande inom den egna fastigheten kräver tillstånd från vattendomstol om åtgärden innebär skada eller intrång för annan. Sannolikt kommer åtminstone mer omfattande anläggningar för värmeuttag och värmelagring i bottensediment och ytvatten att kräva tillstånd som för byggande i vatten. Rättsfall saknas.
- o Miljöskyddslagen (1981:420) gäller för all slags markanvändning då omgivningen störs genom vatten- eller luftförorening, buller, skakning, ljus eller dylikt. Ändring av temperaturförhållanden vid bl a kylvattenutsläpp betraktas som en "termisk förorening", varför lagen torde kunna tillämpas vid såväl värmeuttag som värmelagring, om verksamheten kan betraktas som miljöfarlig. Enligt miljöskyddsförordningen (1981:574) föreligger anmälningsplikt till länsstyrelsen för större anläggningar för värmeutvinning ur eller värmelagring i mark och vatten (även grundvatten).

- o Hälsovårdsstadgan behandlar särskilda åtgärder mot vatten- och luftföroreningar. Stadgan kan vara aktuell för vissa typer av slutna system med giftig antifrysvätska i cirkulationssystem, t ex glykol, när fara finns för förorening av dricksvatten vid läckage.
- o Lagen om hälso- och miljöfarliga varor uppställer vissa aktsamhetskrav som måste uppfyllas vid hantering av sådana varor. Värmebärarvätska torde som regel utgöra sådana vara.

Är fastighetsägarna överens kan en anläggning för värmeuttag eller värmelagring utföras på annans mark, men ett avtal bör upprättas och inskrivas i fastighetsboken, s k servitut. Kommunförbundet har utarbetat ett förslag till tidsbegränsande servitutsavtal för ytjordvärmesystem som kan ge viss vägledning även för andra systemlösningar.

Som framgår av vad som anförts ovan finns f n ingen lagstiftning som direkt behandlar frågor om värmeutvinning ur och värmelagring i mark och vatten. När det gäller formella planfrågor kan man dock i de flesta fall finna lösningar inom ramen för den ordning som gäller i dag och som framgår av planverkets Detaljplaneanvisningar. Av planbeskrivningen bör framgå hur området avses värmeförsörjas.

Anläggningar av större omfattning med tillhörande värmelager kan räknas som industri och redovisas som kvartersmark för detta ändamål. Skall anläggningen drivas i kommunal regi kan den redovisas som kvartersmark för allmänt ändamål.

Mindre anläggningar kan anges som värmecentraler eller rymmas inom mark som är avsedd för gemensamma anläggningar.

Om särskilda områden avsätts i plan för värmelager kan de redovisas som område för upplagsändamål.

Ledningsområden får redovisas på sedvanligt sätt som sk u-områden. Vill man i plan förbjuda att mark utnyttjas för ledningsdragningar, t ex för jordslingor som utnyttjar ytjordvärme, måste detta framgå av en särskild planbestämelse.

Lagring av värme i mark (och vatten) vid låg temperatur, tillämpningar. Thomas Rostock, SIND

Värmelager och bebyggelse.

Värmelager skall på något sätt anpassas till bebyggelsen, såväl befintlig som ny bebyggelse. Med tanke på förhållandevis höga investeringskostnader för kulvertar kan även generellt antas att lagren kommer att anpassas till sk tät bebyggelse och då företrädesvis flerbostäder. Denna bebyggelse typ som idag till närmare 50 procent är försörjd med fjärrvärme väntas med nuvarande energipolitik få en ytterligare kraftig fjärrvärmeanslutning under 1980-talet. Av fjärrvärmda bostäder svarar idag flerbostadshusen för 93 procent, dvs småhusens betydelse i sammanhanget är av marginell karaktär.

Under 1950- och 1960-talen skedde en kraftig expanderande nyproduktion av lägenheter i flerbostadshus som kulminerade under perioden 1968-71 då över 75 000 lägenheter årligen färdigställdes. Sedan 1971 har nyproduktionen stadigt varit fallande för att från 1976 och framåt ha legat på en nivå av ca 15 000 lägenheter årligen. Sett i ett längre perspektiv innebär nuvarande befolkningsutveckling som enligt SCB kan bli negativ redan kring 1990, att man knappast kan räkna med någon kraftigare höjning av denna produktionsnivå.

Nyproducerade lägenheter i flerbostadshus kan väntas få en specifik energiförbrukning som ligger väsentligt lägre jämfört med befintliga lägenheter eller motsvarande 1/3 av nuvarande energiförbrukning. Tillsammans med relativt låg nyproduktion enligt ovan skulle därmed befintlig bebyggelse och företrädesvis flerbostadshus, vara den stora "kunden" för värmelager. Även lägre förbrukning i befintliga flerbostadshus kan naturligtvis påverka lönsamheten för värmelager. Enligt landets tre stora förvaltare av denna bostadstyp kan man under 1980-talet räkna med en minskad förbrukning på ca 30 procent.

Lågtemperatur - fjärrvärmesystem.

Förutom att energilagring underlättas kan lägre temperaturer i fjärrvärmenäten sammanfattningsvis motiveras enligt följande:

- möjligheterna att utnyttja lågtempererade energikällor ökar
- värmepumpar blir mer försvarbara
- ökad frihet erhålls för solvärme
- möjligheten till mottrycksproduktion ökar
- nya material kan användas i rörledningar
- värmeförlusterna minskar på nätet

Om ovanstående motiverar lägre temperaturer finns dock faktorer som talar emot. Exempelvis kan en ökad användning av större värmepumpar innebära att värmeunderlaget för mottrycksproduktion reduceras. Generellt gäller även att införande av lågtemperatursystem medför höga installationskostnader för vilka alternativkostnader bör beräknas. Dessa kan exempelvis avse ytterligare investeringen på tillförselsidan, exempelvis i elproduktionsanläggningar.

Det torde vara en allmän uppfattning att det är de stora fjärrvärmesystemen som både snabbast och kvantitetsmässigt kommer att ge de stora bidragen till kommunal mottrycksproduktion. Samtidigt är det dock enligt oljeersättningsdelegationen i dessa system som det finns kunder med många olika krav på sin värmeförsörjning. Sålunda kräver exempelvis sjukhus, restauranger o s v höga vattentemperaturer för att kunna utnyttja värmen. För sådana kunder skulle en sänkning av distributionstemperaturen i fjärrvärmesystemet innebära stora kostnader.

Som framgår ovan finns det obesvarade frågor kring förutsättningarna för lågtemperatursystem. Detta torde särskilt gälla de värmeunderlag som avses användas för kommunal mottrycksproduktion.

Det bör observeras att lågtemperatursystem enligt förda resonemang fortfarande avser befintlig bebyggelse vilken enligt ovanstående får anses vara avgörande under perioden fram till år 2000. För nyproduktionen är givetvis anpassningen till lågtemperatur väsentligt lättare. Denna anpassning kommer även att gynnas av en revidering av energihushållningsbestämmelserna i SBN 80. Generellt krävs här att vattenburna uppvärmningssystem dimensioneras för lågtemperatur.

Förutsättningar för värmepumpar

För s k mekaniska värmepumpar torde elprisets utveckling och pumparnas avskrivningstider bli avgörande för deras lönsamhet.

I diskussionerna kring Stor-Stockholms värmeförsörjning förutsätts för en eventuell kraftig introduktion av värmepumpar tidsfaktorn vara avgörande d v s det relativt låga elpriset måste utnyttjas. Beträffande avskrivningstider finns beräkningar som visar 3-4 år.¹

Få (större) absorptionsvärmepumpar finns f n i drift. Marknaden för dessa bör rimligtvis öka med stigande elpris.

Thomas Rostock

¹ Avser värmepumpar 10 MW.

Diskussionsinlägg vid seminarium angående lagring av värme i mark (och vatten) vid låg temperatur, 1982-12-16

Av Tomas Bruce, Södertälje Energiverk

Jag tänker i mitt inlägg begränsa mig till de förutsättningar som finns redan idag för energilagring i befintliga fjärrvärmesystem. Det blir då vid lite högre temperaturer än de vi tidigare diskuterat här. Här finns å andra sidan redan idag kanske en marknad och dessutom har den stor potential. Orsaken till detta är att våra fjärrvärmesystem, stora som små, håller på att ställas om från rent oljeeldade system till flerbränslesystem med fasta bränslen till lägre kostnad i botten.

Förr så byggdes korttidslager vid kraftvärmeverken för dygnsutjämning, se overheadbild nr 1. Detta kunde ske trots att alla fjärrvärmeproduktionsanläggningar eldades med samma bränsle tack vare att efterfrågan motiverade maximal körning av kraftvärmeverket. En dygnsackumulering var då intressant vid tider med tillräckligt högt elvärde i kombination med att kraftvärmeverket inte hade värmebelastning för full produktion hela dygnet. Denna situation kan givetvis återkomma i framtiden när kraftvärmeutbyggnaden tar fart i samband med kärnkraftavvecklingen.

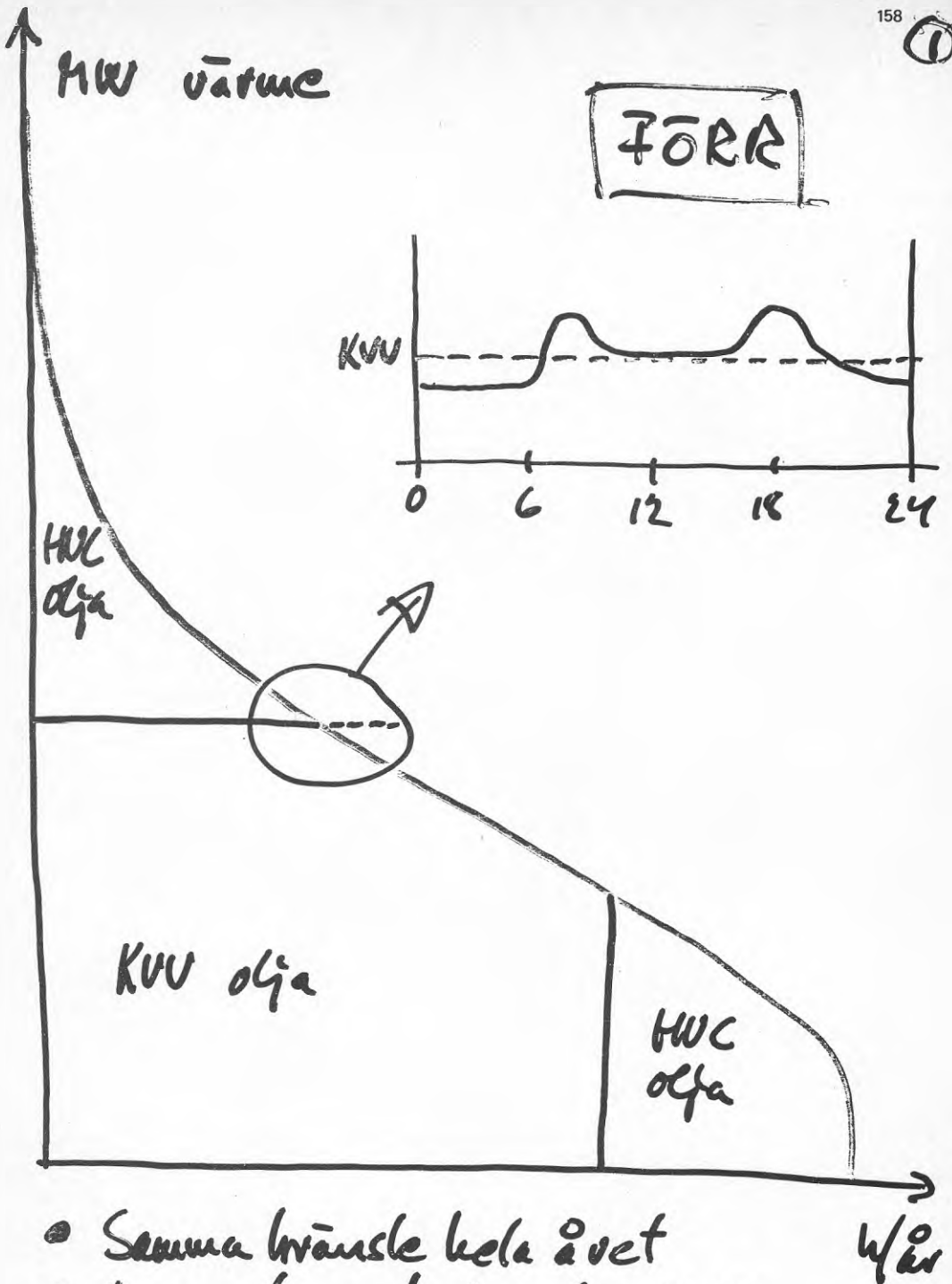
Det som händer nu är dock att fasta bränslen och spillvärme (med eller utan värmepump) introduceras i fjärrvärmesystemen. Även utan kraftvärmeverk kommer därför intresse att finnas att kunna lagra energi från tid till annan. Nu blir dock säsongslagring av intresse. Se overheadbild nr 2. Det finns ofta teoretiskt i sådana system tillräcklig kapacitet att sommartid producera all den energi som normalt tas vintertid i en befintlig oljeeldad hetvattenpanna. Frågan är nu om ett lager kan byggas så tekniskt tillförlitligt och ekonomiskt rimligt att det blir en verklig möjlighet.

I diskussionen redovisas ett mycket förenklat räkneexempel över vilket värde som skulle kunna finnas för säsongslagring i ett större befintligt kol- och oljeeldat fjärrvärmesystem. Utan att gå in i detaljer visar exemplet att man under vissa speciella omständigheter skulle kunna ha en totalram (i form av nuvärde) om 1 kr/årlig kWh till förflöende.

Detta belopp måste då räcka till

- anläggningskostnaderna
- kostnader för framtida värmeförluster
- kostnader för framtida drift och underhåll
- vinst som gör det tillräckligt intressant för att genomföra projektet

Ett årstidslager som kan lagra 100.000 MWh skulle då kunna få en totalram i form av nuvärde för alla dessa kostnader om 100 Mkr. Kan någon lagertekniker offerera mig ett sådant lager?



- Samma bränsle hela året
- Dygnssackumulering för KVV
- Säsongslagring ej aktuell

↑ MW värme

FRAMÖVER

159

②

HVC
olja

HVC fastbränsle/Spillvärme

→
h/år

- Flerbränslesystem
- Säsongslagring oönsk värd
- Mycket stor skillnad i varlig prod. kostn.

Värmelagringens systemfunktion

1. Lagret som "försörjningskälla"

Detta avser det fall när en substantiell del av värmeförsörjningen sker med lagrad energi.

Ur energileverantörens synpunkt kan lagringstekniken innebära att värmeförsörjningen inom ett område får en annorlunda karaktär. Behovet av utifrån tillförd energi minskar eller omfördelas. Omfördelningen är dels tidsmässig, dels artmässig. För dimensioneringen av "tillsatsenergisystemet" är det väsentligt att veta hur detta annorlunda behov ser ut.

- Hur ändras belastningskaraktäristiken? Blir den olika för olika slag av lagerteknik?
- Hur stora lager krävs för att "klara" försörjningen och hur stora blir lagerförlusterna? Hur lång tid tar det att "investeringsladda" lagren? Hur ordnas energiförsörjningen under uppbyggnadstiden?
- Fordras effektreserv och i så fall hur?
- Lagret som effektreserv?
- Kan man komplettera underdimensionerade lager?
- Påverkas bebyggelseutformningen?

2. Lagret som systemkomplement

Lagret kan tjäna som ett komplement i ett energiförsörjningssystem genom upplagring av "spillvärme" från industrier, mottrycksproduktion e d.

- Hur ser en lagerstrategi ut i detta perspektiv? Hur arrangeras korttids- och långtidslagring? Kan de kombineras?
- Lagrets flexibilitet/adaptivitet. Kan lagret utnyttjas i olika tillförselalternativ (olika på kort- och lång sikt)?
- Har denna aspekt något incitamentsproblem sådant att drift av lagren fordrar ägarinflytande från energileverantörens sida?
- Påverkas lagerlokaliseringen i förhållande till "primär" produktionsresurs.

3. Lagertekniken i kommunal planering

Osäkerheten för tillämpning är av flera slag. Självklart är osäkerhet om kostnader, drifttegenskaper o d hinder vilka kan övervinnas med experimentverksamhet. Insiktshinder är svårare att övervinna. De beror på brister i utvärderingsmöjligheter på lokal nivå.

Kan man åstadkomma en analysmanual som beskriver lagrets funktion, komponenter, osäkerheter, utvecklingsmöjligheter, "nischer", kalkylmetodik etc ?

SVAR TILL SEMINARIELEDNINGENS
FRAGELISTOR

SEMINARIELEDNINGENS LISTA AV FRÅGOR BETR LAGER I JORD OCH INKOMNA SKRIFTLIGA SVAR

1. Vad är nischen för system med jordlager?
 - 1.1 Idag är nischen lågtemperatursystem med värmepump som temperaturhöjare mellan lager och byggnadens behov. I framtiden när vi känner mer om geologin kan nischen bli totala billiga lagersystem.
(Hultmark)
 - 1.2 Mindre lager eftersom lerans låga ledningsförmåga begränsar förlusterna. I större system kan lagret användas med sommarvärmepump och lågtemperaturvärmeavgivare.
(Margen)
2. Hur stor är potentialen i förhållande till konkurrerande system?
 - 2.1 Den geografiska potentialen är väldigt stor då mycket stor del av Sveriges bebyggelse ligger i bland annat lerområden.

Den ekonomiska potentialen bör också vara mycket stor då systemen bevisligen är mycket billiga att bygga.
(Hultmark)
 - 2.2 Eftersom en inventering över en relativt stor del av mellansverige gav resultatet 12 TWh/år när man tog med lerförekomster på mer än 5 m djup, torde den reella potentialen bli lägre när man av ekonomiska skäl sätter gränsen vid 15 m, och dessutom beaktar konkurrensen från andra energislag.
(Hydén)
3. Vad är högsta temperatur för stabilitet av lera?
 - 3.1 Undersökningar har utförts av SKBF/KBS, Anders Bergström.
(Hult)
4. Hur djupt måste lagret vara för acceptabel ekonomi? (kostnadsfunktion)
 - 4.1 Minsta realistiska djup bedöms ligga omkring 10 m. Kostnaden per kubikmeter sjunker dock drastiskt ner till nivån omkring 15 m djup. För att erhålla en god ekonomi idag bör lagrets djup således ligga omkring 15 m. Djupet är självfallet också beroende av temperatur. I lågtemperaturlager utan någon som helst isolering på markytan kan lagrets djup

eventuellt bli så lågt som mellan 5 och 10 meter med acceptabel ekonomi på grund av att kostnaden för lagret enbart blir att nerföra rören och således icke ytarbete då ytarbetet blir väldigt stort. Även förlusterna minskar ju väsentligt om man ligger och arbetar under markens temperatur under delar av året.
(Hultmark)

5. Vad är maximal permeabilitet för acceptabelt läckage?
- 5.1 Liten permeabilitet påverkar inte alls lagrets förhållanden och en viss liten permeabilitet som är så liten att den inte påverkar förlusten kan dock göra att värmeavgivningen från rören blir effektivare och lagret snarare bättre än sämre. Permeabilitetens betydelse är sedan beroende på lagrets storlek. Men om det håller sig inom förlustzonen det man kan säga att permeabilitetens påverkan av marken om förlustzonen är 5-6 meter så kan alltså motsvarande värmetransportzon tillåtas.
(Hultmark)
- 5.2 Ref: Onderzoek naar de mogelijkheid van seizoenopslag van zonneenergie.
A Wijsman, C den Ouchen, Technische Physiche Dienst, Delt, Holland, 1980.
- Slutsatser: Vid en permeabilitet som understiger $K = 10^{-12} \text{ m}^2$ är förluster på grund av naturlig konvektion försumbar i jämförelse med förluster genom värmeledning. När permeabiliteten överstiger $K = 10^{-11} \text{ m}^2$ kan naturlig konvektion ge mycket stora förluster. Förekomsten av täta skikt minskar dock effekten.
- Slutsatserna grundar sig på beräkningar med numerisk modell.
(Hellström)
6. Sätter avdunstning en övre gräns för acceptabel temperatur av torvlager?
- 6.1 Troligtvis finns det en övre gräns i området $30^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}$ på grund av förångningsprocessen.
(Hultmark)
7. Förekommer uttorkning nära kanalerna i lera?
- 7.1 Uttorkning har i hittills utförda projekt icke kunnat observeras. Temperaturnivån har varit ca 30°C .
(Hultmark)

8. Får vi lagra vid mer än 20°C nära bebyggelse?
- 8.1 Idag behöver man passa upp om man lägger lagren mycket nära bebyggelse. Men om de ligger på ett visst avstånd från bebyggelsen är det en geologisk fråga på grund av markens stabilitet och vi kan således gå upp till väsentligt högre temperatur utan att det berör bebyggelsen.
(Hultmark)
9. Möjligheten till kostnadssänkning genom utveckling av utrustning?
- 9.1 Jämfört med Sunclayprojektets ekonomi tror jag inte att man kan förvänta några drastiska kostnadssänkningar. En viss kostnadssänkning kan givetvis förväntas.
(Hultmark)
10. Optimal rördiameter?
- 10.1 Den optimala rördiameteren är väldigt liten om man betraktar värmeförhållandena mellan rör och omgivande mark. Det som bestämmer den optimala rördiameteren är flödesbilden inuti rören.
(Hultmark)
11. Bör fler slingor seriekopplas?
(inverkan av djupet)
- 11.1 I grundare lager bör fler slingor seriekopplas. Luftnedförsel och lufturförsel ur systemet bör dock speciellt observeras.
(Hultmark)
12. Vågar vi bygga hus ovanpå sådana lager?
- 12.1 Än så länge kan man bedöma att det är olämpligt att bygga hus ovanför t ex lerlager på grund av att marken har vissa sättningar som kan störa huset.
- Även om huset är pålat på t ex berg kan det bli problem vid avloppsanslutningr osv. Denna fråga kan dock icke helt besvaras idag då vi inte känner alla ingående parametrar.
(Hultmark)
13. Vad kostar markytan som lagret kräver?
- 13.1 Mycke litet i förhållande till lagrets kostnad.
(Hultmark)

14. Vilka andra jordar än lera och torv kan man använda i Sverige?
 - 14.1 Om rätt teknik för nerförsel av rör införs kan flera andra jordarter användas.
(Hultmark)
15. Behövs kompletterande dygnslager för solfångareffektiviteten?
 - 15.1 I årslagersammanhang är det icke troligt att kompletterande lager behövs. Kompletterande lager kan dock behövas i lager under kortare tidsperioder.
(Hultmark)
 - 15.2 Korttidslager är mycket viktiga för anläggningar där lagret laddas genom enklare solfångare, särskilt oglasade sådana. Utan korttidslager kan lagret laddas bara under ca 6 soltimmar per dygn, vilket leder till stora temperaturskillnader mellan solfångaren och lagret, och därigenom starkt minskar den infångande solenergin. Med ett dygnslager kan marklagret laddas under 24 timmar per solskensdygn.
(Margen)

SEMINARIELEDNINGENS LISTA AV FRÅGOR BETR LAGER I BERG (OCH TILLHÖRANDE SYSTEM) OCH INKOMNA SKRIFTLIGA SVAR

1. Vad är nischen för system av detta slag?
 - 1.1 Medelstora och stora naturvärme, LT-solvärme- och spillvärmelager.
(Platell, Hydén)
2. Hur stor är potentialen med hänsyn till konkurrerande system?
 - 2.1 Mycket stor, eftersom lagertypen är billig och berg finns överallt.
(Platell)
3. Vilken betydelse har borrarprecision för prestanda och kostnad per m?
 - 3.1 Normal precision är tillräcklig. Gradade hål inga svårigheter. Billigare hammarborrade hål sätter igen sprickor mer än dyrare kärnborrade.
(Hult)
 - 3.2 En slumpmässig avvikelse på 1-3% bör ej nämnvärt påverka prestanda.
(Hellström)
 - 3.3 Förvånansvärt liten betydelse förutsatt att hålen inte går i varandra.
(Platell)
4. Hur stor är utvecklingspotentialen för borrar teknik?
5. Utvecklingstrenden för foder material?
 - 5.1 Personligen har jag uppfattningen att den lätta infodringen av typ strumpa har framtiden för sig.
(Platell)
6. Hur ofta kan ofodrade, resp "lätt fodrade" (elastiska strumpor) användas i förhållande till konventionella foder?
7. Kan vi borra sneda hål, och hur sneda?
 - 7.1 Inga problem upp till ca 55°. Metoder finns för att kontrollera och beräkna ev avvikelser från tänkt riktning.
(Hult)

8. Kan vi korrekt bedöma prestanda av lager med divergerande hål?
 - 8.1 Ja, det försämrar den termiska prestandan i viss mån.
(Platell)
 - 8.2 Möjlighet att beräkna prestanda finns.
(Hellström)
9. Är vattenkemi ett problem?
 - 9.1 Beroende på platsen. Utfällning av karbonat i hårt vatten.
(Hult)
 - 9.2 Vid nakna hål, ja, då grundvattnet används som cirkulationsvatten.
(Platell)
10. Räcker det att satsa enbart på system som fordrar värmepumpar som man hittills gjort inom BFR när det gäller lågtemperaturlager för solenergi?
 - 10.1 Nej, VP-system medför allvarliga olägenheter i det långa loppet.
(Platell)
11. Finns LTVA-system?
 - 11.1 Ja, för 30-25°C
(Platell)

SEMINARIELEDNINGENS LISTA AV FRÅGOR BETR AKVIFER-
LAGER OCH INKOMNA SKRIFTLIGA SVAR

1. Vad är nischen för system av detta slag?
 - 1.1 Grusåslagren i närhet av bostadsområden och naturvärmeällor såsom ytvatten, grundvatten.
(Hydén)
 - 1.3 Stora polymer, i huvudsak lägre temperaturer.
(Johansson)
2. Hur stor är potentialen med hänsyn till konkurrerande system?
 - 2.1 Större än lera, men troligtvis mindre än borrhålslager.
(Johansson)
 - 2.2 Större än de 12 TWh/år som inventeringen gav.
(Hydén)
3. Kan vi dimensionera brunnar eller behövs FoU?
 - 3.1 Vi kan dimensionera brunnar.
(Hydén)
4. Behärskar vi vattenkemin? FoU-behov?
 - 4.1 Problemen ökar vid stigande temperatur.
(Hydén)
 - 4.2 Vattenkemin: Tveksamt. FoU-Behov: Ja!
(Johansson)
5. Vilka begränsningar finns med avseende på
 - a) permeabilitet
 - b) homogenitet (av permeabiliteten)
 - c) naturliga gränsskikt
 - d) minimumtjocklek av icke vattenförande toppskikt för acceptabel ekonomi?
 - 5.1
 - a) beroende på lagringstemperatur
 - b) "-
 - d) beroende på lagringstemperatur, men ca 4-5 m är oftast tillräckligt.
(Johansson)
 - 5.2 a-b) Täthetsskillnader mellan varmt och kallt vatten inducerar täthetsflöden som strävar efter en stabil temperaturskiktning i vattnet. Detta medför att en initiiellt vertikal front kommer att kantra. Kantringstakten bestäms huvudsakligen av akviferens höjd, temperaturnivåer samt vertikal och horisontell permeabilitet. För att uppskatta effekten av måttlig kantring på

lagrets prestanda bör utsträckningen av det område som berör kantringen jämföras med utsträckningen av den totala lagervolymer.

- d) Den minimumtjocklek av icke vattenförande toppskiktet som kan accepteras beror på tjockleken av det vattenförande skiktet.
(Hellström)
6. Hur ofta hittar vi acceptabla förhållanden?
- 6.1 Många grusåsar finns.
(Hydén)
- 6.2 Relativt ofta, jämför vattentäkter.
(Johansson)
7. Kan vi klara tillståndsfrågan för demonstrationsanläggningar?
- 7.1 Ja
(Hydén)
- 7.2 Ja
(Johansson)
8. Kan vi höja temperaturen och vad är det värt?
- 8.1 Temperaturhöjning medför mycket allvarliga problem av teknisk art (igensättning, temperaturkantring) och ekonomisk art (stora värmeförluster). Kan inte vara attraktivt för svenska förhållanden.
(Hydén.)
- 8.2 Ja, med vissa svårigheter. Det medger direkt inkoppling på ett fjärrvärmesystem.
(Johansson)
9. Hur påverkar lagrets storlek och temperatur förlusterna?
- 8-9.1 Vid höjd temperatur ökar täthetsflöden vilket leder till större förluster. När storleken på lagret ökar avtar den relativa förlusten. Frånsett effekter av täthetsflöden är den **relativa** värmeförlusten oberoende av temperaturnivån.

En karakteristisk kantringstid, T_0 , definieras

$$t_0 = 0.034 \frac{H}{\sqrt{KK'}} \cdot \frac{Ca}{Cw} \cdot \frac{(\gamma_0 + \gamma_1)}{(\rho_0 - \rho_1)}$$

H Akviferens längd (m)

Ca Akviferens volumetriska värmekapacitet ($J/m^3 K$)

Cw Vattnets volumetriska värmekapacitet ($J/m^3 K$)

K Akviferens vertikala permeabilitet (m^2)

K' Akviferens vertikala permeabilitet (m^2)

γ_0, γ_1 Viskositet hos kallt resp varmt vatten (kg/ms)

ρ_0, ρ_1 Densitet hos kallt resp varmt vatten (kg/m^3)

Kantringen för en initieellt vertikal termisk front efter en tid t_0 är ungefär 60° . Om cykelns längd är av samma storleksordning som kantringstiden är kantringen måttlig.

(Hellström)

SEMINARIELEDNINGENS LISTA AV FRÅGOR BETR **MARKNADEN,**
TILLÄMPNINGAR OCH INKOMNA SKRIFTLIGA SVAR

1. Hur utbredda blir lågtemperatur-fjärrvärmesystem?
2. Hur utbredda blir lågtemperatur-blocksystem?
3. Hur utbredda är förekomsterna av lågtemperatur-spillvärme?
4. Räcker kostnadsskillnaden mellan framtidens vinterrel och sommarel för att göra årstidslagring lönsam?
5. Kan LTVA-system introduceras i befintlig bebyggelse?
 - 5.1 Ja. Vissa LTVA-system finns redan idag - t ex konvektorer med inbyggda fläktar som ger mycket låga temperaturskillnader vatten/luft och kan anslutas till befintliga rörsystem. Mer högpresterande LTVA-system utvecklas av Sunstore KB och information kommer att lämnas inom kort.
(Mårtensson)
6. Kan vi räkna med värmepumpar efter år 1990?
7. Vilka hinder finns för lager av skilda slag ur
 - a) naturvårdssynpunkt?
 - b) bebyggelsesynpunkt?
 - c) normsynpunkt?
8. Kommer det att finnas mycket billigare totalsystem för solinfångning vid låg temperatur?
9. Finns tillräckligt med areal för solfångare
 - a) på byggnadernas tak?
 - b) på marken?

Tiden medgav inte att denna lista diskuterades under seminariet. Inga skriftliga svar kom in, med ett undantag - punkt 5. Frågelistan kan förslagsvis utnyttjas vid ett senare seminarium.

DEL II

SAMMANFATTNINGSRAPPORT

INNEHÅLL

1.	INLEDNING	1
2.	GEOTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR OLIKA LAGERTYPER I SVERIGE	2
2.1	Förekomsten av lämpligt berg	2
2.2	Förekomsten av lämplig jord	3
2.3	Lämplig mark för akviferlager: potential	4
2.4	Slutsats	5
3.	INTERNATIONELLT SAMARBETE	5
4.	VAD FÅR ENERGILAGRING KOSTA?	6
5.	TEKNIK OCH EKONOMI	9
6.	MARKNADEN, TILLÄMPNINGAR	18
7.	SLUTDISKUSSION	20
	SLUTSATSER	21

BILAGOR

DELTAGARLISTA

A. SAMMANFATTNINGSRAPPORT
(Peter Margen med bidrag från Hans Hydén
och Sten Bjurström)

1. Inledning

Under seminariets inledning redogjorde Sten Bjurström (BeFo och ordf i BFRs markvärmegrupp) för syftet med nuvarande serie av seminarier. Man önskar att på detta sätt samla in synpunkter betr hur långt pågående utvecklings- och demonstrationsarbeten har kommit, viktigare resultat som nåtts och uppgifter som finns kvar att bearbeta. Dessutom efterlystes bedömningar angående ekonomin vid olika systemtillämpningar, synpunkter angående införandeproblem från användare och bedömningar angående den totala potentialen av olika typer. Informationen behövs för att korrekt kunna bedöma fortsatta UoD-satsningar från BFRs sida.

Sven Erik Lundin (BFR) beskrev de lågtemperatur-energilagringsprojekt BFR för närvarande satsar på, samt tillgängliga medel. Årligen satsas ca 14 Mkr bidrag plus lån på värmelagring i vatten och mellan 17 Mkr (81/82) och 26 Mkr (83/84 budget) på värmelagring och utvinning ur mark. Till nyckelproblemen hör:

Lagring i jord:

Lerdjup, geotekniska konsekvenser, effektsväljningsförmågan.

Borrhålslager:

Öppna kontra slutna system, rörinstallationer, tröghet i lager m m.

Akviferlager:

Brunnsteknik, vattenkemi, potentiell värmeförlust.

Allmänt:

Systemlösningar, lagrens och värmekällornas krav på varandra.

Peter Margen (Studsvik) beskrev seminariets avgränsning, bl a i förhållande till Göteborgsseminariet. Temperaturgränsen, 50°C mellan hög- och lågtemperaturlagring, var relativt godtyckligt vald, varför vissa utvikningar åt det ena eller andra hållet kunde förväntas i båda seminarierna.

2. Geotekniska förutsättningar för olika lagertyper i Sverige

Under denna session hölls tre inledande föredrag betr var mark lämplig för de olika typerna av lager (jord, berg resp akvifer) finns. Vissa av föredragshållarna gjorde dessutom en bedömning av potentialen med eller utan ekonomiska betraktelser.

2.1 Förekomsten av lämpligt berg --- (Connie Sjöberg, Nitro Consult AB)

Enligt Sjöberg finns nära alla större tätorter i Sverige berg inom rimligt djup (5 m) från markytan. I princip kan borrhålslager byggas på alla dessa ställen. Dock blir de billigare där berget är lättborrat, borrhålen ej "rasar igen", och där vattenflöden är ringa. Även där förutsättningarna är sämre, kan man dock genom cementinjektering klara problemen. Undviker man de värsta lokala ställena och de sämsta bergtyperna (sedimentära bergarter nära stora vattenbassänger), håller sig kostnadsökningen på grund av erforderliga förstärkningsarbeten m m för mindre lämpligt berg till mindre än 30 % av lagrets kostnad.

Senare föredrag, avsnitt 5b (Hydén, Margen) visar att borrhålslager kan uppföras för 10 à 15 kr/m³. Detta motsvarar t ex bara 1 kr/kWh vid 22 à 15°C temperatursving och 0.65 kWh/m³ °C. En ökning av denna kostnad med t ex 30 % på grund av sämre berg har vanligtvis bara begränsad inverkan på systemets konkurrenskraft.

Sjöbergs föredrag tillsammans med de ovan citerade kostnadsuppgifterna tyder på att geotekniska förhållanden sätter få begränsningar till potentialen för borrhålslager i Sverige. Potentialen bör därför vara stor.

2.2 Förekomsten av lämplig jord

— — — — — (K Gösta Eriksson, CTH) — — —

Huvudparten av de finkorniga svenska jordarterna kan utnyttjas för marklager, men lerjordarna är de mest fördelaktiga. Dessa domineras av finsediment söder om linjen Gävle/Strömstad med en mäktighet av 5 - 15 m. Dock kan mäktigheten bli 50 - 100 m i flera av floddalarna.

Eftersom de flesta av de större städerna ligger nära floddalar finns lera oftast inom räckhåll. En kartläggning av områdena omkring Mälardalen tyder på att lera av ett djup mer än 5 m ligger inom räckhåll för bostadsområden med ett värmebehov på 15 TWh. Under diskussionen om kostnader (session 5b) nämnde dock bl a Hultmark att lerlagrens kostnader ökar kraftigt när djupet minskar, varför djup mindre än 15 m inte var att rekommendera. Någon kvantitativ kartläggning av förekomsten av lera av mera än 15 m djup har ännu inte genomförts. Diskussionen tyder på att en betydande potential för lerlager finns (även om den givetvis är lägre

än för berg, som förekommer nästan överallt) och inte kan kvantifieras.

Torv upptar 25 % av landets yta, med 40 % i norr och 8 % i söder, med en stor andel av de södra förekomsterna i gränstrakten mellan Halland och Småland. Torvdjupet ligger mellan 1 och 2 m. Grun-
dheten och avståndet från större tätorter begränsar torvens potential starkt.

Även sandjordar borde i princip kunna utnyttjas för energilagring. Tillhörande frågor har dock inte ännu studerats tillräckligt.

2.3 Lämplig mark för akviferlager: potential - - - - - (Hans Hydén, VBB) - - - - -

Enligt Hydén är grusåsarna (i viss mån även sedimentära bergarter) lämpliga för akviferlager. Inskränker man sig till maximalt 30°C, kan i stort sett alla slags grusåsar användas. Den intressantaste värmekällan är sommarvarmt ytvatten. Det används för att ladda lagret under sommaren utan värmepump. Under vintern laddas lagret ur med en värmepump. Lagret blir mycket billigt per m³. Trots relativt höga förluster blir sålunda ekonomin ofta god.

En rikstäckande inventering, där man beaktat alla grusåsar med en mäktighet på mera än 10 m inom rimligt avstånd från bostadsområden med mer än 150 lägenheter i flerbostadshus, samt vissa områden med sedimentärt berg och adekvat storlek, har lett till bedömningen att energibehov på ca 12 MWh/år kan täckas genom naturvärmesystem med akviferlager som är konkurrenskraftiga med andra energisystem. Observera att man i detta fall redan gjort ekonomiska studier.

2.4 _ _ _ Slutsats

Sammanfattningsvis förefaller det som om, när såväl utbredning av lämplig mark samt de ekonomiska faktorerna beaktats, potentialen för borrhålslager förefaller vara störst, följt av akviferlager och därefter lera. Torv bedöms ha låg potential och sand är otillräckligt utrett.

3. Internationellt samarbete (och Jordvärme- gruppens arbeten) (Gösta Rosenblad)

Innehållet i samarbetet inom IEA ANNEX II, som behandlar värmeumpsystem med marklager, drogs. USA, Canada, Danmark, Österrike och Sverige deltar. De flesta länder än intresserade främst av mindre system. Rosenblad menar att Sverige ligger långt före övriga stater när det gäller lagringsteknik, varför vi har mer att ge än att ta i samarbetet.

I diskussionen restes frågan hurvida detta samarbete inte kunde betraktas som en gratis export av know how till andra länder, vilket sedan försvårar försäljning av know how genom svenska konsulter.

Man enadas dock om tolkningen att skött på rätt sätt, dvs med utelämnande av tillräcklig information för att göra utlandet medvetet om möjligheterna, men inte tillräckligt för att de skall anse sig kunna klara allting utan insatser från svenska konsulter eller industri, kan samarbetet få positiv verkan, dvs medverka till en marknadsintroduktion. För närvarande åläggs dock ej instanserna som sköter detta samarbete ett ansvar att bevaka sådana frågor.

Det föreslogs att BFR och Exportrådet skulle kalla konsulter och berörda industriföretag till ett seminarium, där man diskuterar hur dylikt samarbete skulle läggas upp för att maximera de positiva och begränsa de negativa sidorna av utbytet för svenska företag.

Rosenblad redogjorde även för övrigt arbete inom Jordvärmegruppen, som är fördelad på många discipliner. Hans föredrag om ett litet jordvärmelager, Utby, berörs under punkt 5a.

4. Vad får energilagring kosta?

(Inledare: Peter Margen, Studsvik)

Margen visade Tabell 1, där man först redovisar den maximalt försvarbara investeringen i ett renodlat säsongslager för olika skillnader i kostnaden av lagringsenergin och urladdningsenergin samt olika värden av den effektiva räntan, om värmeförlusterna försummas. Den maximalt försvarbara investeringen kan variera mellan 0.8 och 5.6 kr/(KWh/år).

Därefter räknas fram exempel på **ökningen** i den maximalt försvarbara investeringen när lagret även minskar den erforderliga panneffekten, samt **minskningen** i den maximalt försvarbara investeringen på grund av **värmeförluster**. Med hjälp av dessa tre deltabeller kan den totala maximalt försvarbara investeringen för ett säsongslager uppskattas. I vissa fall tillkommer dock mervärden på grund av korttidslagring eller lagring i vecko/månadsperioder.

Den allmänna opinionen var att alltför många utredningar presenterar ekonomin av lager på ett ofullständigt sätt. **Enhetligare metoder efterlystes.**

Josefsson betonade betydelsen av **allsidiga systemstudier**. Det räcker inte att jämföra ekonomi av ett specifikt system med lager med ekonomin för andra system, såsom pannor för fast bränsle.

Även olika optioner för systemet med lager måste analyseras, t ex möjligheten att byta ut solfångare, värmepump och lager i ett system mot värmepump och en naturvärmekälla utan lager. Bara om varianten med lager visar sig kunna klara alla sådana jämförelser är lagret verkligen ekonomiskt motiverat.

Josefsson nämnde att EfN föreslagit en metodik för jämförelser av olika energislag ur FuD-synpunkt och kommit fram till att olika realräntor bör gälla för olika tillämpningar, t ex 4 % för byggnadssektorn och 6 % för kraftproduktion och energiverk. Han efterlyste forskning beträffande mera allmängiltiga verktyg för värdering av kostnaden av energi med hänsyn tagen till tidpunkten för efterfrågan, temperaturbehovet m m.

Alla var överens om att **värmepumpen hade en mycket viktig roll** att spela under 1980-talet. Däremot ifrågasattes hurvida el - särskilt vinterel - skulle bli så dyr under 90-talet eller därefter, att värmepumpens långsiktiga roll fick prövas om. **Motiv fanns** att även utveckla system som var **oberoende av el under den kallaste årstiden**. För närvarande saknas arbeten med sådana system inom BFRs programplan.

Tabell 1. Maximalt motiverad investering i säsongslager,
 I_M kr/(kWh/år)

1.1 Exklusive värdet av lagrets **effektbidrag** samt
 kostnaden av **värmeförlusterna**:

Livslängden (lager eller energikällor L år	10	25	40
A. Effektiv ränta, $(r - i_b)$ = 4 %/år			
Värdeökning av energin, $C_L - C_U$:			
25 öre/kWh	1.9	3.5	4.3
15 öre/kWh	1.1	2.1	2.6
10 öre/kWh	0.8	1.4	1.7
	min		
B. Effektiv ränta, $(r - i_b)$ = 2 %/år			
Värdeökning av energin, $C_L - C_U$:			max
25 öre/kWh	2.1	4.2	5.6
15 öre/kWh	1.3	2.5	3.4
10 öre/kWh	0.8	1.7	2.2

$$I_M = \frac{C_L - C_U}{\text{annuitet \%} + 0.8 \% \text{ underhåll}}$$

C_L = kostnaden av laddningsenergin

C_U = värdet av urladdningsenergin

1.2 TILLÄGGSVÄRDET AV INBESPARAD PANNEFFEKT, 300 kr/kW:

vid 3 000 (kWh/år)/kW	0.1 kr/(kWh/år)
1 000 (kWh/år)/kW	0.3 kr/(kWh/år)
300 (kWh/år)/kW	1.0 kr/(kWh/år)

1.3 REDUKTION, I_M PÅ GRUND AV VÄRMEFÖRLUSTER (EXEMPEL)

vid $C_L = 10$ öre/kWh och $C_U = 25$ öre/kWh,

10 % förlust under laddning, och

10 % under urladdning,

minskar I_M med **0.4 kr/(kWh/år)**

vid $(r - i_b) = 4$ %/år $L = 25$ år

5. Teknik och ekonomi

a) Jordmagasin

Följande föredrag presenterades under denna session:

Lågtemperatur i Utby	G Rosenblad, CTH
Hållfasthet av lera - inverkan av temperaturen	Ulf Lindblom, Hagconsult
Värmelager i lera	Göran Hultmark, Andersson & Hultmark
Storskalig värmelagring i torvmarker	Olov Andersson, VIAK

Dessutom lämnades många skriftliga svar, särskilt av Hultmark, till de frågelistor seminarieledningen hade förberett. Även dessa är reproducerade i del B av denna rapport.

Utby-projektet innehåller ett litet lager i en trädgård till en villa förlagd i leraktig jord. Det visar att man kan använda även mycket små lager om deras medeltemperatur läggs nära markens temperatur. De ingenjörstekniska lösningarna är förhållandevis primitiva och dyra. Frysskador har lett till hål i gräsmattan ovanför kanalerna, vilket förhindrats efterföljande år genom markisolering.

Lindblom beskrev en teoretisk modell av lerans beteende, laboratoriemätningar av sättningar och reduktion i lerans skjuvhållfasthet vid höjning av temperaturen, samt pågående fältförsök i ett lager nära Göta Älv i Kungälv. Sättningarna tilltar och skjuvhållfastheten avtar vid höjd temperatur, men

mätningarna är på ett för tidigt stadium för att presentera numeriska värden angående maximalt tillåten temperatur.

Hultmark presenterade främst Sunclay-projektet vid Lindälvskolan, som innehåller ett lager för 85 000 m³ lera med U-rör i polyeten förlagda med 2 m avstånd. Förhållandena är gynnsamma med 30 m djup lera, och kostnaden blev bara 7 à 8 kr/m³, uppräknat till 1982 års penningvärde. Den specifika kostnaden och värmeförlusterna stiger snabbt med minskat djup av lera. Lager i mindre djup än 15 m ville Hultmark ej rekommendera.

Under första driftåret hade man höjt lagrets medeltemperatur med ca 6°C - något mindre än beräknat. Solfångarna arbetade i medeltal vid en temperatur på ca 30°C, vilket är ca 20°C högre än lagrets medeltemperatur. Enligt Hultmark berodde denna stora temperaturskillnad delvis på en icke fördelaktig koppling av kretsen, däremot att andra (Margen, Platell) ansåg att frånvaron av ett dygnsutjämningsmagasin hade stor andel av skulden till detta. Utan dygnsmagasin laddas ju lagret effektivt bara under några timmar per dygn. Möjligtvis tyder resultaten även på för stort avstånd mellan U-rören.

Bland svaren till frågor angående lerlager citeras att det finns efarenheter att begränsad permeabilitet ($K < 10^{-12} \text{ m}^2$) ej påverkar prestanda, bedömningar att man tills man fått mera information ej bör lägga lagren för nära bebyggelse, och observationen att hittills ingen uttorkning omkring kanaler kunnat observeras.

Olov Andersson beskriver en konstruktion för lager i torv enligt vilken man fräser spår i vilka man lägger långa slangar av billiga korrugerade

plaströr i ett mönster med upp- i och nedgående skänklar med ett tiotal skänklar per anslutning. På det sättet kan kostnaden hållas låg, dvs ca 10 kr/m³, trots att torvfyndigheterna i regel bara är ett par meter djupa. På grund av lagrens ringa djup får medeltemperaturer nära omgivningstemperaturen användas. Den största begränsningen till torvlagrens potential är att torvtäkterna finns i landets mera glest bebyggda trakter.

b) Borrhålslager

Följande föredrag presenterades:

Sunstore hålmarglager Ove Platell, Sunstore KB

Borrhålslager i Luleå Anders Eriksson, AIB

Borrhålslager för Hans Hydén, VBB
säsongslagring av låg-
temperaturvärme

Borrhålslager med tunnlar Peter Margen, Studsvik
- ett kombinerat säsongs- och Sunstore KB
och korttidslager

Efter seminariet inkom K G Eriksson, CTH, med ett bidrag: Hydrock, en ny metod att lagra värme i berg.

Därutöver redovisas skriftliga svar till frågelistorna som seminarieledningen förberett i del B av rapporten.

Ove Platell, som är upphovsman till principen för djupa marklager med i huvudsak vertikala kanaler för laddning och urladdning, beskrev det första borrhålslager som byggts över huvudtaget - Sigtunalagret på 10 000 m³. Det blev färdigt 1978 och har nu körts under fyra år. Beräkningsmetodiken har

successivt förbättrats och kan nu helt förklara de mätresultat som erhöles i ett antal laddningscyklar. Även effektsväljningsförsök för enskilda kanaler i berg och lera omnämndes.

Platell presenterade även en parameterstudie för ekonomin av tre solvärmda system, nämligen

- 1) med solfångare utan värmepump,
- 2) med vattenyta som solfångare och sommar-driven värmepump,
- 3) med vattenyta som solfångare och vinter-driven värmepump.

Solin fångningen per m^2 , kostnaden för solfångarna per m^2 och kostnaderna för kanalerna per m varierades. Studien visar vilket av systemen som ger lägsta kostnad för olika kombinationer av dessa parametrar. Samtliga har god ekonomi jämfört med oljeeldade system, om man väljer kostnadsparametrar som anses gälla för välutvecklade system.

Eriksson beskrev ett borrhålslager på ca $500 m^3$ byggt i förminskad skala i Luleå, så att man kunde reproducera en årscykel på en månad. Det använde ett öppet system med ofodrade kanaler, där vattnet återcirkulerades med hävertprincipen. Fem cyklar hade körs med temperaturer upp till $40^\circ C$ och laddningseffekter upp till $100 W/m$. Resultaten stämde väl överens med beräkningarna.

En större anläggning för $100\ 000 m^3$ har beslutats med samma principkonstruktion, och skall byggas under 1983. Den skall via fjärrvärmenätet från SSAB laddas med spillvärme och försörja en byggnad inom Högskolans område i ett system med två värmepumpar. Den maximala drifttemperaturen är $70^\circ C$.

Hydén beskrev de arbeten som gjorts för ett projektförslag för Stora Skuggan. Tre principkonstruktioner hade jämförts för solvärmesystem utan värmepump, med liten värmepump och stor värmepump och erforderlig lagervolym på 180 000 à 50 000 m³. Budgetpriser för lagret från leverantörer låg på 10 à 15 kr/m³ för den konstruktion som framtagits. Det bestod av ett knippe klena plaströr ingjutna i ett 115 mm borrhål. Hydén visade även kurvor över lagringskostnaderna per kWh som funktion av lagrets storlek och temperatursvinget.

Margen beskrev konstruktionen som framtagits för ett stort projekt för lagring av spillvärme i Göteborg. Ett antal tunnlar sprängs under grundvattenytan. Från dessa tunnlar borrar ca 150 m djupa hål som förses med rör av böjlig plast. I drift är tunnarna vattenfyllda och kan användas som vanliga temperaturskiktningssackumulatorer för korttidslagring och höga effekttuttag. Borrhålsdelen av lagret används för säsongslagring. Eftersom tunnarnas volym inte behöver vara mer än 3 % av lagrets volym, påverkar den högre tunnelkostnaden per m³ genomsnittskostnaden för lagret bara i begränsad utsträckning. Principen löser på ett elegant sätt problemet med den termiska trögheten för borrhålslagret och bibehåller dess låga specifika kostnad. Dessutom påverkas inte ytan ovanför mark, varför lagret kan förläggas även inom bebyggda områden.

I diskussionen tog Lindblom upp frågan om betydelsen av borrhålens **precision** på prestanda och betydelsen av precisionskrav på kostnaden. Claesson påpekade att en slumpmässig avvikelse på 1 à 3 % i läget i botten av 100 m djupa kanaler ej nämnvärt påverkar prestanda, och Hydén hävdade att man utan vidare kan hålla en tolerans på 1 à 2 % med den

teknik och de kostnader som antagits i hans föredrag. Även Hult anmälde samma åsikt. (Detta har senare bekräftats vid ett seminarium genomfört i BeFos regi, där flera entreprenörföretag ansåg sig kunna hålla en tolerans på 1 % utan extra kostnad, genom nyare numera tillgänglig teknik.)

Betydelsen av värmeöverföringen mellan vattnet och borrhålsväggen diskuterades. Margen hävdade att det är viktigt att försöka undvika tjocka spalter mellan ett klen led rör och ett väsentligt större borrhål, eftersom man då skulle få laminär strömning med stort värmeöverföringsmotstånd i den breda spalten, t ex i konstruktioner där man sänker två plaströr i den övre delen av kanalen, som i hävertsystemet. Mera allmänt efterlystes föröksresultat på denna punkt. Från Studsvik nämndes att man har anlagt sex kanaler för försök av olika typer av infodring och kanalutformning och att bl a den ovan berörda frågan skulle belysas experimentellt. Även eventuella problem med inläckage av luft i rör med undertryck i hävertsystemet nämndes. Inga sådana hade förekommit i det första pilotprojektet i Luleå.

Problemen med vattenkemin och ofodrade borrhål togs upp. Man var överens om att i temperaturområdet för lågtemperaturlager skulle inga problem uppstå. Även för högtemperaturlager ansågs det att problemen kunde klaras att döma av preliminära resultat från demonstrationsprojekten med vattenfyllda bergrum.

Även frågan om prestanda av oglasade resp glasade solfångare diskuterades. Jämförande resultat redovisas bl a i de skriftliga diskussionsinläggen återgivna i del B av rapporten. I sitt skriftliga diskussionsinlägg varnar Platell för ev problem med överbelastning av elförsörjningssystemet om ett

stort antal uppvärmningssystem byggs med vinter-
värmepump.

Under diskussionen menade Lindblom att man även borde beakta nya metoder att anlägga spricksystem i berg mellan glesare borrhål, enligt principer som bearbetas i samband med geotermisk energiutvinning ur torrt berg. Eriksson skickade efter seminariet in en lägesrapport som finns reproducerad i del B av rapporten, angående arbeten med denna teknik vid CTH. Dagsläget var att man lyckats anlägga horisontella sprickor genom övertryck i borrhål försedda med dubbelmanchett, men att problematiken att kontrollera variationerna i sprickornas bredd och belysa betydelsen av detta för vattenfördelningen och värmeöverföringen återstår. Metoden är inte ännu på ett stadium där dess effektivitet och ekonomi kan bedömas, men är intressant för vidarebearbetning.

c) _ _ _ Akviferlager

Följande föredrag presenterades:

Akviferlager	Sam Johansson, AIB
--------------	--------------------

Värmelagring vid grundvatten vid låga temperaturer	Leif Lemmeke, VBB
--	-------------------

Projekt SPEOS - pilotanläggning för lagring av värme i akvifer vid hög temperatur	Gunnar Gustafsson, VIAK
---	-------------------------

Dessutom redovisas inkomna skriftliga svar till seminarieledningens frågeformulär.

Johansson beskriver de allmänna principerna för energilagring i akvifer med system för horisontella resp vertikala temperaturfronter.

Systemet med vertikala fronter är enklare, men kan användas bara vid låga temperaturer (max 30°C) eller homogen och låg permeabilitet på grund av risken för "kantring" av fronten, förorsakad av konvektion.

Systemet med horisontell temperaturfront medför vissa laddningsförluster och lämpar sig bäst för mindre lagervolymer och högre temperaturer. Även system med hydraulisk kontroll av temperaturfronten beskrivs. Pågående försök beskrivs.

Johansson menar att värmelager på några miljoner m³ ofta kan erhållas i närheten av tätorter.

Lemmeke redogör mera i detalj för undersökningen angående användning av lågtemperaturakvifer i samband med naturvärme som refererades av Hydén under session 2.3. En jämförelse presenteras mellan kostnaderna för fjärrvärme med olja, fasta bränslen resp akviferlager och naturvärme (med värmepump). Den sistnämnda lösningen ger enligt undersökningen ca 10 % lägre kostnad än fastbränsleledning vid genomsnittliga transportförhållanden. I denna lösning svarar värmepumpen i systemet för baslasten och en oljeeldad panna för topplasten.

Gustafsson beskrev högtemperaturakviferlager i Lausanne, som bedrivs som ett IEA-projekt. Det har horisontell temperaturfront, en lagervolym på 34 000 m³ och arbetar med inmatningstemperatur 70°C, utmatning 60 à 30°C. På grund av pilotskalan blir värmeförlusterna ca 50 %. Problem finns med en av brunnarna. Anläggningen har varit i drift i

ett halvt år. Resultaten visar att varmt vatten flutit upp ovanför dräneringen samt att det har följt med ett regionalt grundvattenflöde. Det återstår att se hurvida detta kan i viss mån kompenseras genom ett förbiledningssystem som finns i anläggningen.

Under diskussionen var alla experter eniga om att tekniken för lagring vid låga temperaturer finns; däremot att många problem återstår när det gäller lagring vid höga temperaturer - t ex igensättning, snedvridning av temperaturfronter, värmeförluster, blandningsförluster. För användning vid låga temperaturer är kostnaderna låga, varför metoden kan introduceras omgående.

d) _ _ _ Termiska analyser

Johan Claesson, LTH, gjorde ett inlägg betr beräkningsmetodikens nuläge. För marklager har man tillräckligt kvalificerade modeller för de flesta behov. Däremot fordras att fler fältförsök följs upp för fortsatta korrelationer av modellerna, att metoderna dokumenteras bättre, samt att vissa speciella problem, typ uttorkning, inverkan av grundvattenflödet m m, studeras experimentellt så att beräkningsmodellerna kan anpassas.

För akviferlager finns betydligt större osäkerheter kvar. Även i dessa fall fordras flera analyser av fältförsök för att korrelera modellerna. Bland problemen är kartläggning av temperaturspridning och störning av den naturliga grundvattentemperaturen. En hel lista över specialproblem som behöver studeras finns i Claessons skriftliga inlägg.

6. Marknaden, tillämpningarna

Syftet med denna session var att låta myndigheter och användare komma till tals med synpunkter beträffande hinder för införandet, ekonomiska krav samt praktiska synpunkter beträffande driftvillkor. Förberedda inlägg presenterades av Carl-Johan Engström, Statens Planverk, Tomas Rostock, Statens Industrier, Tomas Bruce, Södertälje Energiverk, samt Hans Nilsson, Stockholms Energiverk. Dessa återges i del B.

Engström påpekade att det idag inte finns lagstiftning som direkt behandlar frågor om värmeutvinning ur eller värmelagring i mark och vatten. Dock kan man i de flesta fall finna lösningar inom den ordning som gäller idag (Byggnadsstadgan, vattenlagen, miljöskyddslagen, hälsovårdsstadgan, lagen om hälso- och miljöfarliga varor). I princip innebär detta att lager och tillstånd ej behöver hindra lagring av värme i mark och vatten, om "skälig hänsyn tas till omgivningen".

Ett mera allvarligt hinder enligt Engström var att planer håller på att fastställas i olika områden utan hänsyn till möjligheten till värmelagring, vilket kan försvåra ett införande av värmelagring i framtiden.

Rostock ansåg att beståndet av flerfamiljshus var den stora kunden för energilager. Vid bedömning av marknaden får man ta hänsyn till den lägre specifika förbrukningen i framtiden.

Lågtemperatursystem medför många fördelar (möjligheten att utnyttja lågtemperaturrenergikällor, värmepumpar m m ökar) och förbättrar även energilagrens ekonomi. Dock medför lågtemperatursystem

även ökade kostnader för distribution samt uppvärmningsanordningarna. (I diskussionen påpekades att lågtemperaturrenergilagren dock ej enbart kunde användas i samband med lågtemperatursystem - värmepumpen gör det möjligt att även använda dem för system med i övrigt konventionella temperaturer.)

Bruce redogjorde för möjligheten att använda energilagring i ett fjärrvärmesystem typ Södertälje, där man sommartid har överskott på effekt från kolpannor och under vintern måste driva oljepannor. Såväl säsongslagring som korttidslagring kan utnyttjas. Genom en överslagskalkyl kom Bruce fram till att ett lager som kan leverera 100 GWh under driftperioden för oljepannorna, kan motivera en investering på 100 Mkr - sålunda ca 1 kr/kWh. Tillämpningen förutsätter ett högtemperaturlager, men kan ändå illustrera värdet av energilagring för fjärrvärmesystem.

Nilsson berörde ett antal systemaspekter. Hur påverkar lagret erforderlig investeringsladdning, erforderlig systemeffektreserv m m? Kan ett underdimensionerat lager kompletteras efterhand? Hur flexibla är olika lagertyper för lagring i olika tidsperspektiv? Behövs ägarinflytande från energileverantören? En analysmanual för varje lagertyp efterlystes.

Från **lagerkonstruktörernas** sida nämndes att det inte finns någon svårighet att lämna svar till dessa frågor för varje preciserat system.

7. Slutdiskussionen

Slutdiskussionen genomfördes med Sten Bjurström som ordförande. Han hade förberett bifogade lista över, som han uttryckte det, de "provokativa slutsatser" som han ville ha kommenterade av församlingen.

När det gäller punkt 1, potentialen, nämndes i diskussionen av Bjurströms lista att vissa skillnader föreligger mellan potentialerna för de olika typerna - i fallande ordning borrhålslager (berg finns nästan överallt), akvifer och lera. Torv har betydligt lägre potential.

Punkt 3, "borrhålslager är dyrare än lerlager", utlöste protesten att konstaterandet beror på ett missförstånd. Visserligen kostar borrhål med ledrör och anslutningsledningar ca 140 kr/m, mot ca 40 kr/m för 15 m djupa kanaler i lera, men eftersom medelavståndet för borrhålslagret är 3.7 m mot 2 m för lera, blir kostnaden per m^3 densamma, dvs $140/3.7^2$ resp $40/2^2 = 10 \text{ kr}/m^3$. Det kan bli dyrare för båda typer av lager när förhållandena är ogynnsamma.

I övrigt mötte Bjurströms lista inga större protester - möjligtvis delvis därför att tidsplanen redan överskridits och man var tvungen att avrunda mötet. De mera detaljerade intrycken refereras även i sammanfattningen till denna rapport.

Slutintrycket var att seminariet hade gett en värdefull summering av dagsläget, att samtliga huvudtyper av lager hade åtskillig ekonomisk potential, samt att en del frågor fanns kvar som motiverade fortsatt statligt UoD-program.

"SLUTSATSER" (Sten Bjurström)

1. Svenska geologiska förhållanden utgör ingen begränsning (< 10 TWh) för system i jord, akviferer och berglager.*
2. Kostnader för energiprojekt redovisas idag ofta med alltför bristfälllig stringens. Enhetlig och rättvisande redovisning kan göras med normala kalkylmetoder. Direktiv krävs. Jämförelsegrunder bör väljas mer insiktsfullt. Gränsvärden finns. "Analysschema".
3. Borrhålsvärmelager i berg dyrare än lager i lera (torv), akviferer.*
4. Frågan om geotekniska effekter (sättning, bärighet, skred) oklar. I avvaktan på forskningsresultat bör lager ej forceras fram i känsliga lokaler (sättning, skred). Viss teknik som mildrar geotekniska risker finns.
5. Lindälvskolans lerlager fungerar bra - i viss mån färdigforskat, BFR bör satsa på uppföljning.
6. Torvlager är intressant i lokala (enskilda) fall, generellt är det för närvarande tveksamt, även om utredningar visar på stor potential. Tekniken är okomplicerad och relativt välkänd vid låga temperaturer, högre temperaturer kräver demonstrationsanläggningar.
7. Borrhålsvärmelager i anslutning till lågtemperaturuppvärmning är intressant, särskilt på sikt i nybebyggelse. Ekonomin bygger på rejäla tekniksprång.

Lagerkostnad svarar för stor del av kostnad. Dagens teknik behövs styrkas i demonstrationsanläggningar.

Uppspräckning av berg mellan borrhål kan ge väsentlig utveckling. Även fodermaterial kan utvecklas.

* Se kommentarer i texten, sid 17, 18

8. Borrningskostnaden borde utredas (objektivt).
9. **Lågtemperaturlagring** i akviferer är en idag väl-studerad lösning, som tyder på god ekonomi. Vissa överkomliga tekniska problem. Stor potential, ca 10 TWh. Lämpliga projektförslag har introduktionsproblem - anses kräva statligt stöd (risk, finansiering).
- Krävs** en första demonstrationsanläggning i verklig-hetsnära storlek.
- Utlandssamarbetet kan vara lärorikt.
10. Homogena akviferförhållanden kan beräknas, **inhomogena** förhållanden så osäkra att detta kan bli ett "hinder".
- Grundläggande experiment och analys önskvärd.
11. Lager i fjärrvärmenät aktualiserar en stor mängd möjligheter/problem.
- reserv, flexibilitet, bebyggelsehinder, ägande
 - systemkompletteringar - systemstrategi
- Fastbränsleeldning **ökar** starkt motivet för säsongslagring vid 50 - 80°C, utesluter dock ej lågtemperaturlagring (mindre orter).
12. Samband mark, bebyggelse, energisystem bör städas upp.
- Stor risk för att bli överspelad i planering.
- Tillstånd krävs i princip ej. Lagpraxis är önskvärd.
- Önskvärt med dokumentation av uj-anl.
- Juridiska frågor normalt inget hinder.
13. Lager bör inriktas på befintlig bebyggelse ty litet byggs och nybyggt förbrukar 1/3 av äldre hus.
- Tillämpningsdelen bär studeras mera!

RAPPORTER OCH REFERENSER

VÄRMELAGRING I MARK VID LÅGA TEMPERATURERLagring i jord

- R85:1977 Roger Lundén
VÄRMEPUMP MED EFFEKTUTJÄMNINGSSYSTEM
En studie av ett system där värmepump
kombineras med värmeackumulator i jord
- R94:1978 Nicke Blomquist, Lars Jacobson
FÖRSTUDIER AV BYGGNADSUPPVÄRMNING MED JORDVÄRMEPUMP
Förutsättningar i befintlig bebyggelse
- R55:1979 Björn Modin
FÖRSTUDIER AV BYGGNADSUPPVÄRMNING MED JORDVÄRMEPUMP
Geologiska faktorer
- R38:1980 Göran Hultmark
SUNCLAY-PROJEKTET
Förprojektering av Lindälvsskolan i Kungsbacka
- R88:1980 Björn Modin, Peter Wilén
BYGGNADSUPPVÄRMNING MED JORDVÄRMEPUMP
Geologiska förutsättningar för värmelagring i
lera inom större tätorter i Mellansverige
- R149:1980 Thore Berntsson, Per-Åke Franck, Lars Jacobson,
Björn Modin, Peter Wilén
ANVÄNDNING AV MARK SOM VÄRMEKÄLLA FÖR VÄRMEPUMPAR
I TÄRTORT
Översiktliga tekniska-ekonomiska bedömningar
- D39:1980 Chalmers University of Technology, the Earth
Heat Pump Group
THE USE OF THE GROUND AS A HEAT SOURCE FOR HEAT
PUMP IN URBAN AREAS
An overall review of technical-economic aspects
- R140:1981 Bernt Bäckström, Tomas Hallén, Torbjörn Samuelsson
VÄRMEPUMP MED ENERGISTAPEL
Förprojektering av befintligt mindre flerbostadshus
i Göteborg
- Jordvärme- Per-Åke Franck, Björn Modin, Gösta Rosenblad
gruppen CTH VÄRMEPUMP MED VERTIKALT JORDVÄRMESYSTEM OCH
Inst. VINDKONVEKTORER
rapport 2
- R112:1982 Lars Jacobson
JORDVÄRMESYSTEM MED VÄRMEPUMP I BEFINTLIG NY
BEBYGGELSE
Förprojektering av sju objekt i Västsverige
- Jordvärme- Lars Jacobson
gruppen CTH JORDVÄRME FÖR ENERGI- OCH OLJEBESPARING I
Inst. FLERBOSTADSHUS
rapport 9

Jordvärme- Thore Berntsson, Per-Ake Franck, Jarl Ljungquist
gruppen CTH VERTIKAL JORDVÄRMEANLÄGGNING I BEFINTLIG BEBYGGELSE
Inst. Kostnadsberäkning för en flerbostadsfamiljs-
rapport 10 fastighet i Torpa, Göteborg

Borrhålslager i berg

Jordvärme- Thomas Rihm *
gruppen CTH MARKLAGERSTUDIER FÖR SUNROC-SYSTEMET
Delrapport 1
1978

Jordvärme- Thomas Rihm *
gruppen CTH MARKLAGERSTUDIER FÖR SUNROC-SYSTEMET
Delrapport 2
1979

R124:1980 Lena Backlund, Bengt Fridh, Urban Fält,
Sven Åke Larson, Björn Modin, Thomas Rihm,
Jan Sundberg
ACKUMULERING AV VÄRME I BERG
Litteraturstudier, teknik och ekonomi

R66:1981 Sören Andersson, Anders Eriksson, Johan Tollin
BORRHÅLSLAGER I BERG FÖR SÄSONGLAGRING AV VÄRME
Förstudie

R98:1981 Håkan Kadesjö, John Sintorn
SÄSONGLAGRING AV VÄRME I BERG
Förstudie av borrhålslager för cirka 1000
lägenheter

R100:1981 Ove Platell, Hans Wikström
SUNSTORE-PROJEKTET 1977-1980
Solvärmesystem med låg temperatur och säsons-
lagring för uppvärmning av lokaler

R14:1983 Hans Hydén, Lars Olof Mattson, Lars Åke Rune
SÄSONGLAGRING AV SOLENERGI GENOM BORRHÅLSLAGER
I BERG:
Förprojektering vid Stora Skuggan, Stockholm
(På uppdrag av Sunstore KB)

R32:1983 Ove Platell, Hans Wikström
SUNSTORE EXPERIMENTHUS I SIGTUNA
Mätning och utvärdering, 1981/82

Lagring i akviferer

R80:1979 Thore Abrahamsson
SOLFÄNGAR- OCH VÄRMEPUMPANLÄGGNING MED GRUNDVATTEN
SOM VÄRMEACKUMULATOR
Förstudie: vårdskola i Borås

R78:1980 Sören Andersson m fl
VÄRMELAGRING I KONSTGJORDA GRUNDVATTENMAGASIN
Förstudie

* "Sunroc-systemet" har senare döpts om till "Sunstore-systemet"

- R101:1980 Olof Andersson, Gunnar Gustafson
VÄRMELAGRING I DJUPA SLUTNA GRUNDVATTENMAGASIN
Förstudie
- R106:1980 Gustav Kunnos, Bo Leander, Ulf Troedson
SKANSKA AKVIFERER
Möjligheter att lagra och utvinna energi
- R126:1981 Leif Lemmeke
STORSKALIG VÄRMEFÖRSÖRJNING MED VÄRMEPUMP
Principförslag med kombinerat utnyttjande av
yt- och grundvatten som värmekälla
- R32:1982 Christer Gedda, Göran Ejdeling
VÄRMELAGRING I GRUNDVATTENMAGASIN
Fältförsök i kalkstensakvifer, Landskrona
- R121:1982 Olof Andersson, Ingvar Johansson, Jerker Peres
UTNYTTJANDE AV ÖVERSKOTTSVÄRME I GRUNDVATTEN VID
KONSTGJORD INFILTRATION
Förstudie
- R133:1982 Hans Hydén m fl
GRUNDVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA OCH LAGER FÖR
FJÄRRVÄRMENÄT I TRANÅS
Förstudie
- Allmänt
- R70:1978 Bo Carlsson, Hans Stymne, Gunnar Wettermark
LAGRING AV VÄRME
En översikt över metoder och möjligheter
- Geol.inst. Jan Sundberg
CTH METODER FÖR BESTÄMNING AV TERMISKA PARAMETRAR
Inst. rapport I BERG OCH JORD
B132 - 1979
- Geol.inst. Urban Fält, Gunnar Gustafson
CTH UNDERSÖKNING AV FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖR ENERGI-
Inst. rapport LAGRING I JORD OCH BERG GENOM GEOFYSISK BORR-
B141 - 1979 HÄLSLOGGNING - EN METODINVENTERING
- Earth Heat NORDIC SYMPOSIUM ON EARTH HEAT PUMP SYSTEMS
Pump Group
CTH - 1979
- R134:1980 Gunnar Gustafson, Erik Norling m fl
ENERGIGEOLOGISK KARTERING
Metodstudie
- R148:1980 Silas Gustafsson, Ernest Karawacki, Arnold Lundén
VÄRMETRANSPORT I JORD- OCH BERGARTER, KONSTRUKTIONS-
MATERIAL OCH VÄTSKOR
- D19:1980 Stellan Atterkvist
SWEDISH ENERGY STORAGE PROJECTS 1979
Research Development Full-scale experiments

- CTH Nils-Erik Wiberg
Kurskomp. VÄRMELEDNING OCH ENERGILAGRING
1980 Beräkning med finita elementmetoden
- Geol.inst. Urban Fält
CTH GEOFYSISK LOGGNING I KRISTALLIN BERGGRUND
Inst.rapport Inventering av problem och förutsättningar
B157 - 1980
- LTH Johan Claesson, Bengt Eftring, Göran Hellström
1980 LUNDAGRUPPEN FÖR VÄRMELAGRING I MARK
PUBLIKATIONSLISTA 1977-1980
- T1:1981 Björn Svedinger (redaktör)
VÄRME I JORD, BERG OCH VATTEN
Utvinning och lagring
- T23:1981 MILJÖKONSEKVENSER VID VÄRMEUTVINNING OCH VÄRME-
LAGRING I MARK OCH VATTEN
Utredning av Statens naturvårdsverk på uppdrag
av Byggforskningsrådet
- D4:1981 Peter Margen
SEASONAL THERMAL STORAGE
Swedish practice, developments and cost projections
- Jordvärme- Ingvar Rhen
gruppen CTH REGISTRERING AV VATTENHALT I JORD GENOM MÄTNING AV
Inst.rapport DEN ELEKTRISKA KAPACITANSEN
nr 3 - 1981
- R20:1982 STORA SOLVÄRMESYSTEM
Geoteknik, områdesplanering, ekonomi
(Behandlar fyra typer av värmelager)
- R107:1982 Ernst Morawetz
ATT ÅRSLAGRA SOLVÄRME VID LAG TEMPERATUR
Förstudie av smältvärmelager av vatten och is
- T42:1982 Byggforskningsrådets referensgrupp för energi-
geologisk kartering
ATT UTVINNA OCH LAGRA VÄRME I MARK OCH VATTEN
Metodik för inventering och redovisning av natur-
förutsättningar
- D22:1982 International Energy Agency (IEA) solar heating and
cooling programme task VII
CENTRAL SOLAR HEATING PLANTS WITH SEASONAL STORAGE
Basic design data for the heat distribution system
- Jordvärme- Jan Sundberg
gruppen CTH METODER FÖR BESTÄMNING AV VÄRMEÖVERFÖRANDE EGENSKAPER
Inst.rapport I JORD OCH BERG
nr 5 - 1982
- G2:1983 Byggforskningsrådets Miljökonsekvensgrupp
MILJÖKONSEKVENSER AV VÄRMEUTVINNING OCH VÄRMELAGRING
I MARK OCH VATTEN
förslag till forskningsprogram

BFR-PROJEKT OM VÄRMELAGRING I MARK VID LÅGA TEMPERATURER

Sammanställningen avser:

(L) Bidrag till FoU-projekt
Lån till experimentbyggnadsprojekt

som BFR beviljat t o m 1982-12-31

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
	<u>Lagring i jord</u>		
770609-7	Fullskaleprojekt värmepump-jordvärmelager Utby (Jordvärmegruppen CTH)	Gösta Rosenblad CTH	138
770609-7	Studier av apparat- och värmetekniska synpunkter på husuppvärmning med värmepump	Thore Berntsson CTH	Ramanslag
770610-9	Jordvärmepumpar i befintliga hus. Projekteringsförutsättningar och begränsningar	Walter Kiessling CTH	"
770611-4	Geologiska faktorerers inverkan på jordvärmepumpar	K.Gösta Eriksson CTH	"
781282-5	Koordinator och övergripande projektledare för jordvärmegruppen på CTH	Bernt Bäckström CTH	150
790245-1	Lagring av spill- och solvärme i jord	Ulf Lindblom CTH	125
790338-9	Sunclay-projektet. Förprojektering av Lindälvs-skolan i Kungsbacka	Mats Länsberg Kungsbacka	100
790480-2	Säsongslagring i torv. Program- och verksamhetsplanering, platsval	Allan Karlsson Malmö	4
790631-7	Energilagring i mark - Programarbete	Gunnar Gustafson Göteborg	25
791152-5	Värmepålen - för grundläggning och värmelagring. Förstudie och Etapp II	Per Olof Sahlström Stockholm	159
791203-7	Lindälvsskolan - Sunclay-projektet	Mats Länsberg Kungsbacka	1428 (L)
791424-9	Lindälvsskolan - Sunclay-projektet, mätning, underhåll etc	Göran Hultmark Kungsbacka	420

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
791652-6	Fullskaleprojekt värme- pump - jordvärmelager Utby (Jordvärmegruppen, CTH)	Gösta Rosenblad Göteborg	40 (L)
800279-8	Värmelagring i lera vid Lindälvsskolan, Kungsbacka	K.Gösta Eriksson CTH	226
800620-3	Lagring av solvärme med horisontella rörsystem i torv, Djupedalsskolan i Härryda - mätning och ut- värdering	Göran Hultmark Göteborg	220
800731-1	Sunclay-projektet, Kungs- backa. Värme- och apparat- teknisk uppföljning	Thore Berntsson CTH	463
800911-3	Värmelagring i torvmark. Miljöpåverkan, hinder samt inventering av potential i Sverige	Ulf Kihlblom Stockholm	40
800921-4	Värmelagring i torv. Tek- niska förutsättningar och inventering av potential i Sverige	Olof Andersson Malmö	60
801104-3	Lagring av solvärme med horisontella rörsystem i torv, Djupedalsskolan i Härryda	Jan Kihlnäs Härryda	800 (L)
801355-7	Stora jordvärmesystem i ny och befintlig bebyggelse. Förprojektering	Lars Jacobson CTH	199
810485-6	Jordvärmegruppen vid CTH. Samordning och information av interna forskningsprojekt	Bernt Bäckström CTH	457
810565-7	Värmepålar för grundläggning och värmelagring under små- hus i Huddinge. Mätning	Anders Fredriksson KTH	81
810585-9	IEA-Program Advanced Heat Pumps, Annex II Vertical Heat Pump Systems - Operating Agent	Bernt Bäckström CTH	260
810675-0	"Jordvärmeplan" för stadsdel på Hisingen	Walter Kiessling CTH	126
810676-6	Vindkonvektorer på byggnad- er för laddning av jord- värmelager. Tekniska och arkitektoniska möjligheter	Walter Kiessling CTH	150

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
810680-4	Värmetekniska aspekter på jordvärmesystem. Systemsimulering, optimering och driftstrategi	Thore Berntsson CTH	158
810682-5	Värmelagring i lera för villa med luftkonvektorer i Utby - Värmeteknisk utvärdering	Thore Berntsson CTH	128
811167-0	Solvärmesystem och markvärmelager med varierande temperaturzoner för radhus i Kullavik. Systemstudier	Göran Hultmark Kungsbacka	92
811441-1	Lagring av spillvärme i lera. Förstudie i Upplands Väsby	Lars Engvall Stockholm	117
811802-2	Solvärme med säsongslagring i lera för bostadsområde i Kristianstad - Förprojektering	Lars Husberger Kristianstad	350
820206-6	Värmeutvinning ur finsediment genom kollektorbrunn för 70 lägenheter i Karlstad. Förstudie	Torgny Agerstrand Stockholm	25
820730-7	Högtemperaturlagring i lera med olika temperaturnivåer	Mats Länsberg Kungsbacka	587 (L)
820787-0	Värmelager i lera för blockcentral Karl Staafgatan i Göteborg - Projektering	Rune Buresten Göteborg	270
820867-0	Värmeinfångning med konvektorer för jordvärmeanläggningar. Studier på 1940-60tals flerbostadshus	Bertil Larsson CTH	78
820894-7	Vertikala rörsystem för värmelagring i friktionsjord - Förstudie	K.Gösta Eriksson CTH	130
820896-8	IEA - Program Advanced Heat Pumps, Annex II Vertical Earth Heat Pump System - National Team	Bernt Bäckström CTH	95

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
	<u>Borrhålslager i berg</u>		
780067-5	Sunstore solenergiprojekt	Ove Platell Hans Wikström Lars-Åke Nöjd Stockholm	3400
780203-1	Marklagerstudier för Sunroc-systemet	K.Gösta Eriksson CTH	300
780518-7	Solenergiprojektet Stora Skuggan. Förstudie	Åke Linde Stockholm	350
780794-7	Säsongslagring av värme i berg - Förstudie av borrhålslager för ca 1000 lägenheter	Håkan Kadesjö Västerås	180
790020-8	Systemstudier av lågtemperaturvärmeavgivnings-system vid drift tillsammans med Sunroc marklager och solfångare	Ove Platell Malmö	120
790087-2	Förutsättningar för vidareutveckling av energilagring i djupjordssystem med avseende på teknik, ekonomi och planeringsaspekter	Thomas Nilsson Stockholm	75
790729-2	Anläggning för värmeackumulering i berg - Förstudie	Sven Åke Larson CTH	31
791050-2	Geofysisk loggning i borrhål för energilagring	K.Gösta Eriksson CTH	26
791694-1	Värmelagring i berg med hjälp av oinklädda borrhål. Förstudie	Sören Andersson Stockholm	143
810181-8	Värmelagring i berg med borrhålssystem. Fältsök i Luleå	Sören Andersson Stockholm	730
810196-7	Hydrock - anläggning för ackumulering av värme i berg	Sven Åke Larson CTH	480
810223-5	Koniska värmelager i berg med borrhålsteknik. Förstudie	Alf Lindmark Linköping	64
810759-2	Sunstore experimenthus i Sigtuna. Mätning och utvärdering, etapp II B	Lars-Åke Nöjd Nyköping	419

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
810880-8	Södertuna solvärmecentral - Värmelagring i berg med borrhålslager	Sören Andersson Stockholm	256
810919-2	Säsongslagring av solenergi genom borrhålslager i berg med Sunstore-teknik vid Stora Skuggan i Stockholm. Förprojektering	Lars-Ake Nöjd Nyköping	400
811012-6	Borrhålslager i berg för spillvärme från processin- dustrin i Munksund. Förstudie	Anders Forsén Luleå	75
811248-6	Säsongslagring av värme ut- vunnen genom värmepumpning på sommarvarmt ytvatten	Sören Andersson Stockholm	50
820308-9	Borrhålsvärmelager i berg vid Luleå högskola	Torgny Selberg Luleå	4800 (L)
820396-7	Borrhålsvärmelager i berg vid Högskolan i Luleå. Mätning och utvärdering	Bo Nordell Luleå	1220
820637-3	Lagring av spillvärme i berg- rum och borrhålslager i Göteborg. Förstudie	Kjell Eriksson Göteborg	410
820804-9	Sunstore solenergiprojekt - Slutrapportering	Lars-Ake Nöjd Nyköping	178
820849-9	Inglasad gård som solfångare och säsongsvärmelagring i borrhålslager för flerfa- miljshus i Gubbängen - Pro- jektplanering	Johnny Kellner Stockholm	25
821119-2	Överglasad gård och borrhåls- värmelager för flerbostads- hus i Gubbängen, Stockholm - Energi- och byggnadsprojek- tering typ SUNCOURT	Mats Thorén Stockholm	440
821240-8	Säsongslagring av solvärme i berg med borrhålslager vid Stora Skuggan, Stockholm	Rolf Mårtensson Stockholm	2800 (L)

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
	<u>Värmelagring i akviferer</u>		
780021-8	Värmelagring i konstgjorda hålrumsmagasin Förstudie	Sören Andersson Stockholm	65
790021-3	Grundvatten och glastäckt gata som värmekälla för radhus i Landskrona. Projektinformation och driftinstruktioner	Peter Broberg Landskrona	15
790077-1	Konsekvenser för stadsplan vid energiförsörjning med lagrad och utvunnen energi ur akviferer	Gustav Kunnos Malmö	35
790358-1	Värmelagring i djupa slutna grundvattenmagasin. Förstudie	Olof Andersson Malmö	63
790516-1	Programstudie avseende vattenis-jordhybridlager för säsongslagring av solvärme	Ernst Morawetz Staffanstorps	25
791768-2	Energilagring i mark. Kemisk samverkan mellan lagringsmedium och energibärare	Gunnar Gustafson Göteborg	400
791769-7	Dimensionering och drift av cirkulationssystem med brunnar vid akviferlagring	Gunnar Gustafson Göteborg	445
791773-5	Utnyttjande av överskottsvarme i grundvatten vid konstgjord infiltration	Jerker Perers Malmö	60
800685-6	Försökstest av värmelagringsförmågan i kalkstensakvifer, kv Tärnan, Landskrona	Christer Gedda Halmstad	107
801483-1	Grundvatten som värmekälla och lager för fjärrvärmenät i Tranås - Förstudie	Hans Hydén Stockholm	270
810191-9	Energiutvinning ur kommunala grundvattentäkter - Förstudie i Nyköping och Södertälje	Ulf Kihlblom Stockholm	225
810238-4	Grundvatten som värmekälla och energilager för radhus i Landskrona. Termo-hydraulisk utvärdering	Christer Gedda Halmstad	148

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
810474-0	Studier av värmelagring i mark och grundvatten. Forskarstipendium vid NWL-Battelleinstitutet i USA	Bertil Sundlöf Stockholm	69
810713-5	Lagring av ytvattenvärme i sandakvifer för fjärrvärmesystem i Klippan - Förprojektering	Hans Hydén Stockholm	300
811645-8	Värmelagring i grusås genom inducering av sjövatten. Förstudie i Falun	Gunnar Gustafson Falun	80
811680-5	Kombinerad lagring och uttag av värme från sjö- och grundvatten i Karlskoga. Förstudie	Gunnar Gustafson Göteborg	54
820274-2	IEA/Energy Storage, annex III. Akviferlager i Lausanne, Schweiz - deltagande i expertgrupp	Gunnar Gustafson Göteborg	122
820579-6	Utnyttjningsbar potential för värmelagring i akviferer i Sverige	Hans Hydén Stockholm	295
820702-5	Värmelagring i akviferer - Teori och laboratorieförsök	Bengt Åberg KTH	464
821361-7	Lagring av sjövärme i grundvattenmagasin för fjärrvärmenäät i Tranås - Förprojektering och provpumpningar	Hans Hydén Stockholm	506
821617-2	Aquifer Storage Demonstration Plant in Lausanne - IEA Programme "Energy storage"	Bernad Mathey Neuchatel 7, Schweiz	283

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
	<u>Allmänt</u>		
771029-7	Utveckling av beräkningsmodeller för lagring av värme i jorden och för utvinning av jordvärme. Studium av termodynamiska principer och möjligheter för jordlagringssystem direktkopplade till värmepump och solfångare	Johan Claesson Lund	400
790042-1	Ingenjörsgelogisk loggning i kristallin berggrund	K.Gösta Eriksson Göteborg	25
790245-1	Lagring av spill- och solvärme i jord. Djupjordvärme	Ulf Lindblom Göteborg	125
790311-8	Värmetransport i skilda jord- och bergarter	Silas Gustafsson Göteborg	115
790827-3	Inverkan av förhöjd temperatur på finkornig jord - Förstudie - geoteknik	Roland Pusch Luleå	10,3
791050-2	Geofysisk loggning i borrhål för energilagring och energiutvinning. Etapp 1	K.Gösta Eriksson Göteborg	292
791305-0	Värmelagring i mark. Teoretiska analyser och beräkningsmodeller	Johan Claesson Lund	870
800048-6	Geotekniska konsekvenser av värmelagring i finkornig jord - laboratorieprov	Roland Pusch Luleå	75
800279-8	Termisk-tekniska egenskaper i lera vid värmelagring - Lindälvsskolan, Kungsbacka	K.Gösta Eriksson Göteborg	226
801381-8	FEM-analys för beräkning av värme i mark. Möjligheter och utvecklingsbehov	Nils-Erik Wiberg Göteborg	60
801465-0	Fältundersökningsmetoder vid tillämpad markvärmeteknik - nulägesbeskrivning	Olof Andersson Malmö	105
810113-2	Värmelagring i lera - värmeledning, värmeväxling och geoteknisk påverkan	Ulf Lindblom Göteborg	685
810113-2	Värmelagring i lera - värmeledning, värmeväxling och geoteknisk påverkan	Göran Sällfors Göteborg	227

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
810671-8	Värmeöverförande egenskaper i jord och berg	K.Gösta Eriksson Göteborg	406
820743-4	Jordarters termiska och fysikaliska egenskaper för jordvärmesystem. Svensk-franska seminarier i Göteborg och Grenoble	K.Gösta Eriksson Göteborg	60
820895-2	Frysning av lera vid värmeuttag ur mark. Förstudie av geo-problem och termiska möjligheter	K.Gösta Eriksson Göteborg	57
821398-9	Termiska analyser och modeller för markvärme - ramanslag	Johan Claesson Lund	1210

DELTAGARLISTA

Olle Andersson
 VIAK AB
 Krusegränd 42 C
 212 25 MALMÖ
 Tel 040-93 43 40

Roland Andersson
 Stockholms Universitet
 106 91 STOCKHOLM
 Tel. 08-16 20 00

Sten Bjurström
 BeFo
 Box 5501
 114 85 STOCKHOLM
 Tel 08-63 50 20

Arne Boysen
 Hidemark & Danielsson Ark HB
 Järntorget 78
 111 29 STOCKHOLM
 Tel 08-765 06 92

Tomas Bruce
 Södertälje Kommun
 Energiverket
 151 89 SÖDERTÄLJE
 Tel 0755-210 00

Johan Claesson
 Matematisk Fysik
 Lunds Tekniska Högskola
 220 07 LUND 7
 Tel 046-12 46 20

Sven-Allan Eklund
 Statens Vattenfallsverk
 162 87 VÄLLINGBY
 Tel 08-739 50 00

Carl-Johan Engström
 Statens Planverk
 Box 12513
 102 29 STOCKHOLM
 Tel 08-54 09 40

Rolf Engvall
 BFR
 S:t Göransgatan 66
 112 33 STOCKHOLM
 Tel 08-54 06 40

Anders Eriksson
 Allmänna Ingenjörbyrå AB
 Box 5511
 114 85 STOCKHOLM
 Tel 08-63 00 20

K Gösta Eriksson
 CTH
 Inst för geologi
 412 96 GÖTEBORG
 Tel 031-81 01 00

Gunnar Gustafsson
 VIAK
 Mölndalsvägen 85
 412 85 GÖTEBORG
 Tel 031-81 31 20

Göran Hellström
 Matematisk Fysik
 Lunds Tekniska Högskola
 220 07 LUND 7
 Tel 046-12 46 20

Anders Hult
 SG AB
 Box 1424
 751 44 UPPSALA
 Tel 018-15 64 20

Göran Hultmark
 Andersson & Hultmark AB
 Box 24135
 400 22 GÖTEBORG
 Tel 031-81 53 90

Hans Hydén
 VBB AB
 Box 5038
 102 41 STOCKHOLM
 Tel 08-22 85 80

Sam Johansson
 Allmänna Ingenjörbyrån AB
 Box 5511
 114 85 STOCKHOLM
 Tel 08-63 00 20

Tomas Josefsson
 Energiforskningsnämnden
 Sveavägen 9-11 9 tr
 111 57 STOCKHOLM
 Tel 08-763 10 00

Per-Olov Karlsson
Statens Vattenfallsverk
162 87 VÄLLINGBY
Tel 08-739 50 00

Leif Lemmeke
VBB AB
Geijersgatan 8
216 18 MALMÖ
Tel 040-15 90 00

Ulf Lindblom
Hagconsult AB
Box 382
401 26 GÖTEBORG
Tel 031-19 77 17

Ake Linde
Kungl Djurgårdens Förvaltning
Kungliga Slottet
111 30 STOCKHOLM

Sven-Erik Lundin
BFR
S:t Göransgatan 66
112 33 STOCKHOLM
Tel 08-54 06 40

Bo Mårtensson
K-Konsult
Box 17082
200 10 MALMÖ
Tel 040-764 20

Rolf Mårtensson
SISOL
115 84 STOCKHOLM
Tel 08-67 99 60

Hans Nilsson
Stockholms Energiverk
Värtaverken
Box 39101
100 54 STOCKHOLM
Tel 08-736 70 00

Tomas Nilsson
Innovation Tomas Nilsson AB
Box 6097
102 32 STOCKHOLM
Tel 08-34 09 90

Lars Ake Nöjd
Studsvik Energiteknik AB
611 82 NYKÖPING
Tel 0155-800 00

Ove Platell
Platonik Utvecklings AB
Tilskogsvägen 15
190 30 SIGTUNA
Tel 0760-553 03

Rutger Roseen
Studsvik Energiteknik AB
611 82 NYKÖPING
Tel 0155-80 000

Gösta Rosenblad
CTH
Inst för geologi/jordvärmegruppen
412 96 GÖTEBORG
Tel 031-81 01 00

Tomas Rostock
Statens Industriverk
117 86 STOCKHOLM
Tel 08-744 90 00

Conny Sjöberg
Nitro Consult AB
Box 32058
126 11 STOCKHOLM
Tel 08-744 25 20

Björn Svedinger
VIK AB
162 10 VÄLLINGBY
Tel 08-87 00 80

Bengt Åberg
KTH
Vattenbyggnad
100 44 STOCKHOLM
Tel 08-878 87 23

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811449-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till Stiftelsen Bergteknisk Forskning, BeFo,
Stockholm.**

R105: 1983

ISBN 91-540-3995-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700805

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 50 kr exkl moms