



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

R11:1985

Värmelagring i blockfyllda berggröpar

Förstudie

**Torbjörn Winqvist
Hans Hydén**

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

Ser

Byggeforskningsrådet

R11:1985

VÄRMELAGRING I BLOCKFYLLDA BERGGROPAR
Förstudie

Torbjörn Winqvist
Hans Hydén

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
830552-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till VBB AB, Stockholm

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

R11:1985

ISBN 91-540-4324-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

INNEHÅLL

	Sid
SAMMANFATTNING	5
1 SYFTET MED VÄRMELAGRING	7
2 VAD FÅR ETT VÄRMELAGER KOSTA	9
3 BLOCKFYLLD GROP ELLER BERGRUM SOM VÄRMELAGER	11
3.1 Anläggningsteknik och kostnader för lagervolymer	11
3.2 Lokalisering av värmelager	13
3.3 Termiska egenskaper	13
3.4 Vattenkemiska aspekter	18
3.5 Planerings- och anläggningsaspekter	19
3.6 Ekonomi	22
4 POTENTIAL FÖR BLOCKFYLLDA BERGRUM SOM VÄRMELAGER I SVERIGE	27
4.1 Fjärrvärmesystem	27
4.2 Gruppcentraler	27
4.3 Slutsatser och rekommendationer	27
5 REFERENSER	29

SAMMANFATTNING

De tekniska och ekonomiska förutsättningarna för att anlägga värmelager i form av blockfyllda gropar eller bergrum har studerats. Utredningen antyder att det för mycket stora värmelager, mer än 1 Mm^3 volym, kan vara möjligt att nå ner till anläggningskostnader för färdiga lager på ca 60 kr/m^3 .

För att nå ner till ekonomiskt intressanta värmelagringskostnader, 1-2,5 kr per årligen lagrad kWh, krävs stora temperatursving och därmed stor total lagringskapacitet, storleken 25-40 GWh. Potentialen för så stora värmelager i Sverige är begränsad, högst ca 1 TWh.

Utredningen visar att ur flertalet anläggnings-och planeringsmässiga synpunkter ett blockfyllt bergrum är att föredra framför en blockfylld grop.

Ett framtida utvecklingsarbete måste ta sikte på att utarbeta anläggningsteknik för lager i storleken 200 000-400 000 m^3 till samma kostnader per m^3 som i dag möjligen kan nås för lager större än 1 Mm^3 . Innan ytterligare arbeten på fullskaleprojekt utförs synes det angeläget att de termiska egenskaperna hos lager med intressant geometri prövas experimentellt i modellskala.

1. SYFTET MED VÄRMELAGRING

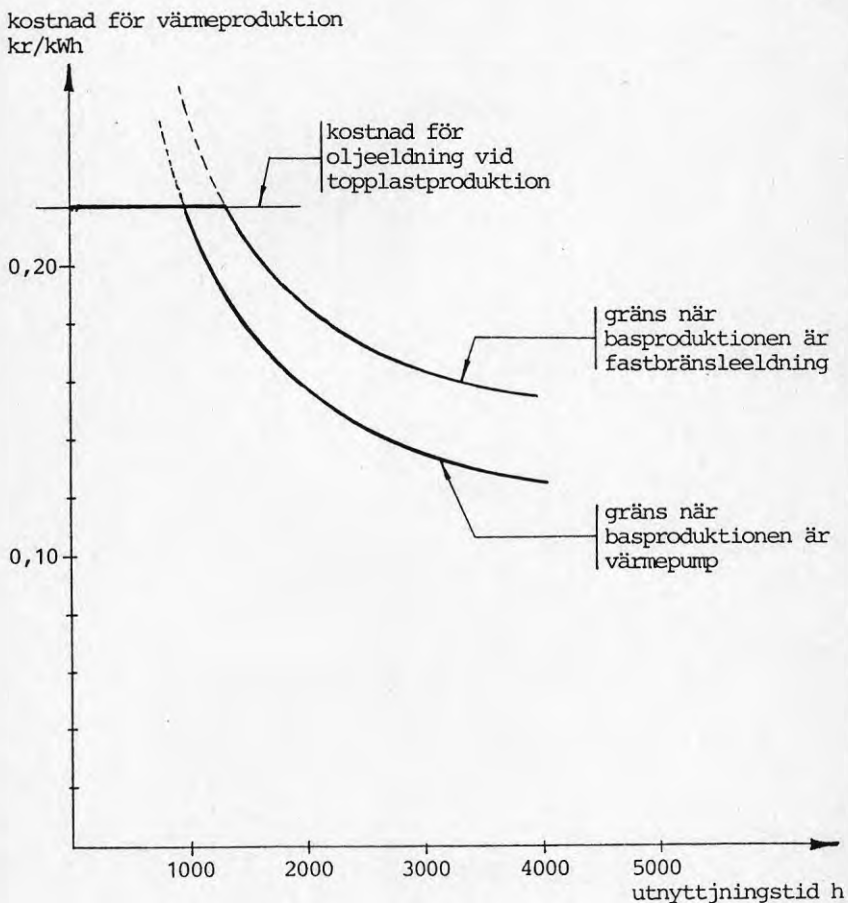
Syftet med ett värmelager är att lagra värme från perioder med överskott av billig värme till perioder med stort behov av värme i en uppvärmningsanläggning. Lagringen kan ske årstidsvis från sommar till vinter, varvid lagret omsätts 1 gång per år. Lagringen kan också ske över dygnet, korttidslagring, eller som mellantidslagring mellan varma och kalla perioder under vinterhalvåret. I dessa fall kan lagret omsättas ett stort antal gånger per år. Ett säsongsvärmelager kan naturligtvis samtidigt utnyttjas för lagring över kortare perioder.

Ett utpräglat säsongslager kan omsätta upp till ungefär 15 % av systemets hela uppvärmningsbehov medan ett korttidslager omsätter mindre än 1 % av det årliga uppvärmningsbehovet.

Ett värmelager är motiverat om kostnaden för lagringen är mindre än prisskillnaden mellan laddningsenergin och kostnaden för en alternativ värmekälla. Billig laddningsenergi kan tänkas erhållas i form av industriell spillvärme, sopförbränningsvärme, naturvärme (med hjälp av värmepump) eller eventuellt genom kolförbränning. Värmelager kan vara motiverade i såväl fjärrvärmesystem som i stora och medelstora gruppcentraler.

Ett värmelager är motiverat när kostnaden för uppsamling och lagring av överskottsenergi för senare utnyttjande är lägre än kostnaden för värmeproduktion på något annat sätt. Lönsamheten för lagret beror dels på utnyttjandetiden för lagret och dels på hur värme annars skulle ha producerats.

Förhållandena i ett fjärrvärmesystem illustreras översiktligt i Figur 2.1, Emmelin m fl (1984). Vid mycket kort utnyttjandetid för lagret konkurrerar detta troligtvis med oljeförbränning. Vid utnyttjningstider över ca 2 000 h konkurrerar lagret med värmepump eller fastbränsleledning varigenom det ekonomiska utrymmet för värmelagret minskar. Om



Figur 2.1 Ungefärligt ekonomiskt utrymme för säsongsvärmelagring i ett fjärrvärmenät (1984 års prisnivå).

ett säsongsvärmelager kan laddas till en kostnad av ca 5 öre/kWh blir den tillåtna kostnaden för själva lagret i storleken 10-15 öre/kWh. Vid en annuitet på 10 % (t ex 6 % realränta, 15 års amorteringstid) får investeringskostnaden för lagret inklusive anslutning till fjärrvärmenätet högst vara ca 1-1,50 kr per årligen levererad kWh. Den tillåtna kostnaden per m³ lagervolym beror på hur många gånger per år som lagret omsätts.

I en gruppcentral är kostnaden för värmeproduktion oftast något högre än i ett fjärrvärmesystem. Samtidigt kan lönsamhetskraven vara lägre och finansieringsförutsättningarna något gynnsammare. Investeringskostnaderna kan därför ofta tillåtas vara något högre, storleken 2-2,5 kr per årligen levererad kWh.

3 BLOCKFYLLD GROP ELLER BERGRUM SOM VÄRMELAGER

3.1 Anläggningsteknik och kostnader för lagervolymen

3.1.1 Tidigare utredningar

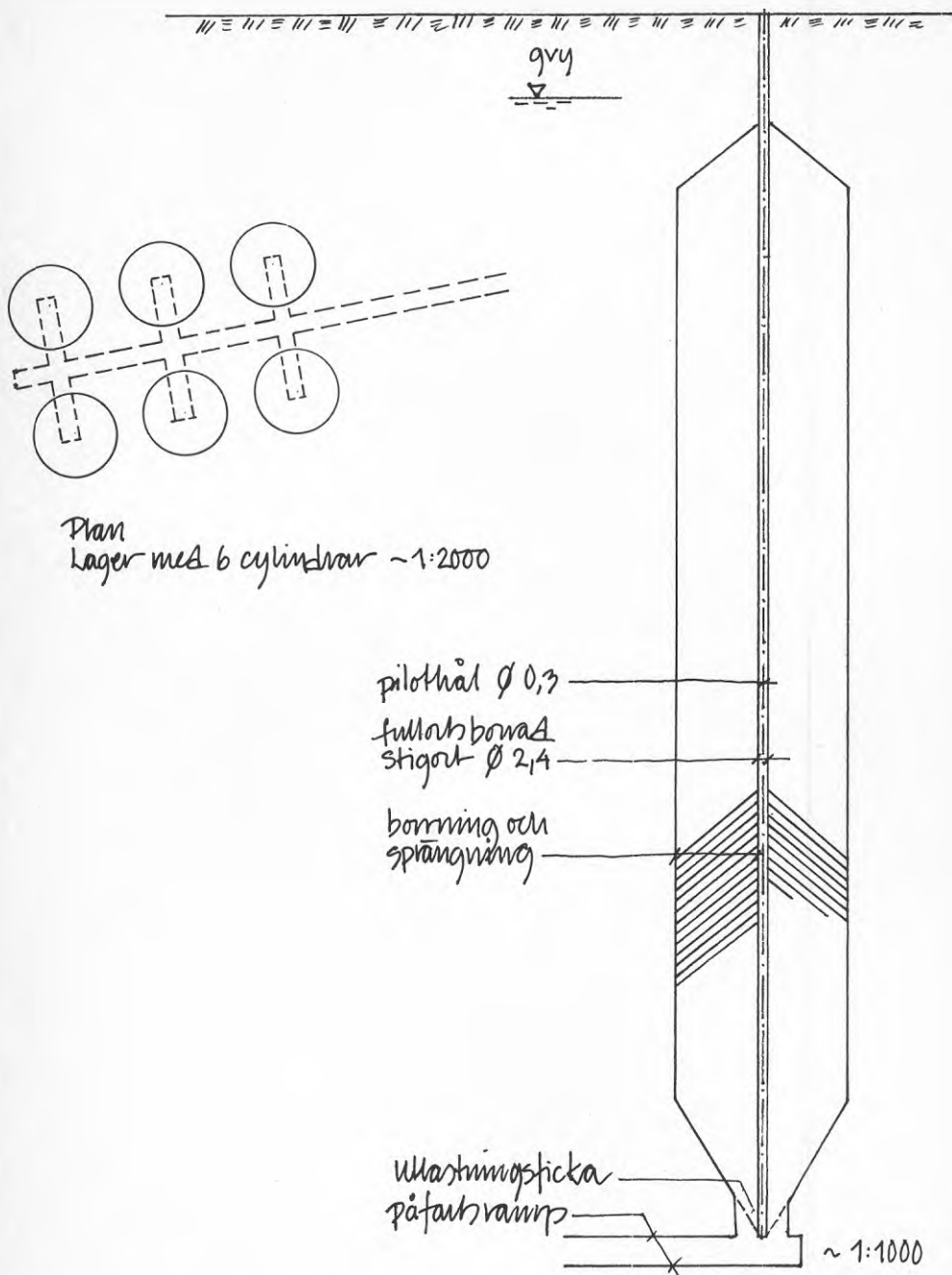
En möjlighet att skapa en volym för värmelagring till en acceptabel kostnad kan vara ett blockfyllt bergrum eller en blockfylld grop. Jämfört med ett konventionellt bergrum vinner man att man slipper lasta ur hela bergvolymen, att man kan ge lagret en ur termisk synpunkt gynnsammare form samt att man kan utnyttja effektiva brytningsmetoder framtagna inom gruvtekniken. Blockfyllda bergrum kan göras bredare och framför allt högre än öppna bergrum genom att de kvarlämnade massorna stöder väggarna. Nackdelarna jämfört med ett öppet vattenfyllt bergrum är primärt en lägre värmekapacitet hos lagervolymen, ca 0,80 kWh/m³°C jämfört med 1,16 kWh/m³°C för vatten, samt en lägre temperaturverkningsgrad. Det senare innebär att den uttagna energin erhålls vid en lägre temperatur än från ett bergrum med enbart vatten, se vidare avsnitt 3.2.

I ett tidigare projekt, Bogdanoff (1980), har studerats möjligheterna att på ett rationellt sätt bryta ut stora bergrum där bergmassorna inte lastas ut helt. De metoder som bedömts som mest lämpade är magasinering av skivrasbrytning och, kanske främst, skivpallbrytning med grovhål. För ett färdigt värmelager i storleken 1,5-3 Mm³, inklusive installationer och anslutningar, beräknades kostnader som i prisnivå hösten 1984 motsvarar ca 50 kr/m³.

3.1.2 Föreliggande studie

I föreliggande projekt har studerats en alternativ anläggningsmetod för ett blockfyllt bergrum eller en grop, som i korthet innebär följande; se även Figur 3.1.

1. En tillfartstunnel sprängs ut ned till värmelagrets bottennivå.
2. Från markytan borras pilothål \varnothing 0,3 m ner till bottennivån.
3. Vertikala stigorter, \varnothing 2,4 m, borras från botten upp till värmelagrets fulla höjd (eventuellt upp till markytan).
4. Stigorterna utvidgas till diameter upp till ca \varnothing 30 m genom radiell borrar i horisontal led och utsprängning.
5. Överskottsmassorna lastas ut från orter som ansluter till tillfartstunneln vid lagerutrymmets botten.



Figur 3.1 Studerad anläggningsmetod för blockfyllt bergum.

För att grundvattennivån ej ska påverkas runt platsen för värmelagret under anläggningstiden kan tillfartstunneln anläggas i spiral runt värmelagret. Från tunneln kan berget tätas och vatten vid behov injekteras i omgivande berg.

Kostnads kalkyler visar att med ovan beskrivna teknik bör ett värmelager i form av ett blockfyllt bergrum med volymen $1,5 \text{ Mm}^3$ (9 cylindrar \varnothing 30 m, höjd 225 m) kunna byggas till en kostnad av ca 70 kr/m^3 , prisnivå hösten 1984. Kalkylerna visar också att den specifika kostnaden snabbt ökar vid minskade lagerstorlekar p g a en stor kostnad för tillfartstunneln. För lagerstorleken $150\,000 \text{ m}^3$ blir således den specifika kostnaden ca 250 kr/m^3 (4 cylindrar \varnothing 30 m, höjd 150 m).

Liksom i tidigare arbeten, Bogdanoff (1980) antas att man kan uppnå en porositet i blockfyllningen på 40 %. Detta förefaller något högt. Man måste under alla omständigheter räkna med vissa sättningar i de övre delarna av fyllningen till vilket måste tas hänsyn vid markarbetena för en blockfylld grop.

3.2 Lokalisering av värmelager

När man ska lokalisera en lämplig plats för ett värmelager finns en mängd krav och begränsningar som man måste ta hänsyn till. Bland dessa kan främst nämnas:

- ur värmeteknisk synpunkt är det angeläget att lagret placeras nära värmekällan och övriga värmeproduktionsanläggningar
- om lagret utformas som en blockfylld grop bör bergytan vara tämligen plan och det täckande jordlagret tunt och lättschaktat (sådan mark är givetvis attraktiv för annan markanvändning, dvs konkurrens kan förväntas)
- grundvattenytan bör ligga nära markytan och ha liten lutning så att grundvattenrörelserna ej är alltför stora inom lagerområdet
- lagret bör ej konkurrera med annan markanvändning under anläggnings- och driftskedet, vilket kan ställa speciella krav på arbetets utförande och markens efterbehandling
- risken för skadliga grundvattensänkningar under anläggningsskedet måste beaktas.

3.3 Termiska egenskaper

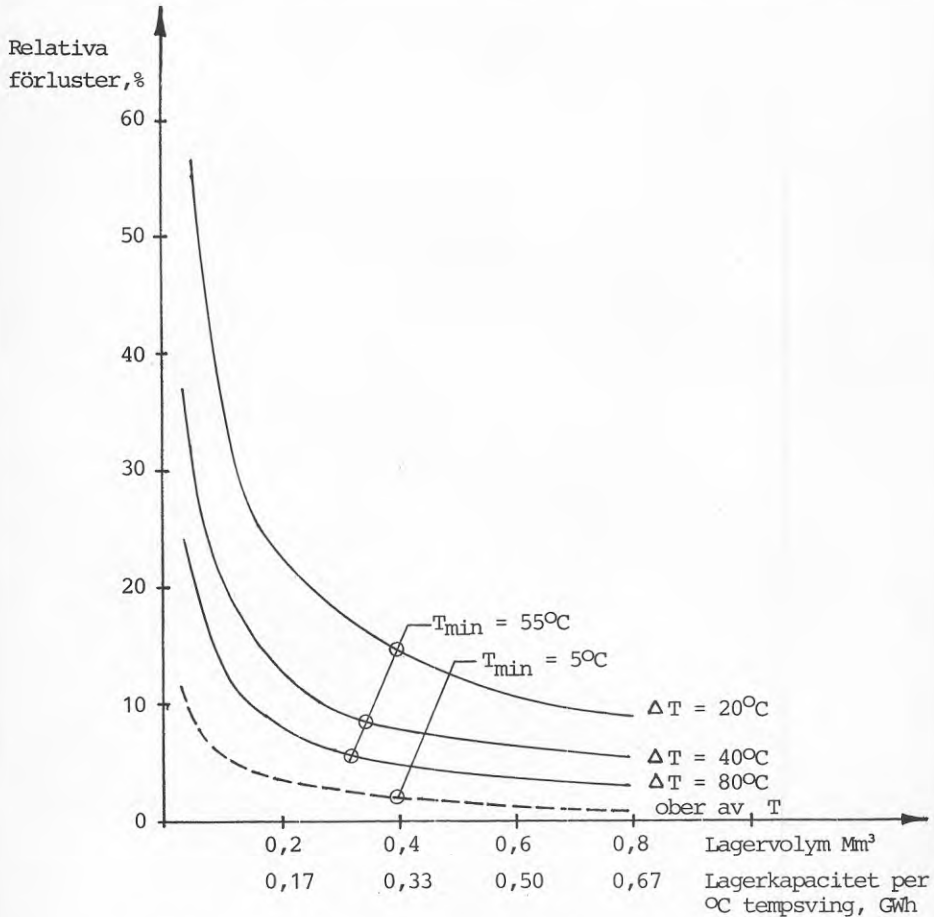
3.3.1 Globala värmeförluster

Värmeförlusterna till den omgivande marken från ett värmelager i form av en cylinder med höjden H och radien R på stort djup under markytan kan uppskattas ur formeln (Claesson m fl (1983)):

$$Q_m = \lambda (T_m - T_o) R \cdot h_1 (H/R)$$

där Q_m = genomsnittliga värmeförlusten under året efter ett antal års drift av värmelagret, W
 λ = markens värmeledningstal, W/m°C
 T_m = lagrets medeltemperatur, °C
 T_o = omgivningens temperatur, °C
 $h_1 (H/R)$ = värmeförlustfaktor, som är en funktion av förhållandet H/R.

I Figur 3.2 visas beräknade relativa förluster för ett säsongsvärmelager (förlusten i % av lagrets kapacitet vid en årsomsättning) med $H/R = 2$, $\lambda = 3$ W/m°C



Figur 3.2 Relativa förluster från cylinderformat värmelager i berg på stort djup med $H/R = 2$.

och $T_0 = 5^\circ\text{C}$ för lager med olika storlek, temperaturnivå och temperatursving. Figuren visar att även för lager som arbetar vid relativt hög temperatur och utan värmepump ($T_{\text{min}} = 55^\circ\text{C}$, $T = 40^\circ$) så är den relativa förlusten endast i storleken 10 % från lagerstorlekar på ca 300 000 m³ (ca 10 GWh/år) och uppåt.

Om lagervolymen är belägen nära markytan ökar värmeförlusten i vertikalled. Förlusten kan överslagsmässigt uppskattas ur formeln

$$Q_v = A \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (T - T_0)$$

där	Q_v	=	vertikala värmeförluster, W
	A	=	lagrets horisontala area, m ²
	λ	=	markens värmeledningstal, W/m ² °C
	d	=	täckande lagers tjocklek, m
	T-T ₀	=	temperaturskillnad mellan lagrets överdel och markytan, °C

Beräkningen visar att för lagerstorlekar över ca 300 000 m³ blir den vertikala värmeförlusten vid höga lagertemperaturer, max ca 90°C, i storleken 2-5 % om det täckande jordlagret är ca 5 m. För att hålla förlusterna på denna låga nivå krävs ett värde på λ/d som är i storleken 0,2 W/m²°C.

3.3.2 Språngskiktets egenskaper

Ett värmelager i ett bergrum fungerar så att en varm vattenmassa överlagrar en kallare. Vid laddning tas kallt vatten från lagrets botten, varefter det värms och återförs till lagrets övre del. Vid urladdning är flödesriktningen den omvända. I bergrummet kommer således att finnas en mer eller mindre diffus gränssyta, ett språngskikt mellan varmt och kallt vatten, som rör sig neråt resp uppåt vid laddnings- resp urladdningsfasen. Om man önskar en hög temperaturverkningsgrad på lagret, dvs att den uttagna värmen erhålls vid en temperatur som är så nära inlagringstemperaturen som möjligt, är det angeläget att språngskiktet är så skarpt utbildat som möjligt.

I ett öppet bergrum sker temperaturutjämnningen i språngskiktet huvudsakligen genom värmeledning. Värmeledningstalet för vatten är 0,56 W/m²°C. I ett blockfyllt bergrum sker, om språngskiktet ej rör sig i vertikalled, en temperaturutjämnning genom värmeledning genom vattnet som upptar ca 40 % av volymen och genom stenblocken som upptar ca 60 % av volymen. Det resulterande värmeledningstalet blir då ca 2,3 W/m²°C. Om språngskiktet dessutom rör sig i vertikalled sker en ytterligare utjämnning p g a en eftersläpning i värmeavgivningen från sten-

blocken ut i det strömmande vattnet. Enligt Claesson m fl (1983), kan denna eftersläpning, dispersions-effekt, uttryckas som ett tillskott i värmeledningstalet

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_{\text{st}} + \tilde{\lambda}$$

där λ_{eff} = effektiva värmeledningstalet

λ_{st} = värmeledningstal vid stillastående vatten

$\tilde{\lambda}$ = ökning av värmeledningen p g a dispersionseffekten

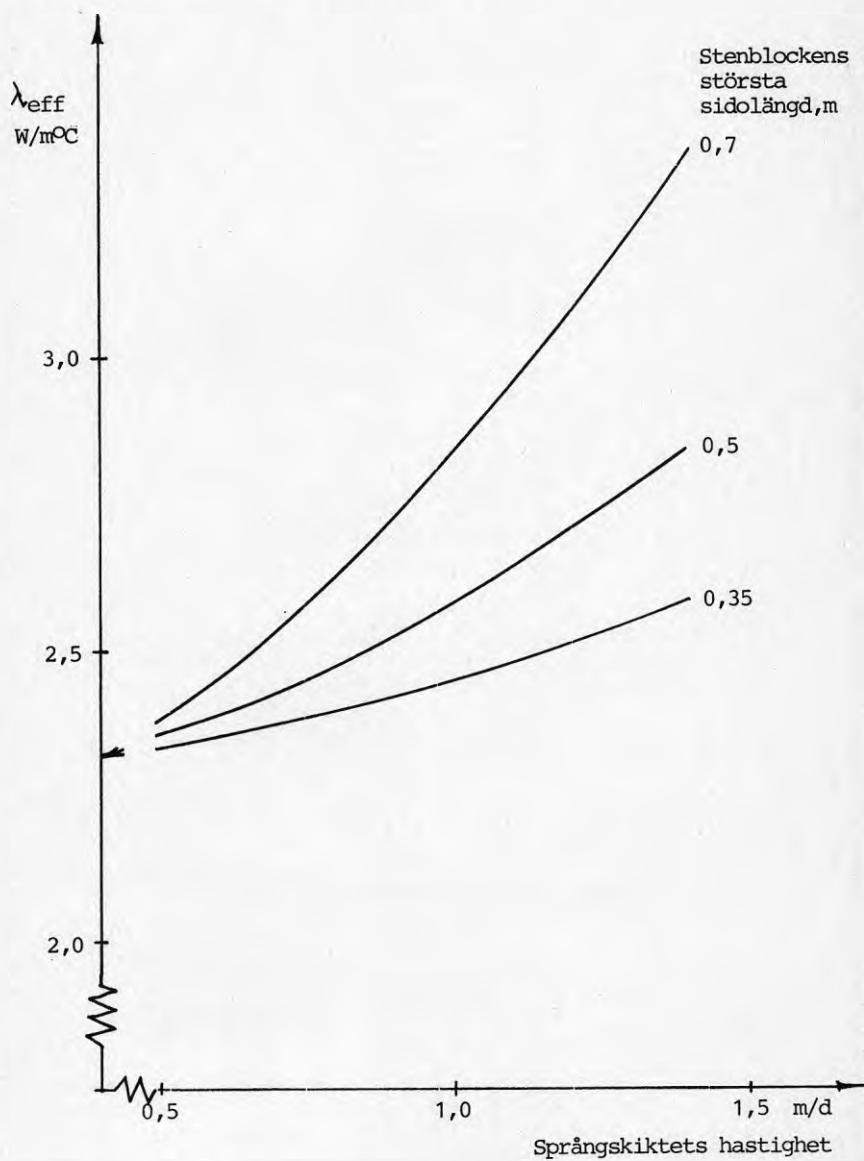
Dispersionseffekten är, för ett givet stenmaterial, en funktion av stenblockens storlek och form samt språngskiktets förflyttningshastighet i vertikalled. I Figur 3.3 illustreras detta samband. Stenarna antas där ha formen av parallelepipeder med sidoförhållandet 1/0,7/0,4. Minvärdet 2,3 W/m°C motsvarar värmeledningstalet i en stillastående massa med 60 % sten och 40 % vatten. Ökningen p g a gränsvytans rörelse är som synes måttlig och kan hållas nere genom en något minskad blockstorlek. Vid jämförelse med värmeledningstalet för enbart vatten, 0,56 W/m°C, inses att det blockfyllda bergrummet ger sämre möjligheter att vidmakthålla ett skarpt utbildat språngskikt än ett öppet bergrum.

Det effektiva värmeledningstalet ger möjlighet att beräkna en karakteristisk tjocklek (2σ) på det språngskikt som en ursprungligen skarp gränsvyta övergår till. Efter en lagringscykel laddning-URLaddning under 8 månader är denna tjocklek följande:

Effektivt värmeledn tal W/m°C	Karakteristisk tjocklek m
1	23
2	32
3	40
4	45

Med hänsyn till språngskiktets betydande tjocklek efter en lagringscykel förefaller det gynnsamt om lagret görs högt och smalt om en hög temperaturverkningsgrad är önskvärd, eftersom förhållandet språngskiktstjocklek/effektiv lagerhöjd då blir så litet som möjligt. Vid denna betraktelse har dock hänsyn ej tagits till effekterna av värmeutbytet med omgivande bergväggar vilket ytterligare bidrar till en värmetransport mellan den varma och den kalla delen av lagret. Denna värmetransport får ökad betydelse ju högre lagret görs eftersom förhållandet omslutningsarea/volym då ökar. Med hänsyn till att de två nämnda aspekterna motverkar varandra är det sannolikt att totalt sett den geometriska utformningen av lagervolymer har begränsad betydelse för temperaturverkningsgraden även om en hög och smal form troligen är att föredra. För energiverkningsgraden,

dvs förhållandet mellan uttagen och tillförd energi, har geometrin inom rimliga gränser beräkningsmässigt mycket liten betydelse.



Figur 3.3 Effektivt värmeledningstal i språngskiktet.

3.4 Vattenkemiska aspekter

3.4.1 Kemiska reaktioner mellan hett vatten och berg

Vattenkemiska reaktioner i samband med hetvattenlagring i oinklädda bergrum har undersökts såväl i laboratorium som i fält, Claesson (1984). De ämnen som lakas ur berget är främst kisel, aluminium, natrium, kalium och kalcium. Järn och mangan adsorberas på bergytan. Reaktionerna är temperaturberoende. Exempelvis ökar utlakningen av kisel med en faktor 3 om temperaturen ökar från 100°C till 150°C. Reaktionshastigheter och utlakning ökar också med ökad salthalt hos det vatten som bergrummet fylls med.

I de experimentanläggningar med hetvattenlagring i öppna bergrum som finns i landet har man såvitt bekant ännu ej fått väsentliga problem med mineralavsättningen i rör och värmväxlare. Detta kan bero på att förhållandet vattenvolym/bergyta är relativt stort och att temperaturen ej överstiger 100°C. Huruvida problem på sikt kommer att uppstå kan endast klarläggas genom fortsatta undersökningar.

3.4.2 Blockfyllda bergrum jämfört med andra lagringsmetoder

En viktig parameter för bedömning av riskerna för vattenkemiska problem i ett hetvattenlager i bergrum är förhållandet mellan vattenvolym och exponerad bergyta. Denna parameter varierar betydligt mellan olika lagertyper och förhållandena är relativt ogynnsamma för ett blockfyllt bergrum, vilket illustreras av följande räkneexempel.

I ett öppet vattenfyllt bergrum med längden 300 m, bredden 20 m och höjden 90 m (volymen 540 000 m³) blir förhållandet vattenvolym/bergyta ca 10 m³/m².

I ett blockfyllt bergrum tillkommer stenblockens yta som med stenblock med största sidlängden 0,5-0,7 m blir ca 10 m²/m³ lagervolym. Samtidigt minskar vattenvolymen med 60 %. Förhållandet vattenvolym/bergyta blir då endast ca 0,04 m³/m². Den exponerade bergytan per volymsenhet vatten är således 250 gånger större än för ett öppet bergrum. Om stenstorleken minskar ökade den exponerade ytan snabbt.

I ett sk borrhållager, se Emmelin m fl (1983), med hål borrhåll från tunnelgallerier blir förhållandet vattenvolym/bergyta ca 1 m³/m² (inklusive tunn-larnas vattenvolym).

Jämförelsen visar att av de tre typer av säsongsvärme-lager i berg som f n studeras så är det blockfyllda bergrummet klart ogynnsammast ur vattenkemisk synpunkt. Huruvida detta är en väsentlig nackdel kan dock ej avgöras på basis av nu tillgängliga kunskaper och erfarenheter.

3.5 Planerings- och anläggningsaspekter

3.5.1 Förutsättningar

Den ursprungliga tanken med föreliggande projekt var att speciellt studera möjligheterna att till låg kostnad anlägga en blockfylld grop. Den studerade anläggningstekniken är dock tillämpbar för såväl bergrum som gropar och val av anläggningstyp bestäms därför av andra aspekter.

Ett säsongslager måste vara mycket stort, storleken 1 Mm³, för att ekonomin ska bli rimlig, se avsnitt 3.6. Ett sådant lager kommer att uppta en markyta på minst ca 10 000 m². Ett korttidslager, t ex för dygnsreglering kan möjligen göras relativt litet och behöver då en yta av endast i storleken 1 000 m².

3.5.2 Anläggningsaspekter

Anläggandet av en stor blockfylld grop innebär att en stor markyta helt tas i anspråk under byggnadstiden. Topografi, jorddjup och grundvattenförhållanden får stor betydelse för hur anläggningsarbetet måste genomföras och för kostnaderna. Om värme ska lagras vid hög temperatur, nära 100°C, ställs stora krav på material och utförande vid återställandet av markytan för att värmeförlusterna ej ska bli för stora och för att marken senare ska kunna användas för det valda ändamålet. Lagring vid temperaturer över 100°C bli knappast möjlig.

Om man i stället med samma teknik anlägger ett berg- rum på större djup erhålls ett värmelager med bättre termiska egenskaper. Vid i övrigt lika geometri måste lagret sänkas, varför tillfartstunnel och stigorter måste göras längre. Några särskilda arrangemang för att säkerställa takets stabilitet bedöms ej behövas. Vid behov kan stabilisering ske genom att bergrummets översta del fylls med massor till en nivå en bit upp i stigschaktet ovanför. Istället kan i princip alla arbeten i markplanet undvikas. Ur anläggningssynpunkt har bergrumsalternativet troligen enbart fördelar.

Vid de tidigare föreslagna anläggningsmetoderna, Bogdanoff (1980), ersätter gropalternativet omfattande anläggningsarbeten i bergrummets översta del, i första hand gallerier med stor spännvidd och höga krav på stabilitet. Lönsamhetsbedömningen innefattar därmed ett val där markarbetena ska ställas mot dessa bergarbeten.

3.5.3 Markanvändning

Om värmelagret utformas som ett berg- rum påverkas markytan i mycket liten utsträckning både under anläggning och drift. Den huvudsakliga påverkan är en avsänkning av grundvattennivån ovanför själva lagervolymen under anläggningstiden.

Om lagret utformas som en grop kan marken ej användas för andra ändamål under anläggningsskedet. Sedan gropen brutits ut måste markprofilen utformas med en sådan bärighet att marken kan användas för avsett ändamål. Den värmeisolerande förmågan måste anpassas till verksamheten på markytan och vara så stor att värmeläckaget från lagret blir acceptabelt ur lagrets synpunkt. I det följande diskuteras förutsättningarna för att skapa ett vegetationstäck på markytan. Det kan noteras att erfarenheterna av odling på varm mark i huvudsak är begränsade till takterrasser och liknande artificiella förhållanden.

3.5.4 Grönska på värmelager

De största problemen med att anlägga grönska på värmelager gäller situationen vintertid. Nedanstående sammanställning redovisar först inverkan faktorer och ger slutligen förslag till möjlig utformning av vegetation och markkonstruktion.

De viktigaste faktorerna som påverkar utformningen är:

- Jordtemperatur
- Lufttemperatur
- Jordfuktighet
- Belysning
- Slitage

Jordtemperatur

Temperaturen i jorden bestäms av det värmeläckage som sker underifrån. Detta beror på temperaturskillnad mellan värmelager och lufttemperatur, samt på markens isolerande förmåga.

För att förhindra alltför höga jordtemperaturer kan markens isolerande förmåga under rotzonen ökas t ex med hjälp av ett tjockare jordlager eller med en särskild tilläggsisolering.

Lufttemperatur

Lufttemperaturen är i första hand beroende av om ytan är innesluten i en byggnad eller ligger i fria luften. I det förra fallet beror temperaturen på bl a markens yttemperatur och byggnadens isolerande förmåga, i det senare är den naturligtvis lika med utetemperaturen. I båda fallen kan räknas med en viss temperaturgradient närmast marken, vilket kan ha betydelse för de känsliga skrothalsarna i en gräsmatta. Temperaturgradienten blir större i en inbyggd hall där vindpåverkan saknas.

Jordfuktighet

I en situation där lufttemperaturen är låg och där jordtemperaturen betydligt överstiger lufttemperaturen är det särskilt viktigt att markens fuktighet upprätthålls.

Möjligheterna att uppfylla detta beror på bl a bevattningsmetod och jordens vattenhållande förmåga. Med hänsyn till det senare måste jordlagret ha tillräcklig tjocklek (beror på typ av växtlighet) och bestå av material som är dränerat samtidigt som det har god vattenhållande förmåga.

Belysning

De största ljusproblemen inträffar vintertid när dagsljuset är som sparsammast. Detta kan vara ett problem för att bibehålla grön växtlighet. I det fall ytan byggs in måste man se till att tillräckliga dagsljusinsläpp finns. Annars fordras energikrävande tilläggsbelysning.

Slitage

Ytans funktion bestämmer vilket slitage växtligheten kommer att utsättas för. Detta kan vara en starkt begränsande faktor vid de i övrigt svåra betingelser växterna utsätts för.

Växter

Ett generellt krav vid valet av lämplig växtlighet måste vara att finna en sort som gynnas av de speciella förhållandena ovanpå värmelagret och som därför ger ytan särskild kvalitet. Rent allmänt kan sägas att den förändrade marktemperaturen kan ge betydligt ändrade växtbetingelser bl a genom påverkan på mikroorganismer. Förutsättningar för annan vegetation än de mest tåliga, t ex gräs, är därför svåra att förutsäga.

En måttlig markuppvärmning kan utnyttjas för att förlänga växtsäsongen hos flertalet växter. Det kan också öka överlevnadschanserna för arter med känsliga rötter. Risk finns emellertid för skador på växtdelar över mark. Viss markvärme ger också tidigare blomning hos t ex lökväxter. De flesta vedartade växter kräver en viloperiod. Lövfällande växter måste således få en kallare period under året. För städse gröna växter kan de förändrade temperaturförhållandena i viss mån förbättra växtbetingelserna.

Gräs tål normalt vintertemperaturer i luften med en markvärme uppåt +10°. Såsom tidigare nämnts sker en viss uppvärmning av de marknära luftskikten, vilket kan vara viktigt för rothalsarna. Detta förhållande tillsammans med risken för torkskador gör att vindskydd bör tillgodose vid utomhusanläggning-

ar. Liksom för all sorts växtlighet bör eventuella variationer i jordtemperaturen ej pendla kring nollstrecket.

För att hålla gräset fräscht bör temperaturen hållas över +8°C, under vilken temperatur grässets tillväxt avstannar.

En gräsyta som utsätts för slitage - och klippning - bör ej befinna sig i en lufttemperatur understigande ±0°C. Vid den temperaturen fryser bladspetsarna och missfärgar gräset, förutom att det blir känsligare för trampslitage.

Tänkbar uppbyggnad av markprofilen

Matjordslagret dimensioneras med hänsyn till typ av växtlighet, vattenhållande förmåga och värmeisolerande förmåga. Under jordlagret läggs en vattengenomsläpplig fiberduk, som hindrar jord att rinna ner i underliggande lager.

I mån av behov läggs en vattentålig markisolering under fiberduken.

Eftersom viss övervattning av matjorden kan förekomma måste genomsilningsvatten tas omhand. Detta kan ske med hjälp av en vattentät duk som dräneras åt sidorna. (I det fall överskottsvärme skall ventileras bort kan ventilationsluft få passera i ett krosslager över det vattentäta skiktet.) Under detta skikt ligger värmelagret täckt med sin huvudisolering, som normalt troligen består av ett jordlager ner till grundvattennivån. Jorden läggs på värmelagrets avtätade överyta som ligger i nivå med grundvattenytan. En möjlig uppbyggnad av markprofilen visas i Figur 3.4.

3.5.5 Slutsatser

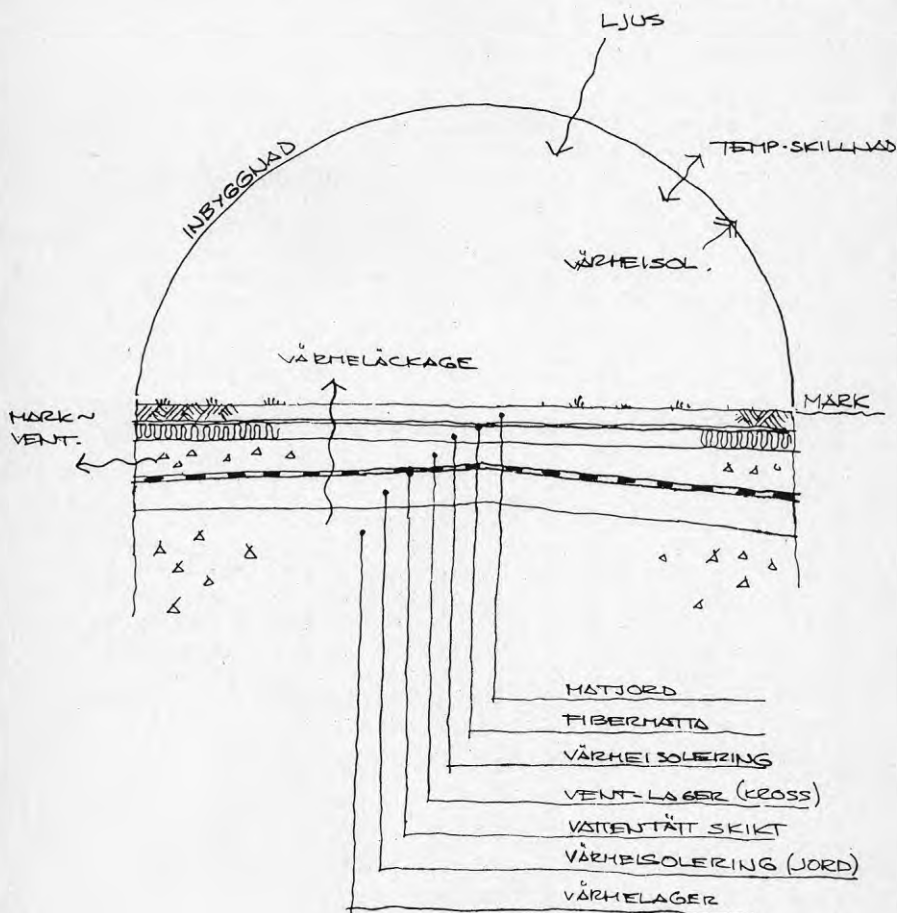
Vid val av utformning av ett värmelager som en blockfyllt grop eller ett blockfyllt bergrum förefaller det som ett bergrum är att föredra ur de flesta synpunkter, såväl tekniskt som planeringsmässigt och ekonomiskt. En grop skulle väljas först om en utbrytningsmetod för denna kunde tas fram som radikalt sänker kostnaden för själva lagervolymen. Kostnaden måste bli så låg att totalkostnaden för anläggningen trots de betydande merkostnaderna för markarbeten blir lägre än för bergrummet.

3.6 Ekonomi

I denna utredning, liksom i tidigare utredningar, har inget framkommit som antyder att kostnaden för ett värmelager i form av ett blockfyllt utrymme i berggrunden skulle kunna åstadkommas till en kostnad som understiger ca 60 kr/m³ för lager från ca 1 Mm³ och uppåt. För små lager, 100 000-500 000 m³,

blir de specifika kostnaderna väsentligt högre p g a förhållandevis stora fasta kostnader för etablering och tillfartstunnlar.

Vid utarbetandet av en metod för att bygga en berganläggning av det aktuella slaget bör strävan vara att söka en byggprocess med få, enkla moment som upprepas ett stort antal gånger. Ekonomin styrs inte bara av hur vissa moment görs utan i hög grad av i vad mån krångel och därigenom minskad kapacitet undviks i alla led. Det är svårt att på basis av tillgänglig information analysera skillnaderna i angivna kostnader mellan tidigare utredningar och denna studie. Eventuellt kan kringkostnader och systemkostnader tidigare ha underskattats. Det kan



Figur 3.4 Möjlig uppbyggnad av markprofilen över värmelagret.

dock eventuellt vara möjligt att med en starkt industrialiserad byggprocess något sänka kostnaderna för uttag av själva lagervolymer jämfört med vad som hittills framkommit. Huruvida totalkostnaden för ett färdigt värmelager med intressant storlek signifikant kan sänkas är mera osäkert.

För att med kostnaden 60 kr/m³ för lagringsvolymer nå ner till den specifika lagringskostnad som är acceptabel för att göra värmelagring lönsam, se Kapitel 2, krävs, med hänsyn till lagringsförlusterna, ett temperatursving i lagret på ca 45-65°C i fjärrvärmesystem och 25-35°C i gruppcentraler. För ett lager som skall arbeta utan värmepump i ett fjärrvärmesystem, dvs med en lägsta temperatur av ca 55°C kommer således att krävas maxtemperaturer över 100°C.

För ett värmelager i en gruppcentral som kan arbeta vid lägre temperatur utan, eller med begränsat, stöd av värmepump blir temperaturkraven lägre.

Ett värmelager i form av ett blockfyllt bergrum för ett fjärrvärmesystem med temperatursvinget minst 50°C får en specifik nettovärmelagringskapacitet (exklusive förluster) på minst ca 40 kWh/m³. Ett lager med ekonomisk storlek, minst ca 1 Mm³ får således en nyttig lagringskapacitet av minst ca 40 GWh/år. Ett säsongsvärmelager av denna storlek kräver en storlek på hela fjärrvärmesystemet av minst 300-400 GWh/år. Ett lager för korttidslagring, som tål en högre specifik lagerkostnad kan möjligen minska till storleken 300 000 m³ med samma temperatursving vilket ger en kapacitet på 12 GWh. Ett lager som ska omsättas ca 4 ggr per år kan dock ej göras större än ungefär 1 % av systemets årsenergibehov som således måste vara i storleken 1 TWh/år.

För en gruppcentral där värmelagret skall tjäna som värmekälla för en värmepump krävs ett temperatursving av minst 30°C. Ett lager med 1 Mm³ lagervolym får då lagringskapaciteten 25 GWh och kan passa i ett system med årsenergibehovet minst 30 GWh/år. För lager med mindre volym stiger anläggningskostnaden och därmed kravet på temperatursving. Det är därför ej möjligt att till rimlig kostnad anlägga säsongsvärmelager i form av blockfyllda bergrum för gruppcentraler som har mindre värmebehov än ca 30 GWh/år.

Det skall slutligen noteras att ett antal osäkerheter föreligger vad beträffar anläggnings- och driftökonomi för ett blockfyllt bergrum som värmelager. Bland dessa kan främst nämnas:

- * anläggningstiden kan bli relativt lång p g a den långa tillfartstunneln, vilket kan medföra betydande räntekostnader

- * en viktig faktor för anläggningskostnaden är avsättningsmöjligheterna för utlastade bergmassor
- * åtgärder för att motverka skadliga sänkningar av grundvattentrycken runt anläggningen är svåra att värdera och har ej tagits med i kostnaderna enligt ovan
- * systemkostnaden har ej närmare kunnat analyseras inom ramen för detta arbete och kan vara högre än vad som förutsatts.

4 POTENTIAL FÖR BLOCKFYLLDA BERGRUM SOM VÄRME- LAGER I SVERIGE

4.1 Fjärrvärmesystem

Såsom framgått av avsnitt 3.6 kan säsongslagring av värme i blockfyllda gropar eller bergtrum bli aktuellt i fjärrvärmesystem med värmebehov större än ca 300 GWh/år och då till en omfattning motsvarande högst ca 15 % av det totala värmebehovet.

I Sverige finns, eller kommer att finnas, ca 25 st sådana fjärrvärmearläggningar. I många av dessa är dock värmeproduktionen redan ordnad på ett sådant sätt att utrymmet för värmelager med förutsatta kostnader är mycket litet. För basproduktion använder man redan kol, avloppsvärmepumpar, flis eller torv. Antalet anläggningar där industriell spillvärme eller sopförbränningsvärme finns tillgängligt i överskott på sommaren till låg kostnad kan vara 5-10 st. Potentialen för säsongsvärmelagring i nyanlagda blockfyllda gropar eller bergtrum i fjärrvärmesystem blir härigenom begränsad till ca 700 GWh/år, vilket torde vara ett tekniskt/ekonomiskt maximum.

Potentialen för korttidsvärmelagring i nyanlagda blockfyllda gropar eller bergtrum är begränsad till de ca 10 största fjärrvärmearläggningarna i landet vilket ger en total potential i landet på ca 100 GWh lagringskapacitet.

4.2 Gruppcentraler

Ett värmelager i form av blockfylld grop eller bergtrum för en gruppcentral måste för att nå rimliga energikostnader ges en kapacitet på minst ca 25 GWh och skulle kunna passa i gruppcentraler med värmebehov på minst ca 30 GWh/år, se avsnitt 3.6.

Enligt inventeringar gjorda i samband med BFRs utvärdering SOL-85 finns i Sverige ca 90 gruppcentraler med årsenergibehov större än ca 20 GWh/år (exkl industriella sektorn). Potentialen för säsongsvärmelager i blockfyllda gropar eller bergtrum för gruppcentraler kan härav antas vara ca 10 anläggningar med en sammanlagd lagringskapacitet på ca 300 GWh.

4.3 Slutsatser och rekommendationer

De studier som hittills utförts av blockfyllda gropar eller bergtrum som värmelager tar som utgångspunkt anläggningsteknik som kan ge acceptabla kostnader för mycket stora anläggningar, storleken 1 Mm³ och uppåt. Ovanstående redovisning visar att den maximala tekniska och ekonomiska potentialen för sådana anläggningar i landet är storleken 20 anläggningar med en sammanlagd värmelagringskapacitet på högst 1 TWh.

Potentialen för tekniken skulle öka väsentligt om betydligt mindre värmelager kunde byggas till låga kostnader. Ett fortsatt arbete inom detta område borde därför inriktas mot att utveckla en anläggningsteknik som kan ge lager på 200 000-400 000 m³ till en kostnad av 50-60 kr/m³ inklusive anslutningar.

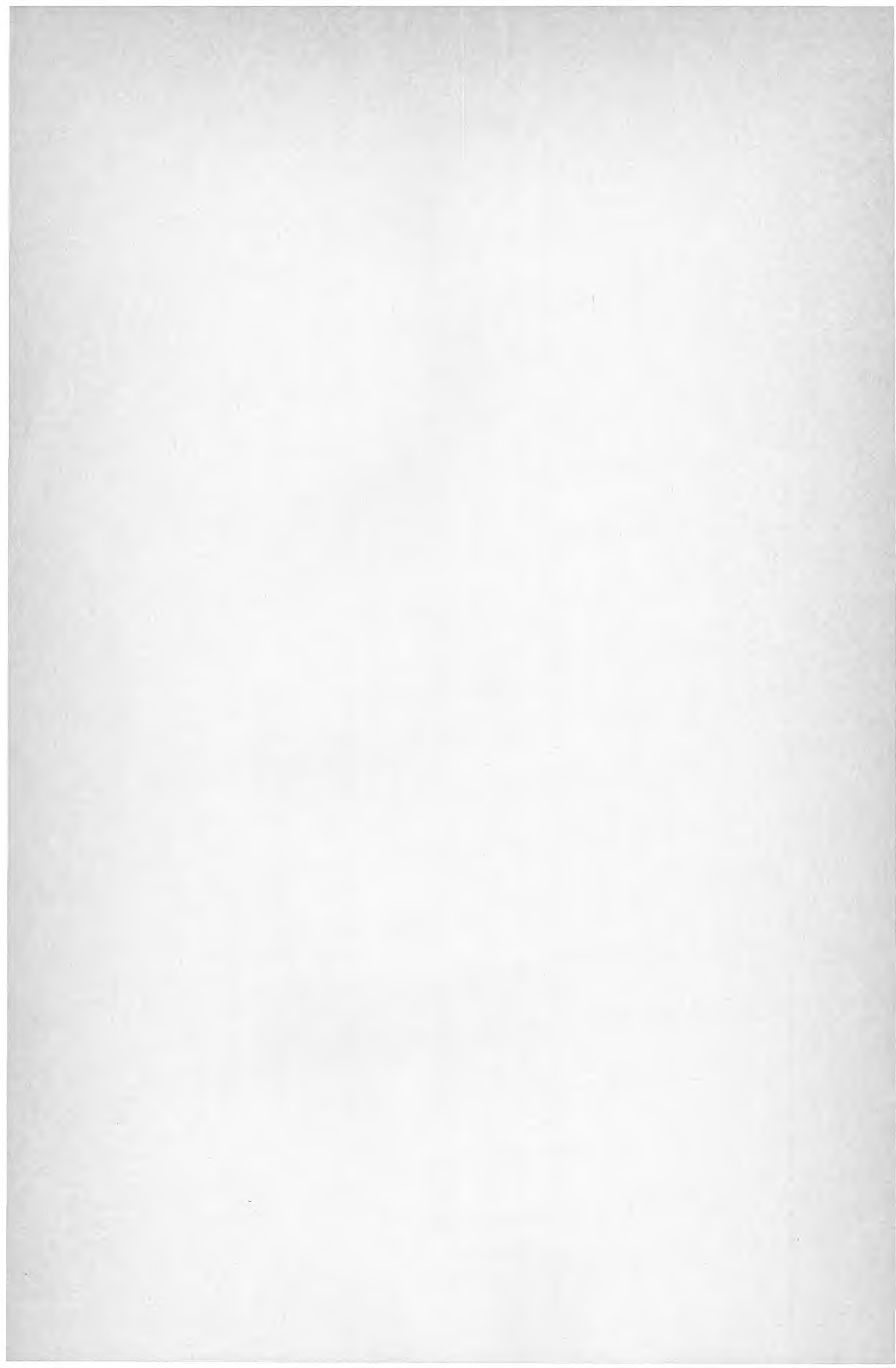
För många tillämpningar har troligtvis temperaturverkningsgraden hos lagret större betydelse för lagrets ekonomi än energiverkningsgraden. Innan ytterligare arbete läggs läggs med sikte mot stora värmelager av den aktuella typen vore det värdefullt med praktiska försök i modellskala som något kunde verifiera teoretiska beräkningar av lagertypens termiska egenskaper.

Bogdanoff 1980, Blockfyllda bergrum för långtidslagring av värme, Lägesrapport för NE-projekt 2060571.

Claesson, J, m fl 1983, Markvärme, en handbok om termiska analyser, Lunds Tekniska Högskola.

Claesson, T, 1984, Reaktionen mellan hett vatten och sidoberg vid energilagring i oinklädda bergrum, Geobygg nr 1-2, 1984.

Emmelin, Hydén, Johnsson: Värmelager i fjärrvärmenät; Metodstudie med tillämpning i Borlänge, BFR-projekt 830344-6.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830552-1
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB AB,
Stockholm.**

R11: 1985

ISBN 91-540-4324-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705011

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirka pris: 25 kr exkl moms