



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

R194:1984

**Säsongslagring av hög-
tempererat vatten i Visingsö—
Sandstenen**

Jönköping

Gunnar Gustafson mfl

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Sex

K
A/14

Byggeforskningsrådet

R194:1984

SÄSONGSLAGRING AV HÖGTEMPERERAT
VATTEN I VISINGSÖ-SANDSTENEN

Jönköping

Peter Englöv
Gunnar Gustafson
Ulf linder
Håkan Stigmarker

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811474-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till VIAK AB, Jönköping

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

R194:1984

ISBN 91-540-4295-X
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

SÄSONGLAGRING AV HÖGTEMPERERAT VATTEN I VISINGSÖ-
SANDSTENEN, JÖNKÖPING
FÖRSTUDIE

	SID
INNEHÅLL	
FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	3
BAKGRUND	5
PROJEKTIDE	6
GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	9
GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	13
GRUNDVATTENBESKAFFENHET	19
GEOTERMISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	21
BRUNNSKONFIGURATIONER	27
GEOTERMISK MODELL	32
GEOKEMISKA ASPEKTER	42
EKONOMISKA ASPEKTER	46
REFERENSER	47

FÖRORD

Ursprungligen skulle denna rapport hetat "Lagring av spillvärme från Munksjö pappersbruk i Visingsösandstenen". Under utredningsarbetets gång visade det sig dock att andra energislag kan vara tänkbara och möjligtvis också intressantare för lagring än spillvärme. Vidare visade det sig snart att om värmelagring i Visingsösandstenen ska vara ekonomiskt intressant bör lagringen helst ske vid temperaturer som ligger högre än de temperaturer som erhålles vid pappersbruket. Av dessa skäl har rubriceringen av projektet ändrats.

Denna förstudie har utförts av en arbetsgrupp bestående av följande personer: Peter Englov, Gunnar Gustafson, Ulf Linder och Håkan Stigmarker. De termohydrauliska beräkningarna har utförts av Johan Bennet och Johan Claesson vid Lunds Tekniska Högskola. De geokemiska studierna har utförts av Tommy Claesson vid Chalmers Tekniska Högskola. Bearbetning och sammanställning har utförts av Peter Englov. Projektledare har varit Gunnar Gustafson.

SAMMANFATTNING

I denna förstudie belyses möjligheterna att utnyttja sandstenar ingående i den s k Visingsöformationen som värmelager kopplat till fjärrvärmenätet i Jönköping.

Tanken bakom projektet är att sommartid lagra över-skottsvärme exempelvis från sopförbränning eller spillvärme och att utnyttja den lagrade energin vintertid som ersättning för olja. Mot bakgrund av hur varaktighetskurvan för energibehovet förväntas se ut 1989 bör uttag av energi ur lagret ske under drygt 1000 h vintertid medan inlagring kan ske under 2500 h på sommaren. För att ersätta maximal mängd olja i fjärrvärmenätet bör ca 20 GWh/år kunna utvinnas ur lagret.

För att klara värmeväxling mot fjärrvärmenätet krävs att temperaturen på uppumpat vatten bör ligga vid ca 90°C vid uttagets start. Det temperaturfall som kan utnyttjas uppgår till ca 20°C.

De angivna energimängderna, temperaturfallet och utnyttjningstiden för energilagret medför att uttagsflödet måste ligga i storleksordningen 900 m³/h (250 l/s).

I princip kan man tänka sig lagret uppbyggt av ett system av varma brunnar (ca 90°) belägna i centrum av en cylinder omgärdade av en krans av kallare brunnar (ca 70°). Alternativt kan lagret byggas upp som en kedja av brunnar med varmare i en inre brunnrad och kallare i två parallella rader på ömse sidor av den varmare raden. Den senare uppbyggnaden har praktiska fördelar medan förlusterna blir större än från det cylindriska lagret.

Funktionen av ett cylindriskt värmelager har studerats i en datormodell. Vid beräkningarna har förutsatts att akviferens mäktighet uppgår till 50 m och att den täcks av 50 m jordlager. Av de beräkningar som gjorts, kan bl a följande slutsatser dras:

1. Optimalt avstånd mellan centrum av värmelagret och kransen med kalla brunnar ligger vid 120-130 m.
2. Insvängningen av temperaturen sker förhållandevis snabbt. Temperaturverkningsgraden uppgår till ca 90 % under 5:e årscykeln.
3. Energiverkningsgraden för 5:e årscykeln uppgår till ca 60 %.

Möjligheten finns att höja verkningsgraden hos lagret genom att från början lagra in större värmemängd än vad som förutsatts i beräkningarna. En högre verkningsgrad erhålles också om ett större temperaturspann kan utnyttjas.

Benägenheten för utlakning från sandstenen har studerats i begränsad omfattning i laboratorieförsök. Försöken visar att utlakningen är förhållandevis liten vid aktuella temperaturer. Ett förhållande som särskilt måste beaktas är den utfällning av kalciumkarbonater som kan inträffa vid temperaturökningen i akviferen vid den första inlagringen av varmt vatten.

För att kunna förverkliga värmelagringssystemet måste förutsättningarna för detta detaljstuderas med hänsyn till dels värmebehov, dels värmeproduktion. Vidare måste de praktiska förutsättningarna för lagring av varmt vatten i sandstensformationen mer ingående undersökas. Lämpligen sker detta genom praktiska fältförsök med lagring av varmt vatten. Härvid bör särskilt de hydrauliska och geokemiska konsekvenserna noggrant studeras.

BAKGRUND

I flera sammanhang har de gynnsamma egenskaperna hos Visingsösandstenen för värmelagring framhållits. I en teoretisk studie över värmelagring i djupa slutna grundvattenmagasin, utförd av Andersson och Gustafson (1980), har de termohydrauliska förutsättningarna belysts för Visingsöformationen inom Jönköpingsområdet. Som jämförelse har även ett par andra större akviferer studerats. Några av de faktorer som gör Visingsösandstenen lämpad som värmelager är mäktigheten hos formationen, djupet ned till densamma samt gynnsam permeabilitet.

Visingsösandstenen är intressant också ur en annan aspekt som värmelager, nämligen dess närhet till stora värmeförbrukare. Större delen av bebyggelsen inom Jönköping-Huskvarna är belägen på denna formation.

PROJEKTIDE

I ett fjärrvärmenät förekommer stora variationer i värmebehov under året. Effektbehovet sommartid är normalt inte mer än drygt 10 % av effektbehovet vintertid. På grund härav är tillgången ofta god på olika billiga värmekällor sommartid. Det kan exempelvis gälla värme från sopförbränning, solvärme och spillvärme. Möjligheter att lagra sådan spillvärme är därför synnerligen intressant.

Som nämnts inledningsvis finns goda förutsättningar för värmelagring i den sk Visingsöformationen under Jönköping. Vidare pågår sedan 1980 en stor utbyggnad av fjärrvärmenät i Jönköping. Här finns således en intressant kombination av värmelager och värmesänka.

Fjärrvärmenät

År 1989 bedöms värmeeffektbehovet i Jönköpings fjärrvärmenät uppgå till ca 100 MW enligt de prognoser som gäller för närvarande. Nätet är i huvudsak av konventionell typ. Till skillnad från många andra fjärrvärmenät dimensionerar man värmeväxlarna för en maximal framledningstemperatur på 100°C. Annars är 120°C normalt vid befintlig bebyggelse. Dessa dimensioneringsförutsättningar ger sålunda möjlighet att använda en relativt sett låg framledningstemperatur i det aktuella fjärrvärmenätet.

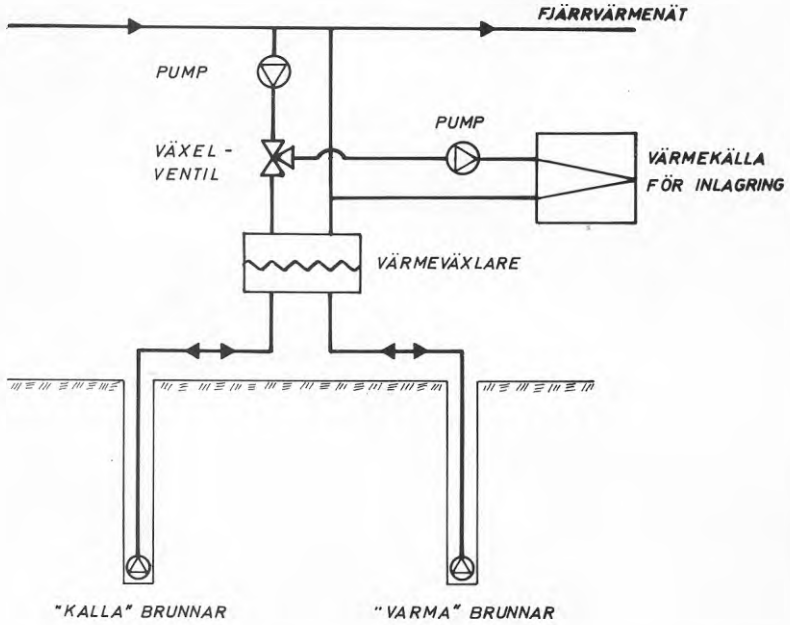
För att värmelagring skall ge maximal ekonomisk vinst i fjärrvärmenätet bör den inlagrade värmen användas för att ersätta olja. Mot bakgrund av hur varaktighetskurvan för Jönköpings fjärrvärmenät förväntas se ut 1989 innebär detta att uttag ur lagret skall ske under drygt 1000 h vintertid medan inlagring kan ske under 2500 h på sommaren. Detta ställer vidare krav på att lagrets temperatur, när uttag börjar, är tillräckligt hög. Studier av bedömda returtemperaturer i

nätet och andra värmeproducerande enheters temperaturkrav visar att lagrets temperatur bör ligga på ca 90°C vid uttagets start. Det temperaturfall som kan utnyttjas uppgår till ca 20°C . Härvid bedöms tillräckligt god funktion och tillräckliga marginaler för värmeväxlarytor erhållas.

Energimängder och systemlösning

För att ersätta maximal mängd olja i fjärrvärmenätet bör man kunna utvinna ca 20 GWh/år energi ur lagret. Sommartid kan energi för inlagring åstadkommas på olika sätt. En intressant möjlighet är att utnyttja sopförbränning som planeras i Jönköping. En annan möjlighet kan exempelvis vara spillvärme från pappersbruket, Munksjö AB, som är beläget förhållandevis centralt i Jönköpings tätort.

De nämnda energimängderna, temperaturfallet och utnyttjningstiden för energilagret, innebär att uttagsflödet måste ligga i storleksordningen $900 \text{ m}^3/\text{h}$ (250 l/s). Systemlösningen illustreras schematiskt i figur 1.



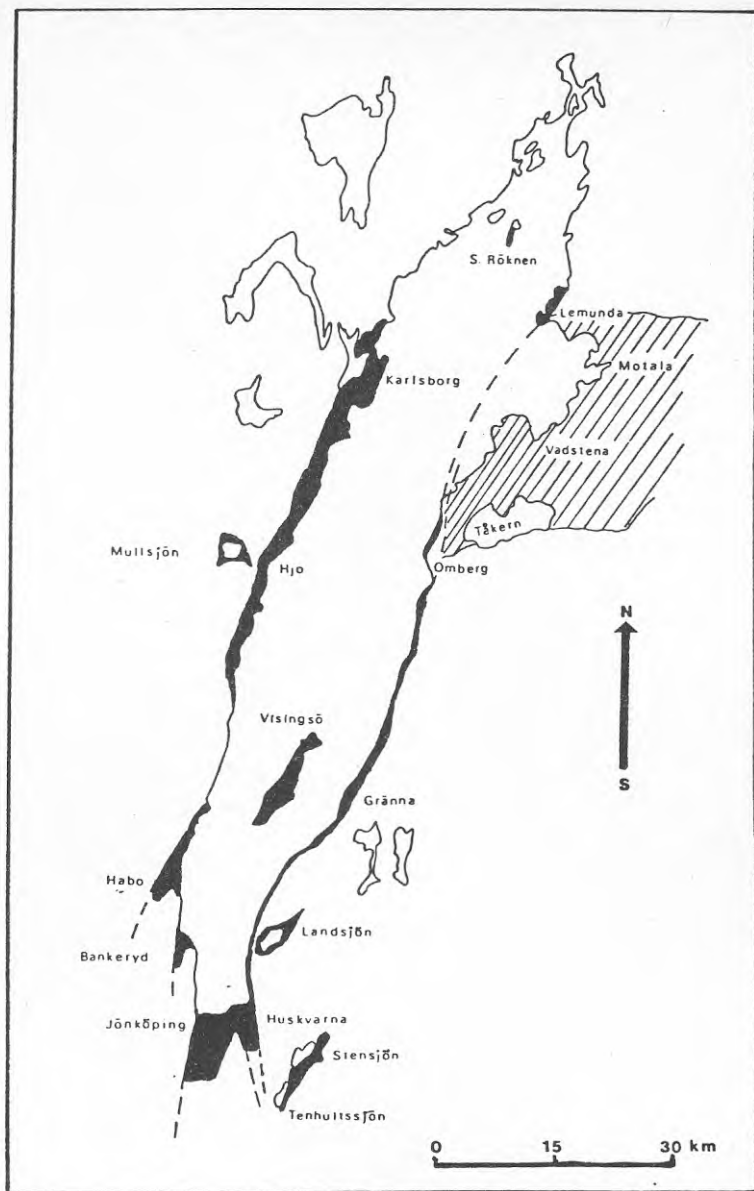
Figur 1 Systemlösning för energilagring i grundvattenmagasin

GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Berggrund

Berggrunden inom Vätterns tillrinningsområde består i huvudsak av urberg samt de lokalt på detta vilande yngre serierna: Almesåkraserien, Visingsöformationen och kambrosilurbergarterna på Vadstenaslätten.

Visingsöformationen utgörs av en sedimentär lagerserie, vars utbredning framgår av figur 2. Mellersta och södra delen av Vätternsänkans sedimentära lagerserie är mest utforskade. Gravimetriska mätningar antyder här en största mäktighet på mellan 300 och 400 m. Sänkans östra begränsning utgörs av en serie förkastningar, som markeras genom sjöns branta öst-sida. I väster finns inte motsvarande förkastningszon utan sänkans gräns utgörs sannolikt av flera mindre förkastningar.



Figur 2 Visingsösandstenens utbredning inom Vätternsänkan. Det streckade området markerar Östergötlands kambro-silurberggrund. Efter Vidal (1974)

Visingsöformationen består underifrån av gul sandsten, fältspatförande arkoser med röda sandstenar och överst av en mäktig skifferserie med växellagrade mostenar. Gravimetriska och seismiska undersökningar visar en mäktighet på formationen av uppskattningsvis 1000-2000 m i höjd med Visingsö. Största djupet uppträder längs Vätterns östra djupränna.

I Jönköping finns ett antal borrhningar utförda i Visingsöformationen, varav några till urberg. Mäktigheten på Visingsöformationen ökar åt öster från 31 m vid Viktor Rydbergmuséet till mer än 229 m vid stadsdelen Rosenlund. Sandstenslagret blottas på några få ställen utefter förkastningszonerna, bl a nedanför Huskvarnafallet och i Dunkehallaåns dalgång.

Inom Rosenlund består sandstensformationen underifrån av konglomerat och arkoser och överst av olikartade sandstenar. Skifferpacken saknas här, liksom inom hela Jönköpingsområdet.

Kvartära avlagringar

På de sedimentära bergarterna eller direkt på urberget återfinns glaciala bildningar härrörande från den senaste istiden. De kan uppdelas i moränbildningar och sediment av varierande ursprung och sammansättning.

Moränbildningarna är äldst och utgör bottendelarna i de kvartära lagren. Moränen har i allmänhet en finkornig sammansättning från lerig siltig till sandig siltig. Sedimenten består i allmänhet av en på moränen vilande serie av varviga sediment bestående av ler, silt och sand. Sand utgör den i ytan dominerande jordarten inom Jönköpings-Huskvarnaområdet. Andelen finkorniga sediment (ler och silt) förefaller i allmänhet öka mot djupet.

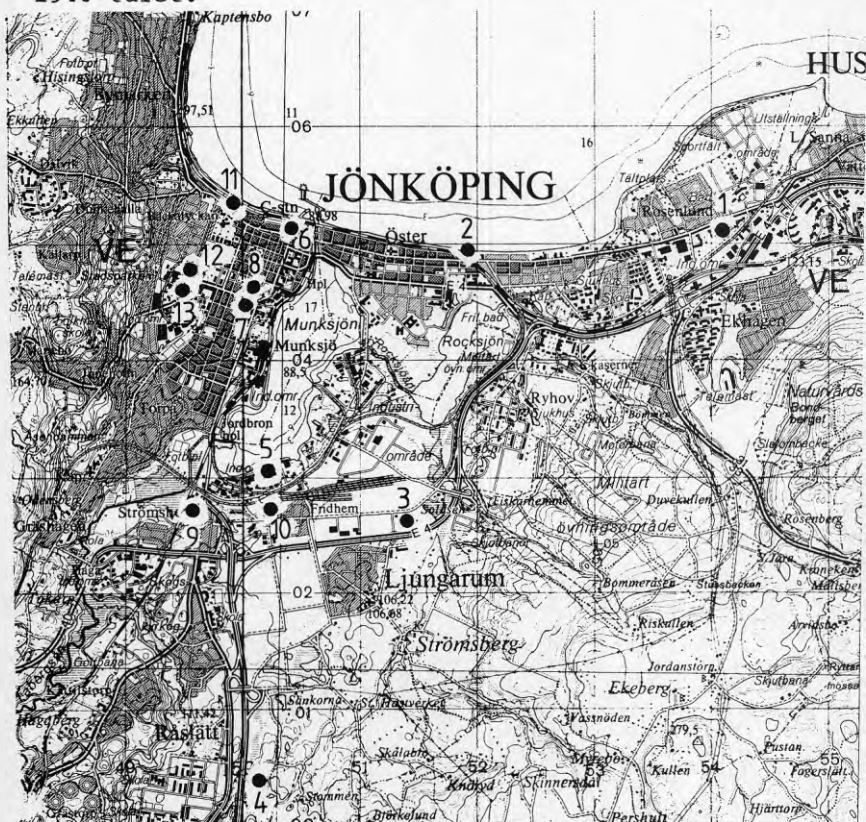
Den största uppmätta jordmaktigheten i Jönköpingsområdet uppgår till 196 m strax norr om Rocksjön. Maktigheten avtar åt såväl väster som öster. Utefter både den östra och den västra förkastningszonen förekommer berg (främst urberg) i dagen.

GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Befintliga brunnar

Brunnar i Visingsöseriens sandstenar har sedan lång tid utnyttjats för vattenförsörjning i orter utefter Vätternsänkan. Tidigare var även Jönköpings och Huskvarnas vattenförsörjning delvis baserad på brunnar i Visingsöformationen.

En brunnsinventering inom Jönköpingsområdet har utförts av VIAK AB. Tretton brunnar i sandstenslagret har påträffats, vilka i huvudsak används eller har använts för industrins behov, figur 3. Borrningsdjupen varierar mellan 37 och 301 m. Flertalet brunnar är utförda från slutet av 1930-talet och under 1940-talet.



Figur 3 Brunnar i sandstenen i Jönköpingsområdet, skala 1:50 000

Tabell 1 Inventerade brunnar

Brunn	Ägare	År	Diam (mm)	Djup (m)	Kapacitet (m ³ /h)	Avsänkning (m)
1	Riksost	51	150	272 43 ss	9,4	52
2	Byggnadskont	39	225 86	301 196 ss	33,0	27
3	Rosell plast AB	68	150	160 113 ss	12,0	22
4	Arla	79	300	146 113 ss	30,0	33
5	Jönk läns slakt- förening	49	150	124,5 44 ss 104 ub	Riklig	
6	Televerket		150	151 56 ss	20,0	
7	Jönk Mejeri	44	150	111 40 ss	21,6	18
8	Västra Klinikerna	54	200 150	150 62 ss	45,0	50
9	Byggnadskont Lyckobrunnen	38	150	211 80 sε	50,0	25
10	Byggnadskont Västerbrunnen	41	225 150	232 100 ss	20,0	8,5
11	Jönk Bryggeri	38	150	97 54 ss 85 ub	15,0	12
12	Västra tänd- sticksfabriken	39	220	37 11 ss	6,0	29
13	Västra tänd- sticksfabriken	39	200	71,5 17 ss	15,0	13

Anm: ss = sandsten ub = urberg

Samtliga brunnar är försedda med foderrör i de kvar-
tära avlagringarna ner till sandstenen. Brunnarnas
konstruktion medför att grundvatten uppumpas främst
från sandstenen. Ett vertikalt läckage från jordlager
och urberg uppstår dock vid uttag. Läckagets storlek
är beroende av uttagskapacitet.

Sandstenens hydrauliska egenskaper

Uttagsmöjligheterna i ett grundvattenmagasin bestäms bl a av dess hydrauliska egenskaper, dvs dess transmissivitet, som är ett mått på genomsläppligheten och dess magasinskoefficient, som är ett mått på den magasiniserande förmågan. Vid stationära förhållanden styrs avsänkningen i magasinet av transmissiviteten. Vid förändring i uttagets storlek påverkas avsänkningen dessutom av magasinskoefficienten.

Genom brunnsinventeringen har uppgifter om brunnarnas kapaciteter erhållits. Dessa presenteras i tabell 2 som specifika kapaciteter, dvs kapacitet i förhållande till den uppmätta avsänkningen (Q/s_w).

Med utgångspunkt från den specifika kapaciteten kan transmissiviteten överslagsmässigt beräknas med hjälp av Thiems brunnsekvation, som gäller för stationära förhållanden:

$$s_w = \frac{Q}{2 \pi T} \ln \frac{R}{r_w}$$

där s_w = avsänkning i uttagsbrunnen

Q = uttag (m^3/s)

T = transmissivitet m^2/s

R = influensområdets radie (m)

r_w = brunnsradie (m)

Termen $\ln \frac{R}{r_w}$ förändras i förhållandevis liten grad vid förändringar i R eller r_w . Vid rimliga värden på R och r_w uppgår termen till 7-10. För överslagsberäkningar av transmissiviteten, T , med utgångspunkt från specifika kapaciteten (Q/s_w) kan därför följande samband användas:

$$T = 1,4 Q/s_w$$

Sandstenens permeabilitet erhålles genom att transmissiviteten divideras med sandstenslagrets mäktighet.

I tabell 2 redovisas brunnarnas specifika kapacitet samt transmissivitet och permeabilitet i magasinet invid brunnarna.

Tabell 2 Specifik kapacitet, transmissivitet samt permeabilitet för brunnar i Jönköpingsområdet

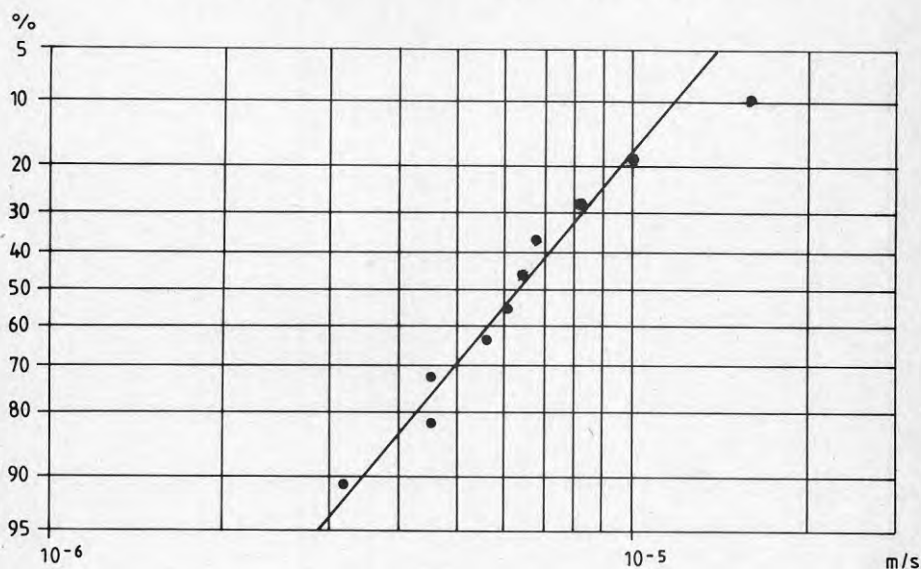
Brunn	Djup d (m)	Sandsten b (m)	Specifik kapacitet $\frac{Q}{s}$ ($\cdot 10^{-4}$ m ² /s)	Transmis- sivitet T ($\cdot 10^{-4}$ m ² /s)	Permea- bilitet K ($\cdot 10^{-6}$ m/s)
1	272	229	0,5	0,7	0,3
2	301	105	3,4	4,8	4,5
3	160	47	1,5	2,1	4,5
4	146	33	2,5	3,5	10,6
5	124,5	60			
6	151	95			
7	111	71	3,3	4,6	6,5
8	150	62	2,5	3,5	5,6
9	211,1	131	5,6	7,8	6,0
10	232	132	6,5	9,2	6,9
11	97	31	3,5	4,9	15,8
12	37	26	0,6	0,8	3,2
13	71,5	54,5	3,2	4,5	8,2

Som framgår av tabellen varierar transmissiviteten med sandstenens mäktighet medan dess permeabilitet synes vara relativt konstant. Genom den approximativa beräkningsmetoden blir överensstämmelsen med provpumpningsdata dock inte helt perfekt.

Brunn 2 och 8 har provpumpats i annat sammanhang, varvid en noggrann hydraulisk analys kunnat utföras. Resultatet av dessa provpumpningar anger en transmissivitet av $9,3 \times 10^{-4}$ respektive 1×10^{-4} m²/s.

I det ena fallet ligger den verkliga transmissiviteten således högre och i det andra fallet lägre än vad som beräknats med utgångspunkt från brunnsinventeringen. Storleksordningen är emellertid riktig och värdena kan därför användas för överslagsberäkningar.

De beräknade permeabilitetsvärdena har plottats i logaritmisk skala på ett normalfördelningsdiagram, figur 4. Av figuren framgår att medelvärdet K_{50} uppgår till $6,3 \times 10^{-6}$ m/s. Vidare kan exempelvis utläsas att permeabiliteten till 80 % sannolikhet uppgår till minst $4,3 \times 10^{-6}$ m/s. Värdena ligger således tämligen väl samlade kring medelvärdet.



Figur 4 Statistisk bearbetning av beräknade permeabilitetsvärden

Vid provpumpningarna av brunnarna 2 och 8 kunde ävenledes magasinskoefficienten bestämmas. Värdet av denna uppgick till 3×10^{-5} respektive 1×10^{-5} . Avsänkningsförloppet i brunn 8 indikerade dessutom ett läckagetillskott från jordlagren. Läckagekoefficienten har beräknats till $2 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$.

Vattenomsättning i sandstenen

Genom data som härrör från äldre grundvattenundersökningar (1930-talet) har grundvattnets naturliga gradient i sandstenen beräknats till ca 1 o/oo. Detta värde hänför sig således till en tidpunkt då några större grundvattenuttag inte ägde rum. Med en genomsnittlig transmissivitet av $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ger denna gradient ett flöde av storleksordningen 0,5 l/s per km bredd av den grundvattenförande formationen.

Under naturliga (opåverkade) förhållanden är grundvattenflödet riktat i stort sett radiellt ut mot Vättern där ett utflöde äger rum. Utläckage äger dessutom rum i anslutning till Munksjön och Rocksjön samt utefter delar av vattendragen som rinner fram i de lägst belägna partierna av Jönköpings-Huskvarnaområdet.

Inflöde av grundvatten till sandstenen torde under naturliga förhållanden endast ske i randområdena, dvs i en zon närmast kontakten med urberget.

Det framräknade värdet på flödet i sandstenen visar att endast en bråkdel av den totala vattenomsättningen under mark sker i sandstenen vid opåverkade förhållanden. Detta är i och för sig inget överraskande då sandstenen överlagras av grundvattenmagasin (i jordlagren) av ofta stor mäktighet och hög genomsläplighet.

Vid grundvattenuttag förändras vattenomsättningen i sandstenen på ett radikalt sätt. Genom den trycksänkning som sker i grundvattenmagasinet till följd av uttaget kommer ett läckage av vatten från jordlagren att induceras. Influensområdets storlek bestämmes av storleken av det läckage som induceras genom trycksänkningen.

GRUNDVATTENBESKAFFENHET

Grundvattnets beskaffenhet har undersökts i olika sammanhang. Från de kommunala brunnarna, Lyckobrunnen (nr 9) och Västerbrunnen (nr 10), föreligger uppgifter från 1940-talet. Brunnen vid Västra klinikerna (nr 8) och vid Liljeholmsskolan (nr 2) har undersökts vid senare tillfällen.

Vattenanalyser från de fyra nämnda brunnarna redovisas i tabell 3. I tabellen har analysresultaten uppställts i ordning efter brunnarnas djup.

Tabell 3 Kemiska vattenanalyser från brunn 2, 8, 9 och 10

Brunn		8	9	10	2
Djup m		150	211	232	301
Datum		791119	440311	440316	791207
pH		7,8	7,1	7,0	7,0
Ledningsförmåga x 10 ⁶	Ohm ⁻¹ cm ⁻¹	320			700
Permanganatförbrukning	mg/l KMnO ₄	1	3	3	4
Järn, Fe	mg/l	0,05	0,48	0,25	4,4
Mangan, Mn	mg/l	0,24	0,50	0,38	0,9
Ammonium, NH ₄	mg/l	0,13	0,1	0,1	0,05
Nitrit, NO ₂	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrat, NO ₃	mg/l	<0,10	<1	<1	<1
Sulfat, SO ₄	mg/l		26	34	210
Bikarbonat, HCO ₃	mg/l	180	175	198	260
Klorid, Cl		6	6	6	13
Calcium, Ca	mg/l	43	51	58	
Magnesium, Mg	mg/l	5,9	8	8,5	
Totalhårdhet	°dH	7,4	9,0	10,1	17

Brunnarna uppvisar vissa likheter i kvalitetsavseende. Å andra sidan förekommer avvikelser som sannolikt kan sättas i samband med brunnarnas djup och variationer i berggrunden.

Vattnet är neutralt till svagt basiskt. Det högsta pH-värdet (7,8) har uppmätts i den grundaste brunnen. Vattnet är relativt starkt buffrat och med en tendens till ökning av buffertförmågan (alkaliniteten) mot djupet. Vattnets hårdhet ökar mycket markant från grundare till djupare brunnar (från 7,4 till 17^odH).

Salthalten (vattnets ledningsförmåga) ökar mot djupet. Halten organiskt material (uttryckt som permanganatförbrukning) är genomgående låg. Den högre permanganatförbrukningen i de djupaste brunnarna kan möjligtvis sättas i samband med en större andel oorganisk substans i reducerad form (t ex tvåvärt järn).

Järn och mangan förekommer i samtliga brunnar, variationerna är dock stora. De klart lägsta järn- och manganhalterna har noterats i den grundaste brunnen och de klart högsta i den djupaste brunnen.

Kloridhalterna är låga i samtliga brunnar. Sulfathalten varierar däremot avsevärt. Den djupaste brunnen håller mycket hög sulfathalt (210 mg/l).

Kvävehalterna är generellt sett mycket låga. Kvävet förekommer som ammonium.

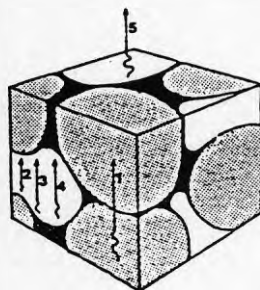
GEOTERMISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

Möjligheterna att lagra större energimängder i Visingsö-sandstenen bestäms förutom av hydrauliska egenskaper även av de rent termiska förutsättningarna. Av grundläggande betydelse för de termiska förutsättningarna är:

- värmeledningsförmåga
- värmelagringskapacitet
- naturligt grundvattenflöde

Värmeledningsförmåga

För att ge ett mått på ett materials värmeöverförings-egenskaper används begreppet värmeledningsförmåga eller värmekonduktivitet. I en porös jord- eller bergmassa styrs värmeöverföringen av flera mekanismer, varav figur 5 visar några.



1. Ledning i jordpartiklar och vätska
2. Ledning i luft
3. Strålning från partikel till partikel
4. Diffusion av ånga
5. Konvektion i luft

Figur 5 Principen för värmeöverföring i poröst icke vattenmättat material. I vattenmättat material tillkommer fri konvektion i vatten (efter Johansen 1975)

I kristallint sprickfattigt berg bestäms värmeledningsförmågan av de i bergarten ingående mineralen. I exempelvis en granit har kvartsen en hög värmeled-

ningsförmåga medan fältspat och glimmer har betydligt lägre. I porösa material är främst konvektion i porvolymens vatten och luft avgörande för värmeledningsförmågan. Organiska jordarter har normalt mycket höga vattenhalter och har därför motsvarande egenskaper som vatten. Värmeledningsförmågan i olika jord- och bergarter belyses i figur 6.

Värmelagringskapacitet

Då man vill uttrycka hur mycket värme som per volymenhet kan lagras i ett material används begreppet värmekapacitivitet (c). Liksom värmekonduktiviteten är lagringskapacitiviteten beroende av lagringsmediets sammansättning och vattenhalt.

Även om vissa skillnader finns mellan olika mineralers lagringskapacitet kan de approximativt sättas lika ($0,8 \text{ kJ/kg,K}$). Större betydelse har vattenhalten ($4,2 \text{ kJ/kg,K}$).

Om värmekapacitiviteten multipliceras med materialets volymvikt, erhålles värmekapaciteten c med sorten $\text{J/m}^3, \text{K}$.

För ett poröst vattenfyllt medium kan denna beräknas som

$$\rho c = C_1 \rho_1 n + C_2 \rho_2 (1-n)$$

där

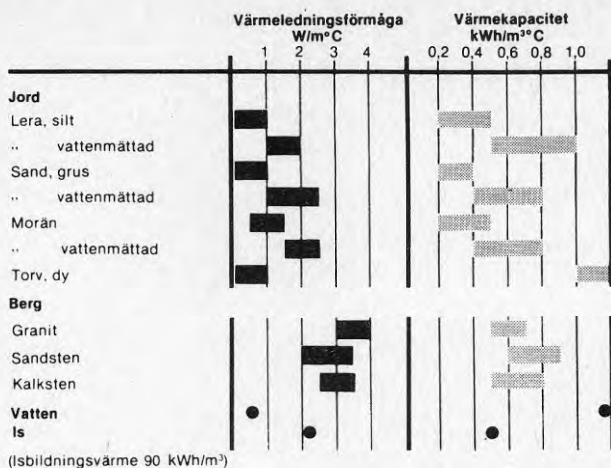
ρ_1 = vattnets densitet (kg/m^3)

ρ_2 = bergartens densitet (kg/m^3)

C_1 = vattnets värmekapacitivitet (J/kg,K)

C_2 = bergartens värmekapacitivitet (J/kg,K)

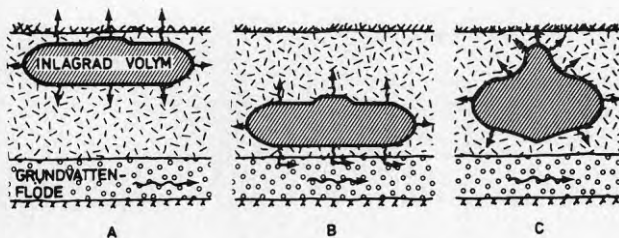
n = porositet



Figur 6 Sammanställning av värmeledningsförmåga och värmekapacitet för olika material (Svedinger m fl 1981)

Naturligt grundvattenflöde

Av stor betydelse för lagrets verkningsgrad är, förutom den rent geometriska utformningen, även förhållandet till naturlig grundvattenrörelse, figur 7.



Figur 7 Värmeförluster från lager av olika utformning (Andersson & Gustafson 1980)

Fall A, enligt figur 7, ger förhållandevis stora förluster till markytan, medan fall B ger stora förluster till förbiflödande grundvatten. I fall C är förlusterna minimerade genom rätt placerat och lämpligt utformat lager.

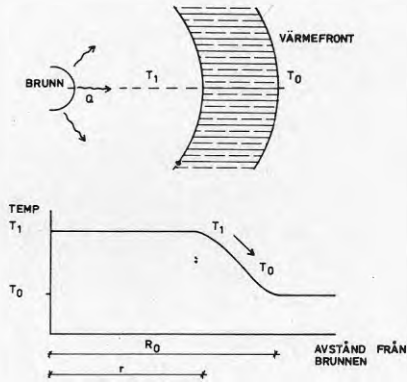
I Jönköpingsfallet, där det handlar om lagring vid höga temperaturer, är det väsentligt att beakta storleken av konvektiv energibortförsel via grundvattnet eftersom en sådan snabbt leder till försämrad energikvalitet, varvid värmeväxlingsmöjligheten till fjärrvärmenätet minskar. Den tidigare angivna genomsnittliga permeabiliteten på 5×10^{-6} m/s och den naturliga gradienten på 1 o/oo ger upphov till en naturlig grundvattenhastighet på ca 1,5 m per år.

Värmeöverföring till och från formationen

Om man genom en brunn skall överföra varmt vatten till eller från en porös formation måste en flödesgradient skapas. Detta sker via pumpning eller injicering. De hydrauliska förloppen och hydrogeologiska förutsättningarna härför har behandlats i föregående avsnitt. Nedan behandlas processerna kring själva värmeöverföringen.

Vid både inlagring och uttag sker en värmeöverföring mellan det vatten som flödar i porerna och det fasta materialet. Detta innebär i praktiken att en sektion runt en brunn successivt värms respektive kyls då vätskan passerar förbi. Till slut uppnås ett läge då vätskan och de fasta partiklarna har samma temperatur, varvid värmeutbytet upphör. Hur fort detta sker är bl a beroende av aktuella temperaturnivåer, flödes-hastighet, porositet och de olika mediernas termiska egenskaper.

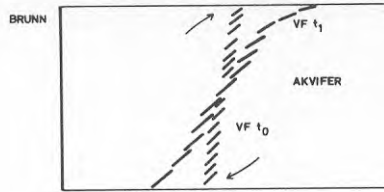
Kring en brunn i vilken det sker inlagring eller uttag av värme utbildas en diffus värmefront som flyttar sig i tiden med en hastighet som bestäms främst av flödet och avståndet till brunnen, figur 8. Hastigheten med vilken fronten breder ut sig minskar vid ökande avstånd från brunnen.



Figur 8 Värmefront och temperaturprofil kring injektionsbrunn

Under injektion av vatten med temperaturen T_1 utbildas en värmefront med temperaturen $T_1 - T_0$ där T_0 är formationens omgivningstemperatur. Hur bred fronten blir, R_0 - r , bestäms främst av flödet Q och avståndet från brunnen R_0 .

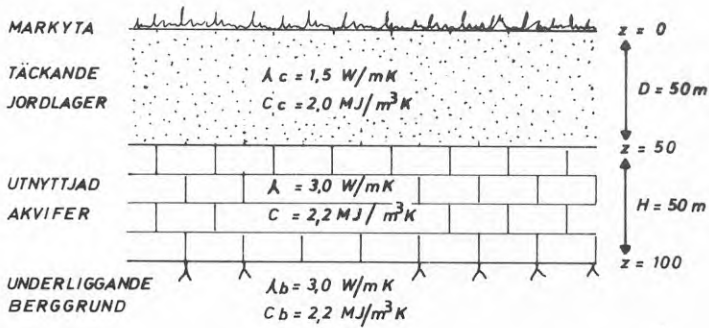
En särskild termohydraulisk problemställning är den s k kantringseffekten. Härmed avses en ursprungligen vertikal värmefronts benägenhet att kantra eller vända sig, vilket hänger samman med temperaturens inverkan på främst vattnets densitet. Fenomenet yttrar sig så att det relativt sett varma och lättare frontvattnet vill breda ut sig i värmelagrets ovandel samtidigt som svalare och tyngre omgivande vatten söker sig in i lagrets botten, figur 9.



Figur 9 Kantring av värmefront (VF). Figuren visar schematiskt värmefrontens läge vid tidpunkten t_0 (efter inlagring) och t_1 efter viss tids lagring (Andersson & Gustafson 1980)

Termiska förutsättningar för Visingsösandstenen

De modellstudier som gjorts av ett värmelager i Visingsösandstenen bygger på termiska förutsättningar, enligt figur 10.

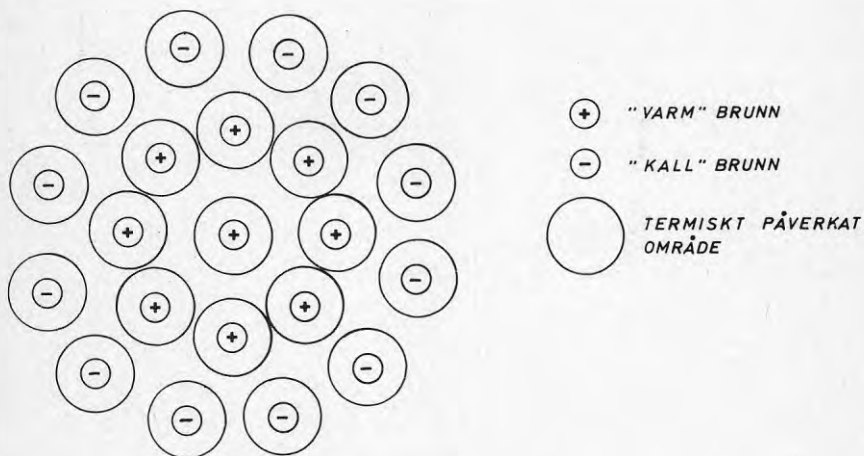


Figur 10 Termiska förutsättningar för modellstudier

BRUNNSKONFIGURATIONER

Av betydelse för lagrets egenskaper och värmeförluster är som tidigare nämnts, lagrets geometriska form samt storleken på lagret. Generellt kan sägas att man bör eftersträva en så kompakt form som möjligt på lagret. På så vis minskas begränsningsytan mot omgivningen, varigenom värmeförlusterna minskas.

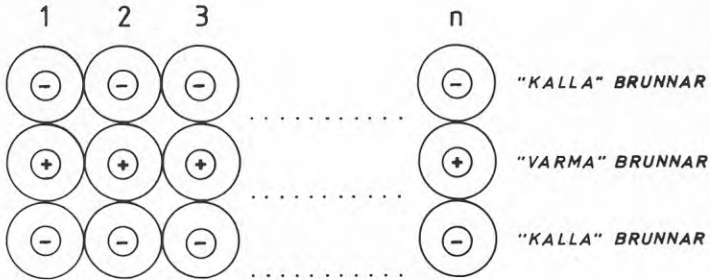
Den gynnsammaste formen på värmelagret, med tanke på värmeförlusterna, är den sfäriska, men av praktiska skäl är denna svår att åstadkomma. En mera realistisk form på lagret är den cylindriska med en eller flera "varma" centrumbrunnar och ett antal "kallare" brunnar längs periferin, figur 11.



Figur 11 Cylindriskt värmelager

En sådan cylindrisk brunnskonfiguration har studerats i de simuleringar som gjorts vid institutionen för matematisk fysik vid Lunds Tekniska Högskola.

Ett annat tänkbart sätt att placera brunnarna visas i figur 12, vilket ger en parallelepipedisk form på lagret.



Figur 12 Parallelepipediskt värmelager

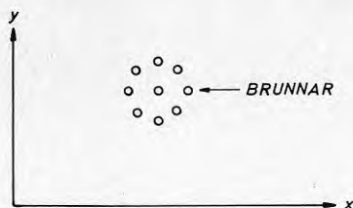
I ett sådant lager placeras brunnarna på tre parallella rader med de varmare brunnarna i mitten, omgärdade av "kalla" brunnar på bägge sidor. En av fördelarna med denna placering är att lagret på ett enkelt sätt kan byggas ut om en större energimängd måste inlagras.

I det följande ges en förenklad jämförelse av de stationära värmeförlusterna för några olika brunns-konfigurationer. Endast förlusterna i akviferplanet medtages.

Under den del av lagringscykeln som energilagret används för att lagra energi, bestäms de stationära värmeförlusterna av rent konduktiv värmeöverföring. Den konvektiva energitransporten orsakat av den naturliga grundvattentransporten försummas i enlighet med tidigare resonemang.

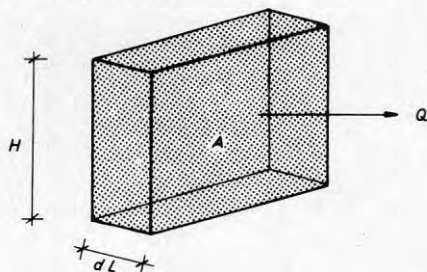
Antages homogena materialegenskaper bestämmas temperaturfältet av följande ekvation:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$



Värmeflödet genom en godtycklig yta blir:

$$Q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dL}$$



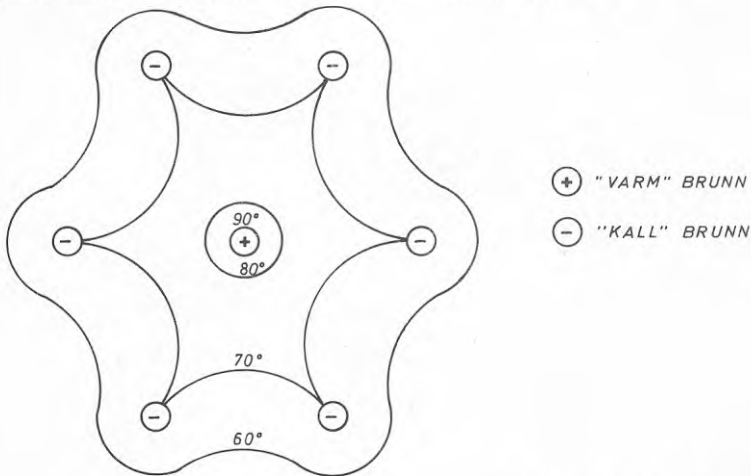
Med dessa ekvationer som underlag kan en jämförelse vad avser de stationära värmeförlusterna mellan olika brunnskonfigurationer göras. Resultatet av dessa beräkningar framgår av tabell 4.

Tabell 4 Energiförluster vid olika brunnsplaceringar

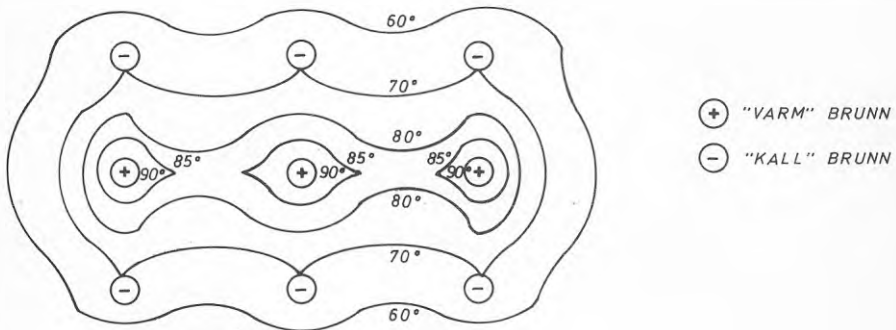
Lagerutformning	Brunnsantal	Relativ energiförlust
Cylindriskt		
Central + ring	1 varm + 6 kalla	1,00
Parallelepipediskt		
Linje 3+6	3 varma + 6 kalla	1,15
Parallelepipediskt		
Linje 4+8	4 varma + 8 kalla	1,24

Som framgår av tabell 4 ökar energiförlusten då man går från ett kompakt lager mot ett mera utspritt. Det bör emellertid betonas att detta endast avser stationära förluster. Under ett antal år efter det att lagret tagits i drift förekommer också insvängningsförluster. Även dessa blir väsentligt mycket mindre vid det cylindriska lagret.

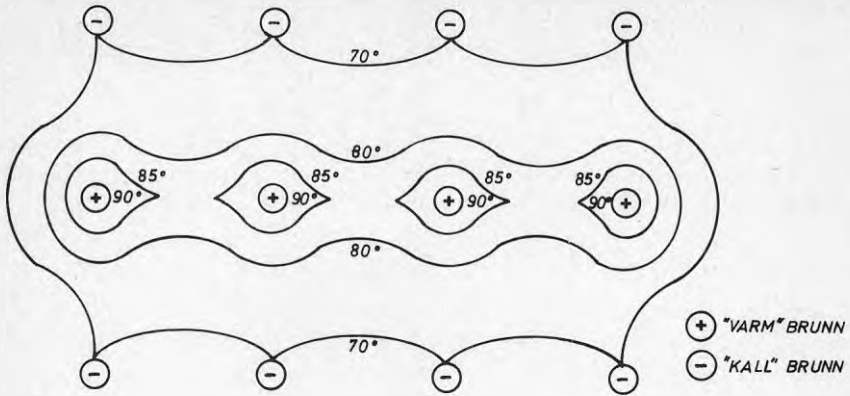
I figur 13 visas temperaturfördelningen för de olika brunnspaceringarna vid stationära förhållanden.



Figur 13 Temperaturfördelning vid cylindriskt lager (1 + 6 brunnar)



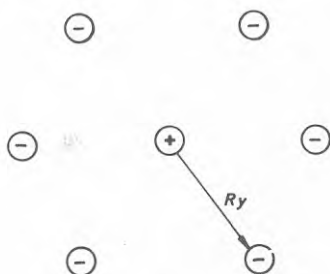
Figur 14 Temperaturfördelning vid parallelepipediskt lager (3 + 6 st)



Figur 15 Temperaturfördelning vid parallelepipediskt lager (4 + 8 brunnar)

GEOTERMISK MODELL

Databaserade modellstudier har gjorts för ett cylindriskt värmelager. Detta består av en central brunn kring vilken placerats en ring av brunnar på avståndet R_y , figur 16.



Figur 16 Brunnsplacering

Termisk radie

Den per årscykel inmatade och uttagna vattenmängden värmer ett område som representeras av en termisk radie R_T .

$$Q_{w,in} t_{in} C_w = H \cdot \pi R_T^2 C$$

där

$Q_{w,in}$ = vattenflöde vid inlagring

t_{in} = inlagringstid

C_w = vattnets värmekapacitet

H = akviferens mäktighet

C = lagrets värmekapacitet

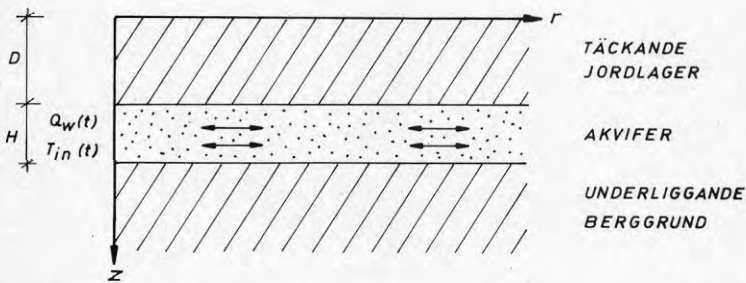
Med de flöden och lagringstider som anges under avsnittet "Projekttid" blir den termiska radien ca 110 m. Väljer man mer än en centrumbrunn förutsättes dessa ligga inom den termiska radien. Beräkningsmässigt innebär detta att man vid simuleringar av temperaturförloppet kan ersätta centrumbrunnarna med endast en brunn.

Termiska modeller

Vid institutionen för matematisk fysik, LTH, har utvecklats ett antal datorprogram, vilka beskriver de termiska förloppen kring brunnarna. De olika beräkningsmodellerna är av olika detaljeringsgrad, men gemensamt för dessa är bl a:

- Stationärt grundvattenflöde, dvs ingen hänsyn tages till grundvattenmagasinets hydrauliska magasineringsförmåga.
- Ingen hänsyn tages till en eventuell kantring av den vertikala temperaturfronten.
- Naturligt grundvattenflöde beaktas ej.

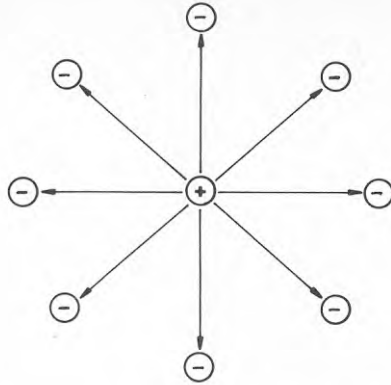
I den enklaste modellen behandlas endast en centrumbrunn med radiellt utflöde, figur 17.



Figur 17 Rotationssymmetriskt förlopp kring centrumbrunn

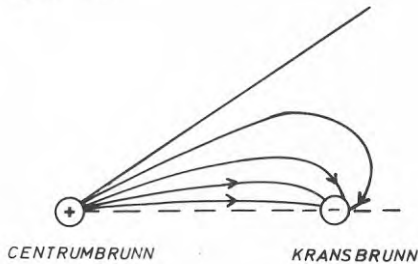
För att denna modell skall vara tillämplig krävs att kranbrunnarna placeras på stort avstånd från centrumbrunnen. Ett avstånd av $R_y = 200$ m torde räcka i det aktuella fallet.

Den andra modellen tar hänsyn till kranbrunnar, men förutsätter radiellt utflöde. Denna modell är tillämplig vid förhållandevis stort antal kranbrunnar. Utanför kranen förutsättes vattenflödet vara noll, figur 18.



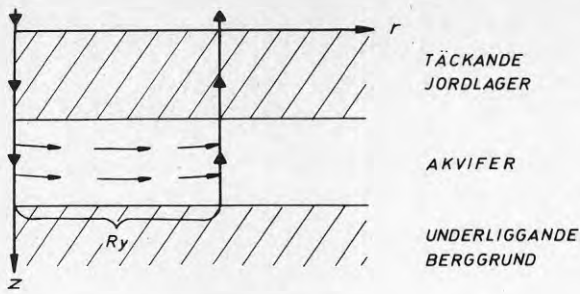
Figur 18 Radiellt flöde mellan centrumbrunn och krans

Mest komplicerad är den tredje modellen. I denna tänker man sig en centralt placerad brunn med en krans av jämnt placerade brunnar. Strömningen sker helt i ett tvådimensionellt plan och har ett utseende enligt figur 19.



Figur 19 Strömbild mellan centrumbrunn och kransbrunn

De olika modellerna skiljer sig väsentligt vad gäller tidsåtgång vid datorkörningar. På grund av att ett förhållandevis stort antal kransbrunnar fordras för hantering av aktuella grundvattenflöden har den andra modellen blivit mest använd. Vid denna modell råder en cylindersymmetrisk strömning enligt figur 20.



Figur 20 Cylindersymmetrisk strömning mellan centrumbrunn och krans

Lagringscykel

Samtliga simuleringar har skett med följande lagringscykel:

Inlagring	3 månader	Dag	1- 91
Lagring	3,75 månader	Dag	92-205
Uttag	1,5 månader	Dag	206-250
Vila	3,75 månader	Dag	251-365

Beräkningarna har utförts med termiska parametrar enligt figur 10 och med följande flöden och temperaturer:

$$\begin{aligned} \text{Inlagring } Q_w &= 120 \text{ l/s} \\ T_{in} &= 90^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Uttag } Q_w &= -240 \text{ l/s} \\ T_{in} &= 70^\circ\text{C} \end{aligned}$$

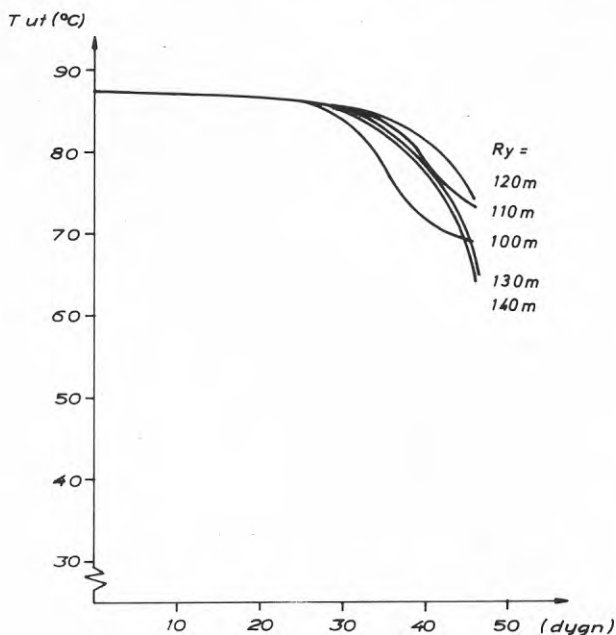
Simuleringsresultat

I figur 21 redovisas uttagstemperaturen under 5:e uttagscykeln vid olika brunnsavstånd, R_y .

Vid små avstånd mellan varma och kalla brunnar kommer dessa att påverka varandra termiskt. Uttagstemperaturen sjunker därvid drastiskt vid slutet av urladdningsperioden. Detta är fallet vid $R_y = 100-110$ m, där en kraftig temperaturminskning kan noteras efter ca 30 dygn.

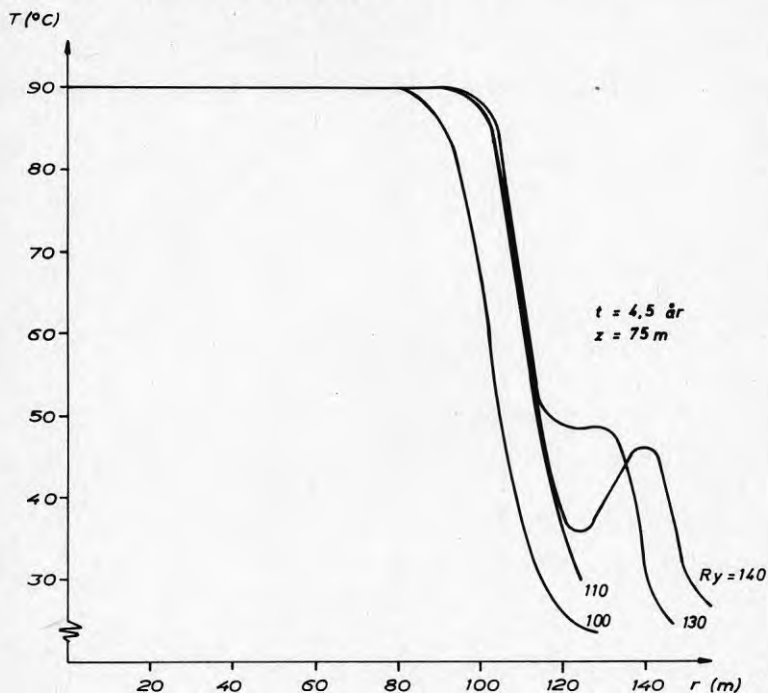
Vid stora avstånd mellan brunnarna ökar värmeförlusterna på grund av den större mantelytan mot omgivningen. Detta gäller vid $R_y = 130-140$ m.

Av figuren framgår att ett optimalt avstånd mellan centrumbrunnen och brunnskransen ligger kring 120 m.



Figur 21 Uttagstemperatur ur värmelagret vid olika brunnsavstånd

I figur 22 visas den radiella temperaturfördelningen mellan centrumbrunnen och kransbrunnen i ett horisontellt plan mitt i akviferen.

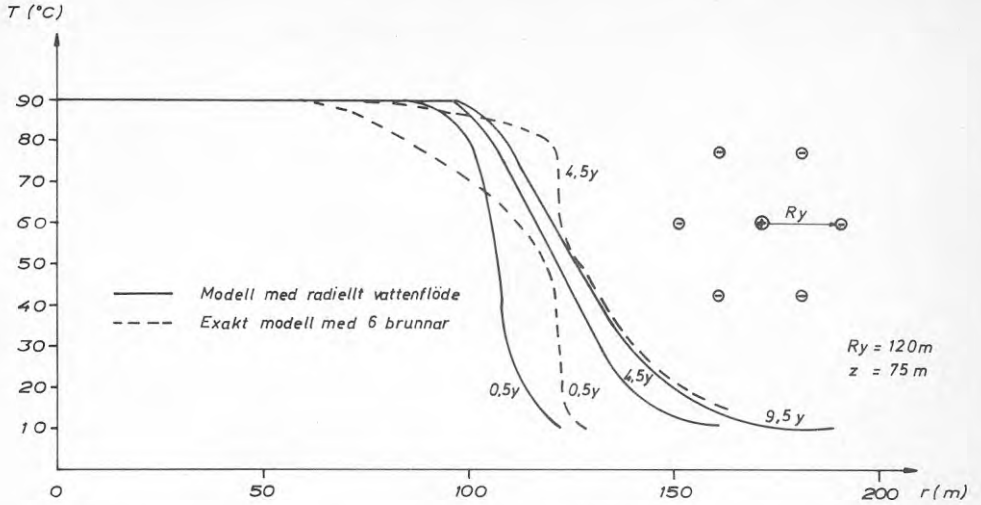


Figur 22 Radiell temperaturfördelning mitt i akviferen vid olika brunnsavstånd

Av figuren framgår att ett lämpligt brunnsavstånd ligger kring 120-130 m. Vid större avstånd erhålls en avkyld zon mellan centrumbrunnen och kransbrunnen.

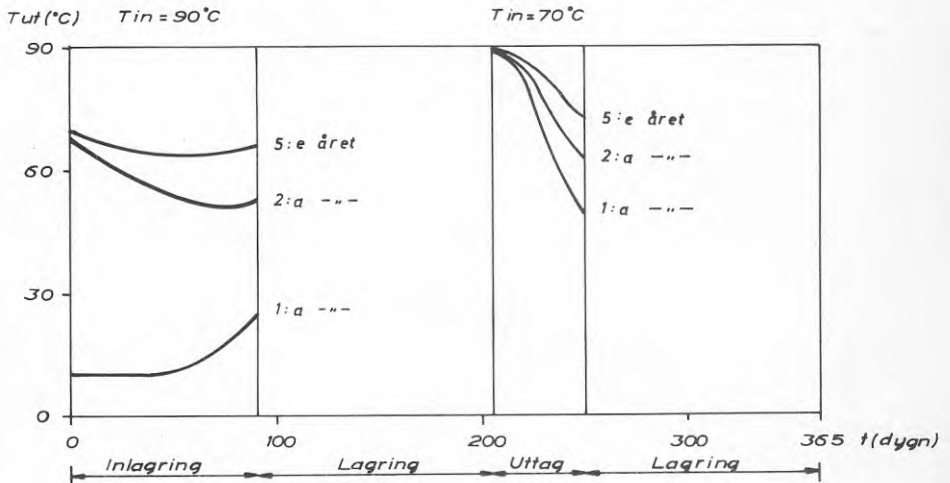
Figur 23 visar en jämförelse mellan å ena sidan den ovan använda modellen med radiellt flöde mellan en centrumbrunn och en kran och å andra sidan den exakta modellen med 6 kransbrunnar. I figuren visas den radiella temperaturprofilen mitt i akviferen vid olika tidpunkter.

Av figuren framgår att den exakta modellen ger en bredare temperaturfront innanför brunnskransen.



Figur 23 Jämförelse mellan modell med radiellt vattenflöde och exakt modell med 6 brunnar

I figur 24 redovisas uttagstemperaturen under inlagring och uttag vid olika lagringscykler. Vid beräkningarna har den exakta modellen med en centrumbrunn och 6 kranbrunnar använts. Avståndet mellan centrumbrunnen och kranbrunnen har satts till 130 m.



Figur 24 Uttagstemperatur vid inlagring och uttag.

$$R_y = 130 \text{ m}$$

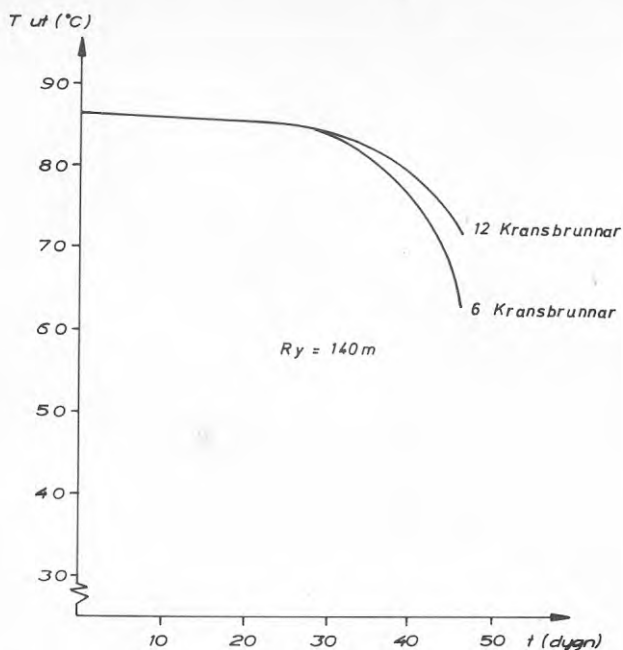
Som framgår av figuren sker en relativt snabb insvängning mot höga temperaturer. Temperaturen är vid uttagsperiodens början nära 90°C. Under femte året faller den under de 45 uttagsdygnen till 73°C. Det förhållandevis snabba insvängningsförloppet bekräftas av tabell 5 som redovisar medeltemperaturen på uttaget vatten under olika uttagsperioder.

Tabell 5 Medeltemperatur T_{ut} på uttaget vatten.

$$R_y = 130 \text{ m}$$

År	1	2	3	4	5
T (°C)	71	78	80	82	83

Antalet kransbrunnar har också betydelse för det termiska förloppet. Detta har studerats genom att jämföra uttagstemperaturen ur lagret då man har 6 respektive 12 kransbrunnar. En viss förhöjning av uttagstemperaturen erhålls då antalet kransbrunnar ökar, figur 25.



Figur 25 Inverkan av antalet kransbrunnar

Diskussion

Resultaten av de ovan redovisade simuleringarna kan sammanfattas enligt följande:

- Optimalt avstånd mellan centrum på värmelagret och kransen med "kalla" brunnar ligger vid 120-130 m.
- En fördubbling av antalet kransbrunnar (från 6 till 12) medför måttliga förbättringar för energilagret.
- Temperaturverkningsgraden definierad som

$$\eta = \frac{T_{ut, \text{medel}} - T_{\text{referens}}}{T_{in, \text{medel}} - T_{\text{referens}}}$$
 för 5:e årscykeln är ca 90 %.
- Energiverkningsgraden definierad som kvoten mellan uttagen och tillförd energi för 5:e årscykeln är ca 60 %.

De utförda beräkningarna bygger på förutsättningen att den vattenmängd som omsättes vid inlagring respektive uttag av energi är given (125 l/s under 2000 h respektive 250 l/s under 1000 h). Vidare förutsättes att temperaturen på det vatten som injiceras i lagret är konstant (90°C i "varma" brunnen respektive 70°C i "kalla").

Med dessa antaganden som grund kan den energimängd, som är möjlig att utvinna ur lagret under den 5:e årscykeln, beräknas till 13 GWh. Erforderlig mängd inlagrad energi uppgår härvid till ca 22 GWh.

Målsättningen är dock att kunna utvinna 20 GWh/år ur lagret. Detta kan åstadkommas genom att lagret göres större samt att större energimängder inlagras. Om driftsbetingelserna i övrigt är desamma krävs en ökning av lagrets volym med ca 50 % för att erhålla 20 GWh/år.

En annan väg att öka energiutbytet är att öka lagrets verkningsgrad. Detta kan uppnås exempelvis genom att större energimängd än vad som förutsatts i beräkningarna initierat inlagras. Härvid kan lagrets arbetstemperaturer generellt höjas. En annan möjlighet är att arbeta med lagret i ett större temperaturspann. En förhållandevis liten ökning av temperaturspannet kan innebära en avsevärd höjning av lagrets verkningsgrad.

GEOKEMISKA ASPEKTER

Bakgrund

Då hett vatten kommer i kontakt med en bergartsyta förändras de ingående mineralens jämvikt med omgivningen. Detta leder i de allra flesta fall till en urlakning av joner från mineralen till vattnet, men vid enstaka tillfällen till deponering av jonkomplex på mineralytorna. En förhöjd jonkoncentration i ett varmt vatten innebär att deponeringsprodukter fälls ut då vattnet avkyls och orsakar igensättningsproblem i ledningar och värmeväxlare. Hetvattenreaktionen innebär också att det bildas en vittringshud på mineralkornen. Vattnets järn, magnesium och kalcium adsorberas på mineralytorna och kan eventuellt också fylla ut bergartens naturliga porositet. Detta kan ha till följd en permeabilitetsminskning för t ex den undersökta sandstenen.

Laboratorieförsök

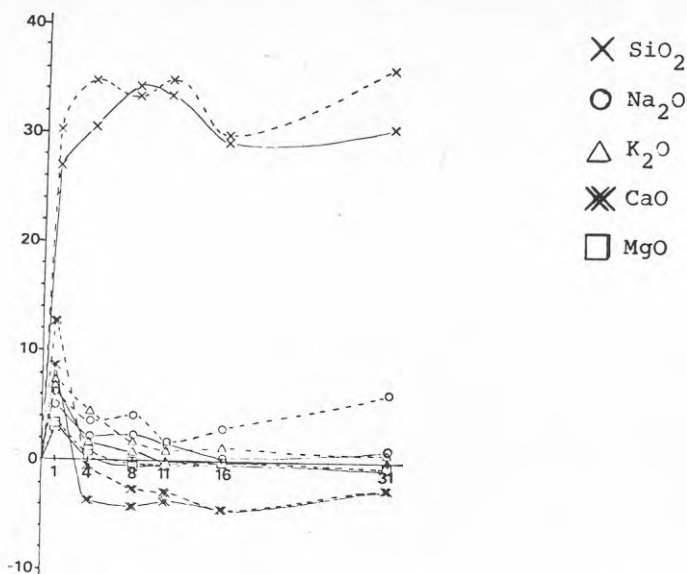
Med mening att påvisa, men dock inte att utreda en eventuell jonutlakning från en sandsten tillhörande Visingsöformationen, utfördes en begränsad laboratorieundersökning. Två prov av sandstenen med vardera en yta av 150 cm^2 sågades ut. I tefloninklädda autoklaver upphettades proverna tillsammans med 75 ml vatten till 90°C . Efter varje upphettningsperiod analyserades vattnet och ersattes med nytt. Nedanstående tabeller visar vattnets ökade respektive minskade jonkoncentration efter varje reaktionsperiod med sandstenen. Vattnets ursprungliga joninnehåll har dragits bort från de tabulerade värdena.

Tabell 6 Vattnets ökade respektive minskade joninnehåll vid reaktion med vit Visingsösandsten. Reaktionstemperatur 90°C

Reaktions- tid vecka	SiO ₂ ppm	Al ₂ O ₃ ppm	Analyserade joner				CaO ppm	MgO ppm	FeO ppm	pH
			Na ₂ O ppm	K ₂ O ppm						
1	26,69	0,15	5,05	6,35	8,94	3,56	-0,1	7,05		
4	30,50	0	2,16	1,83	-3,72	0,56	-0,1	7,05		
8	34,16	0	2,21	1,00	-4,01	-0,02	-0,1	7,10		
11	33,80	0	0	-0,20	-3,29	-0,05	-0,1	7,60		
16	29,10	0	0,11	-0,25	-4,36	-0,18	-0,1	7,40		
31	30,87	0	1,17	0	-2,06	-0,63	-0,1	7,30		

Tabell 7 Vattnets ökade respektive minskade joninnehåll vid reaktion med gul Visingsösandsten. Reaktionstemperatur 90°C

Reaktions- tid vecka	SiO ₂ ppm	Al ₂ O ₃ ppm	Analyserade joner				CaO ppm	MgO ppm	FeO ppm	pH
			Na ₂ O ppm	K ₂ O ppm						
1	30,13	0,20	6,23	7,35	12,43	3,23	-0,01	7,05		
4	34,90	0	3,70	4,55	-0,52	0,74	-0,01	6,85		
8	33,57	0	4,01	1,69	-2,43	-0,02	-0,01	7,00		
11	34,65	0	1,83	1,05	-2,80	-0,20	-0,01	7,30		
16	29,40	0	3,19	1,21	-4,37	-0,18	-0,01	7,00		
31	36,27	0	6,44	0,86	-2,06	-0,63	-0,01	7,10		



Figur 26 Utlakning respektive adsorption av joner i ppm som funktion av tiden i veckor då Visingsösandstenen får reagera med vatten av temperaturen 90°C. Negativa värden innebär adsorption. Streckade linjer är resultat från gul sandsten och heldragen från vit

Slutsats

Undersökningen, som är utförd för en vattentemperatur av 90°C, visar att det endast är utlakning av kisel från sandstenen, som är noterbar. De utlakade halterna av natrium och kalium är i jämförelse med andra testade bergarter mycket liten. Efter en inledande utlakning, adsorberas vattnets kalcium och magnesium av sandstenen. En iakttagelse som helt är i linje med tidigare utförda undersökningar.

Laboratorieförsöket indikerar att risken är liten att det skall uppstå igensättning i ledningar och värmewäxlare, orsakade av jonutlakning från sandstenen om vattentemperaturen i akviferlagret inte tillåts överstiga 90°C. De negativa utlakningsvärdena för kalcium, magnesium och järn tyder på att sandstenen har en benägenhet att adsorbera dessa jonslag ur vattenfasen. Det bör som en följd av detta noteras att om det tänkta vattnet håller höga initiella halter av dessa joner, är risken stor att sandstenen adsorberar så stora mängder att porositeten kommer att minska. Att en sådan igensättning skulle ske, finns inga bevis för ännu, men vid en jämförelse med vad som observerades då Avesta hetvattenackumulator öppnades, är detta emellertid en kvalificerad gissning. Avestalagret var på insidan täckt av en, visserligen mycket tunn men fullt observerbar, brun-röd yta bestående av järn- och magnesiumhydroxider. Fläckvis på bergrumsväggen fanns även stora ansamlingar av nybildad kalcit.

Två prov av sandstenen testades parallellt. Det ena provet utgjordes av en gulfärgad vittrad variant, medan det andra var opåverkat och rent vitt. Generellt kan sägas att den gula sandstenen visade större benägenhet att ge ifrån sig joner än den vita, som dock adsorberade kalcium något snabbare.

EKONOMISKA ASPEKTER

De matematiska modellerna visar att energiverkningsgraden för inlagringen uppgår till ca 60 % efter fem årscykler vid de driftsförhållanden som beräkningarna baseras på. I det antagna driftsfallet kan 13 GWh utvinnas under vintern om ca 22 GWh inlagras sommartid.

Om det förutsätts att den inlagrade energin kan erhållas för 6 öre/kWh och att den uttagna energin ersätter olja som kostar 24 öre/kWh, blir den årliga energikostnadsbesparingen ca 1,8 miljoner kronor. Från detta avgår vissa driftskostnader av mindre storlek, exempelvis el till pumpar m m.

Detta visar att vid de antagna förutsättningarna, som bör vara någorlunda realistiska, blir investeringsutrymmet 8-12 miljoner kronor beroende på vilken räntabilitet man kräver på investeringen. Om exempelvis en sopförbränningsanläggning av tillräcklig kapacitet finns tillgänglig, vilken kan utgöra värmekälla och denna inte belastar kalkylen, är det troligt att värmelagret inklusive installationer kan byggas för en kostnad som inte överstiger den ovan nämnda.

Det bör framhållas att större energilager ger relativt sett mindre energiförluster. Här har förhållandena i Jönköpings fjärrvärmenät för de närmaste åren använts som underlag för beräkningen av värmelager. I framtiden kommer det att finnas underlag för större värmelager genom att nätet ytterligare byggs ut.

REFERENSER

Andersson & Gustafson, 1980: Värmelagring i djupa slutna grundvattenmagasin. Byggforskningsrådet R101:1980.

Johansen, Ø, 1975: Thermal conductivity of soils. Frost i jord, nr 16, Oslo.

Svedinger, B (red), 1981: Värme i jord, berg och vatten. Utvinning och lagring. Byggforskningsrådet T1:1981.

Vidal, G, 1974: Late Precambrian microfossils from the basal sandstone unit of Visingsö beds, South Sweden. *Geologica et Paleontologica* 8:p 1-14.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811474-1
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,
Jönköping.**

R194: 1984

ISBN 91-540-4295-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6704194

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirkapris: 30 kr exkl moms