



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.



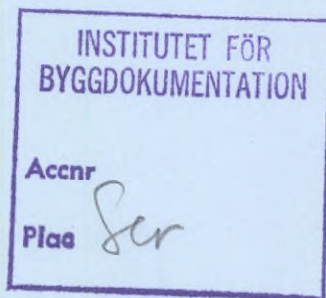
Rapport

R70:1987

Värmelagring i grundvatten-  
magasin genom inducerad  
infiltration från ytvatten

Fallstudie i Högsby

Per Olsson m fl



u/o  
/A

Byggforskningsrådet

R70:1987

VÄRMELAGRING I GRUNDVATTENMAGASIN GENOM INDUCERAD  
INFILTRATION FRÅN YTVATTEN

Fallstudie i Högsby

Per Olsson m fl

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840492-8  
från Statens råd för byggnadsforskning till Högsby kommun,  
Högsby.

## REFERAT

Målsättningen med projektet har varit att utreda förutsättningarna att vid Högsby samhälle utnyttja Högsbyåsen - Emån för ett värmelagringsystem i grundvattenmagasin.

Principen är att sommartid lagra in sommarvarmt ytvatten i isälvsavlagringen som står i hydraulisk förbindelse med ån. Genom stort grundvattenuttag sommartid sker inducerad infiltration, d v s ett läckage från ån till grundvattenmagasinet, där temperaturen höjs några grader. Den tillförda värmeenergin tillgodogörs som värmekälla för värmepumpar.

Inom projektet har både praktiska och teoretiska förutsättningar studerats. Resultatet visar att förutsättningarna för inlagring sannolikt är goda.

Planerad energiavvärmare är två kommunala värmecentraler med ett effektbehov av 2 MW. Det föreslagna systemet har kostnadsberäknats till ca 3,5 Mkr och medför driftkostnadsbesparing på ca 300 Tkr/år jämfört med fastbränsleanläggning.

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

R70:1987

ISBN 91-540-4756-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

## INNEHÅLL

## FÖRORD

- 1 BAKGRUND
- 2 PROJEKTETS MÅLSÄTTNING OCH GENOMFÖRANDE
  - 2.1 Projektidé
  - 2.2 Utförda undersökningar
- 3 GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN
  - 3.1 Allmänt
  - 3.2 Rörborrningar
- 4 GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN
  - 4.1 Grundvattenmagasinet
  - 4.2 Yt- och grundvattennivåer
  - 4.3 Temperaturer
  - 4.4 Uttagsmöjligheter
  - 4.5 Hydrauliskt samband, ås - Emån
  - 4.6 Grundvattenkvalitet
- 5 BEFINTLIGT VÄRMESYSTEM
  - 5.1 Allmän orientering
  - 5.2 Beskrivning av värmesystemen
  - 5.3 Energi- och effektbehov
- 6 SYSTEMUTFORMNING
  - 6.1 Värmekällan
  - 6.2 Värmepumpsystemet
- 7 TERMOHYDRAULISKA MODELLBERÄKNINGAR
  - 7.1 Allmänt
  - 7.2 Termisk transporthastighet
  - 7.3 Inlagring
  - 7.4 Slutsats
- 8 EKONOMI
  - 8.1 Investeringar
  - 8.2 Driftskostnader
  - 8.3 Lönsamhet
- 9 SAMMANFATTNING

## REFERENSER

## BILAGOR

- A Sammanställning av borrningsresultat

## FÖRORD

Föreliggande rapport avser att redovisa en studie av möjligheterna att utnyttja sommaruppvärmt ytvatten från en å i ett anslutande grundvattenmagasin. Genom stora grundvattenuttag i grundvattenmagasinet sommartid, induceras en infiltration av uppvärmt åvatten in i grundvattenmagasinet och värmer upp detta några grader. Den tillförda energin kan sedan tillgodogöras med hjälp av värmepumpsteknik.

Projektet har knutits till ett praktiskt fall, två kommunala värmecentraler i Högsby samhälle. Den använda tekniken och de erhållna resultaten kan dock användas generellt där lämpliga förutsättningar råder.

Huvudman för projektet har varit Högsby kommun, där byggnadschef Rolf Franzén varit kommunens kontaktman och projektledare.

Huvudansvarig för projektets genomförande och för utarbetandet av rapportens textdel har varit Per Olsson. Johan Landberg vid VIAK:s Malmökontor har utfört de termohydrauliska modellberäkningarna och Krister Högberg vid VIAK, Vänersborg, har svarat för de delar som handlar om uppvärmningssystemet. Ett värdefullt stöd har erhållits från bl a Peter Englov, VIAK, Malmö samt Magnus Liedholm, VIAK, Göteborg.

Värdefulla är även de arbetsinsatser som har utförts av kommunen i samband med bl a avläsningar och insamlandet av uppgifter.

Vänersborg i augusti 1986

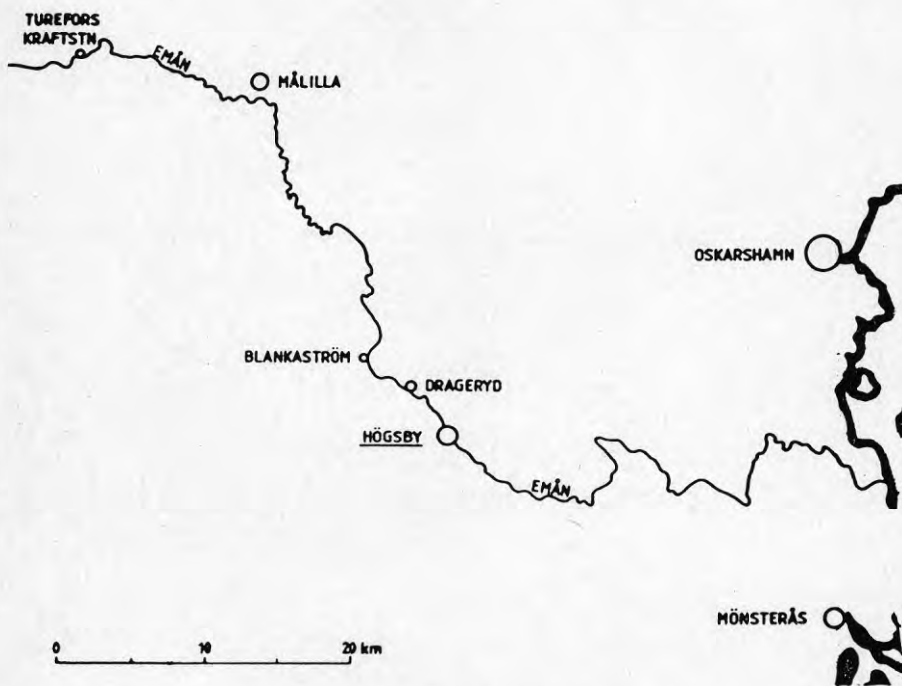
Per Olsson

VÄRMELAGRING I GRUNDVATTENMAGASIN GENOM INDUCERAD INFILTRATION  
FRÅN YTVATTEN - FALLSTUDIE I HÖGSBY

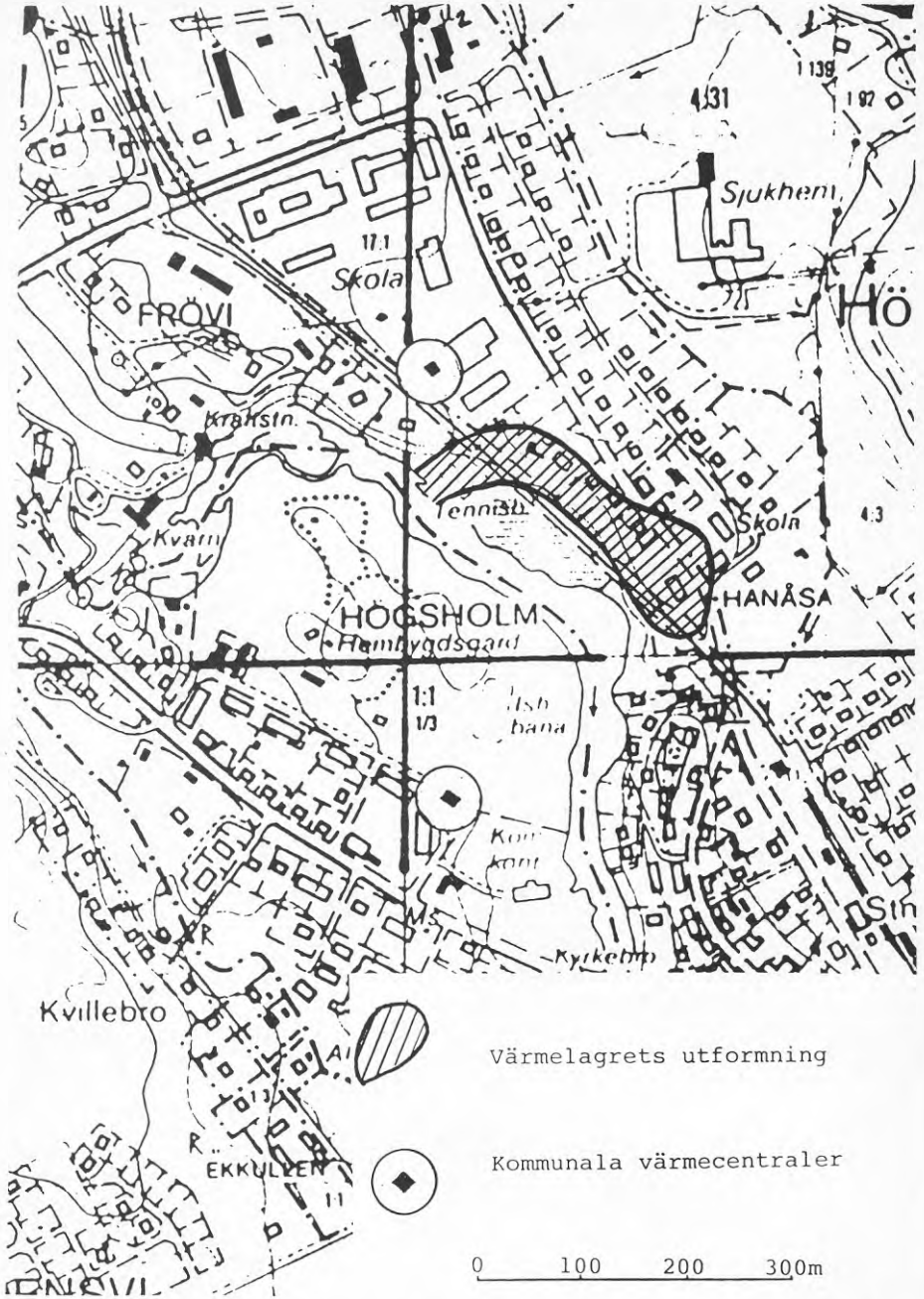
1 BAKGRUND

Inom Högsby samhälle, som är beläget ca 2 mil väster om Oskarshamn i de centrala delarna av Kalmar län, löper Emån parallellt med en isälvsavlagring.

Avsikten med projektet har varit att applicera ett värmelagrings-system inom tätorten, där kombinationen värmeförbrukare (värmecentraler) - värmelager (Högsbyåsen) - värmekälla (Emån) finns.



Figur 1. Översiktskarta över Emåns lopp i Kalmar län.



Figur 2.

Översiktskarta Högsby, med värmecentraler och "värmelagret"



Tätorten baserar sin vattenförsörjning på grundvatten och det råder goda förutsättningar för grundvattenuttag i jordlagren.

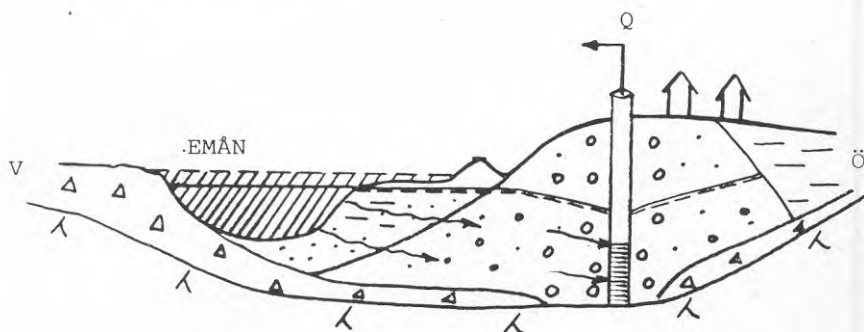
Tätorten har för närvarande inget utbyggt fjärrvärmenät, men två kommunala värmecentraler finns. Dessa två betjänar en grundskola, Fröviskolan, respektive ett område med bostäder och kommunala fastigheter. Båda värmecentralerna är olje- och fastbränsleanläggningar och kräver åtgärder i form av utbyte och renovering inom en snar framtid. Sammanlagda effektbehovet är ca 2 MW.

Det tänkta värmelagret och värmecentralerna är belägna centralt inom tätorten med ett inbördes avstånd av 100 - 300 m respektive 300 m, se figur 2.

## 2 PROJEKTETS MÅLSÄTTNING OCH GENOMFÖRANDE

### 2.1 Projektidè

Grundvatten har under senare år uppmärksamats som lämplig energikälla för värmepumpsteknik. Anledningen är att grundvattentemperaturen uppvisar små variationer ( $1-2^{\circ}\text{C}$ ) under året. På ca 10 m djup motsvarar temperaturen ungefär luftens årsmedeltemperatur. Där det finns förutsättningar för grundvattenuttag är det vanligtvis lämpligare att använda sig av grundvatten som värmekälla än ytvatten, som har lägsta temperaturen, samtidigt som energibehovet är som störst. Sommartid erhålles dock genom inlagring av solenergin högre temperatur i ytvatten. Genom att kombinera fördelarna med grund- respektive ytvattenvärmet i ett värmelager kan man öka verkningsgraden för ett värmesystem.



Figur 3. Principskiss - värmelagring

Uttagsmöjligheterna i ett grundvattenmagasin bestäms av dess hydrauliska egenskaper samt dess storlek och geometri. Om ett grundvattenmagasin står i hydraulisk kontakt med ytvatten (vattendrag eller sjö) påverkas uttagsmöjligheterna positivt. Vid ett uttag ur grundvattenmagasinet kan ytvattnet infiltreras genom bottensedimenten till magasinet.

I energisammanhang kan detta förhållande vara betydelsefullt och utnyttjas medvetet genom att sommarvarmt ytvatten kan fås att infiltrera till grundvattenmagasinet och delvis ersätta det naturliga grundvattnet. Följden blir att magasinet värms upp. Den inlagrade energin kan tillgodogöras genom grundvattenuttag under uppvärmningssäsongen via värmepumpsteknik.

Förutsättningarna för ett dylikt system bedömes föreligga inom Högsby. Alternativt kan andra inlagringssystem vara tänkbara. Således kan det varma ytvattnet t ex direkt föras in i grundvattenmagasinet via infiltrationsbrunnar.

## 2.2 Utförda undersökningar

Föreliggande studie har främst inriktats på en teknisk och ekonomisk principlösning genom ovannämnda teknik. Inom ramen för projektet har undersökningarna omfattat studium av rådande hydrogeologiska - termohydrauliska förhållanden samt genomgång av de tekniska - ekonomiska förutsättningarna för värmepumpsteknik. Projektets genomförande framgår av nedanstående figur.

---

Översiktlig hydrogeologisk studie.  
Kartläggning av energiförbrukare.

---

FÖRSTUDIE

---

Avgränsning av undersökningsområde.  
Rekognoserande borrhning.  
Urval av energiförbrukare.

---

ETAPP 1A

---

Kompletterande borrhning.  
Utförande av uttagsbrunn.  
Provpumpning - hydrauliska data.  
Termohydrauliskt modellarbete.  
Genomgång av energiförbrukare.

---

ETAPP 1B

---

Förslag till systemutformning

---

Figur 4 Projektöversikt

### 3 GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

#### 3.1 Allmänt

Högsby samhälles centrala delar är uppbyggt på en tydligt markerad isälvsavlagring, bestående av sand- och grusmaterial. Vid samhället sammanfaller ett från Berga norrifrån kommande isälvsstråk med ett stråk från väster och bildar Högsbyåsen. Denna löper i NV-SO-lig riktning mot Pataholm vid Östersjökusten. Åsens sträckning och läge i förhållande till Emån vid Högsby framgår av figur 5.

Åsen är subakvatiskt bildad, vilket innebär att området stod under vatten vid tidpunkten för avsättningen. Detta medför att finsediment i form av silt och lera förekommer i anslutning till åsen. Det förekommer även tätande skikt av finsediment längs ån - åskanten. Dessa överlagras ställvis av svallat material och syns då inte vid markytan. Svallat material, i form av sten och grus har observerats strax nedströms kraftstationen.

Berggrunden, som är av granitisk sammansättning, går i dagen på flertalet ställen i den västra och nordvästra delen av samhället samt österut, vilket indikerat tunt jordtäckte inom dessa områden. Jordlagren består här huvudsakligen av morän.

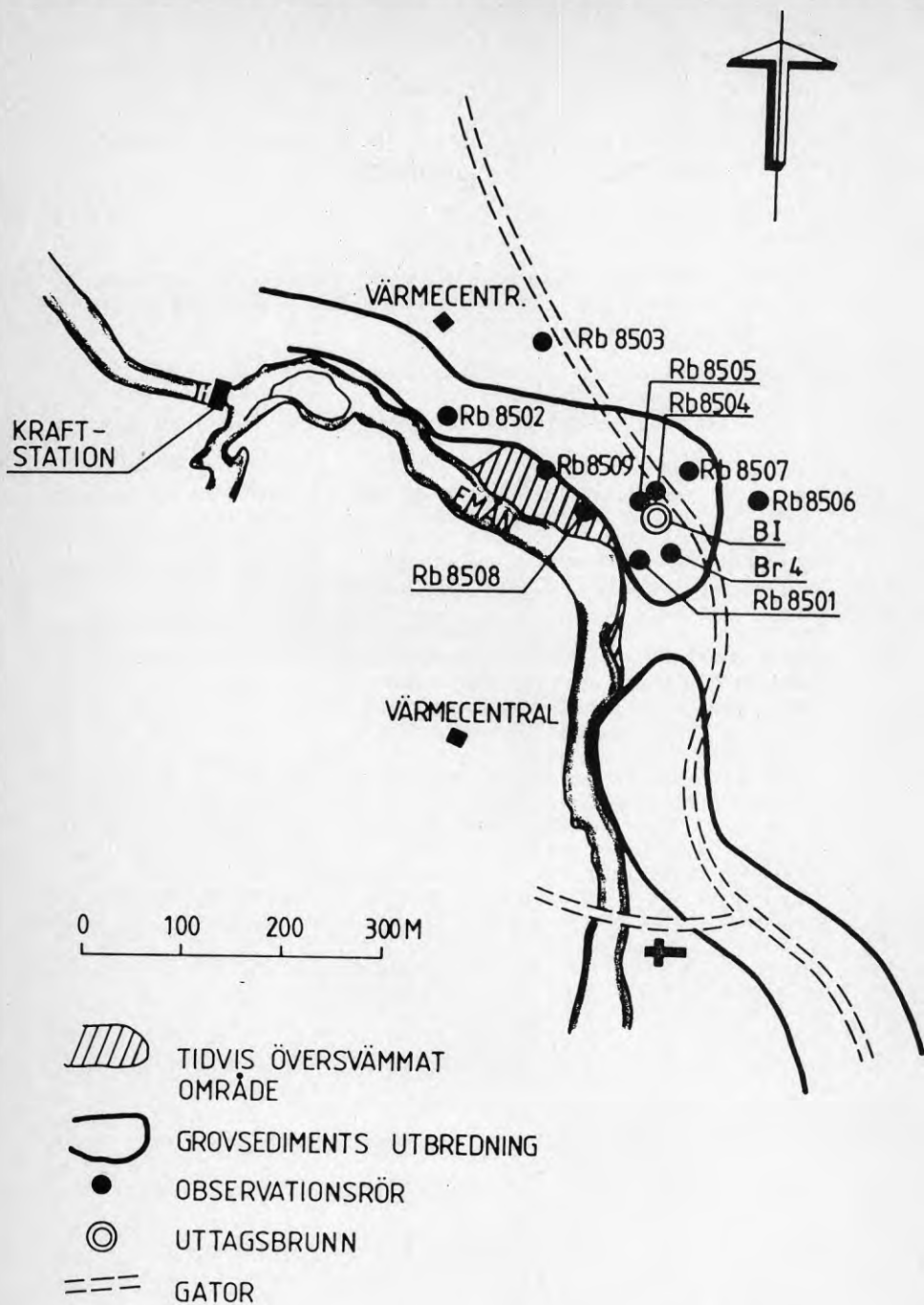
I norra delen av samhället har grustäktsverksamhet bedrivits. Här är åsmaterialet grovkornigt nära markytan, men jorddjupen är begränsade.

Mot söder övergår den dominerande fraktionen till sand. Mäktigheten på omgivande jordlager tilltar mot söder och väster och finsediment, bestående av silt och lera dominerar. Dessa sediment är dock vanligtvis av ringa mäktighet. De underlagras av mo, sand och grus (kornstorleken ökar mot centrala åsen).

Vid samhällets södra del korsar ån och åsen varandra. Strax nedströms denna korsningspunkt är kommunens vattentäkt belägen.

#### 3.2 Rörborrningar

För att bestämma jordlagerföljder och vattengenomsläpplighet samt att möjliggöra grundvattennivå-, temperaturavläsningar och vattenprovtagning, har nio rödrivningar utförts. Borrningarnas lägen framgår av figur 5 och en sammanställning över borrningsresultaten redovisas i bilaga A.



Figur 5 Observationspunkter samt Högsbyåsens utbredning.

En brunnsinventering har utförts inom tätorten. Flertalet brunnar är grävda schaktbrunnar, som används till trädgårdsbevattning o dyl. Dock finns tre rörbrunnar, utförda 1982 - 84, som används som energibrunnar. En av dessa, brunn 4, är belägen inom "värmelagret" och ingår i observationsnätet för detta.

Undersökningsområdet avgränsades till den norra delen av Högsby samhälle av flertalet skäl:

- a) Här råder goda hydrogeologiska förhållanden för ett värmelagringssystem, med lämpligt avstånd Emån - åsen samt goda uttagsmöjligheter.
- b) Få konkurrerande vattenuttag.
- c) Närhet till de kommunala värmecentralerna, som utgör lämpliga energiförbrukare.

Mot norr, där elkraftstationen är belägen, befanns berggrunden ligga över Emåns vattennivå. Här finns således inga förutsättningar för inducerad infiltration av åvatten till åsen. Mot söder fortsätter åsen med mycket goda uttagsmöjligheter, men p g a ovan angivna skäl bedömdes området mindre lämpligt.

Som framgår av rördrivningsprotokollen uppgår åsens mäktighet inom "värmelagret" till ca 30 m, varav ca 20 m under grundvattenytan. Jordlagren består av grus och sand från markytan ned till den underliggande berggrunden. Mot norr begränsas grundvattenmagasinet vid Rb 8503 av mäktiga finsedimentlager (silt och lera) med små uttagsmöjligheter. Även mot öster, Rb 8506, förekommer lera, men jordmäktigheten avtar. Finsediment har påträffats även mellan åsen och ån vid Rb 8508 och -09, vilket försämrar den hydrauliska kontakten här. I åsens längdriktning mot nordväst, Rb 8502, och mot söder, Br 4, fortsätter avlagringen i form av grus och sand. Dock tycks det aktuella grundvattenmagasinet avgränsas vid dessa punkter. Vid Rb 8502 tycks den hydrauliska kontakten mellan Emån och grundvattenmagasinet vara god.

Markytan vid åsens centrala del är belägen ca +74 m ö h och Emåns vattenyta är +64 m ö h.

## 4 GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

## 4.1 Grundvattenmagasinet

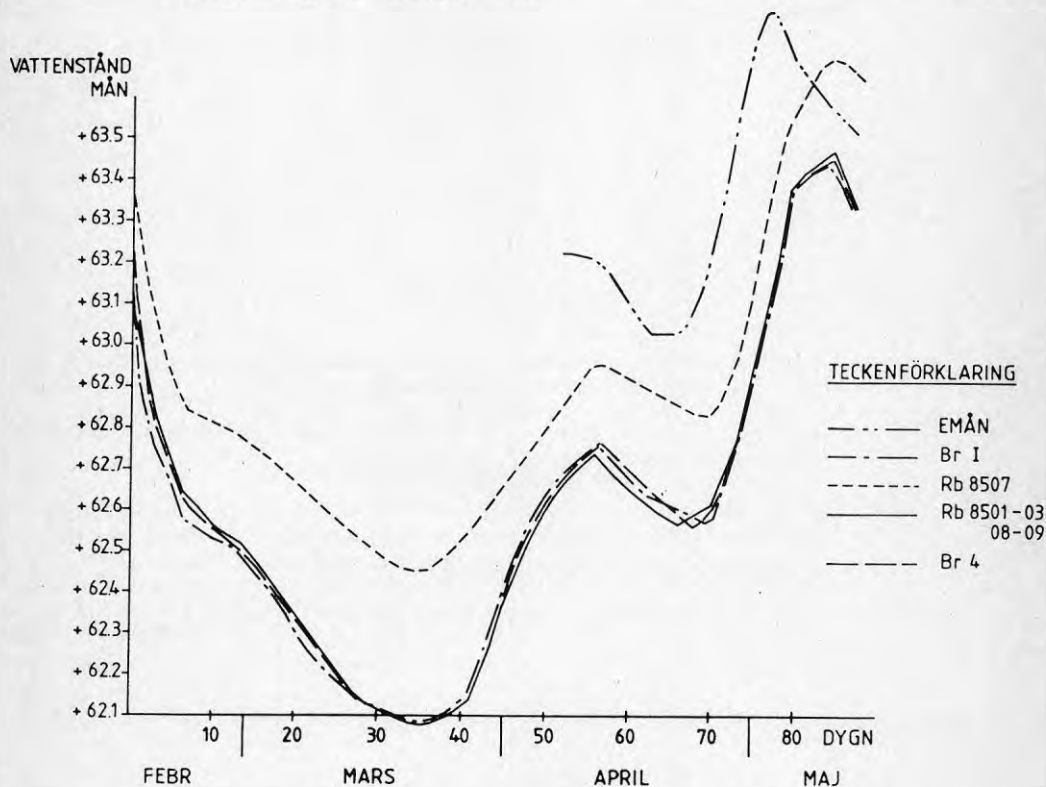
De geologiska undersökningarna visar att ett homogent och väl avgränsat grundvattenmagasin förekommer i åsens längdriktning, se figur 2.

Ett visst grundvattentillskott till det aktuella åspartiet sker från höjdområdet i nordost, men på grund av begränsad vattengenomsläpplighet i de omgivande finsedimenten torde detta tillskott vara begränsat.

Inom magasinet är grundvattengradienten låg, vilket tyder på hög vattengenomsläpplighet.

## 4.2 Yt- och grundvattennivåer

För att studera grundvattenströmningen och nivåvariationer i yt- och grundvatten, har nivåmätningar utförts under våren 1986 i undersökningsrören Rb 8501 - 09 samt i uttagsbrunnarna Br4 och BI. Observationspunkternas lägen framgår av figur 5. I figur 6 redovisas de uppmätta grundvattennivåerna i samband med den genomförda provpumpningen 1986.02.- 05.



Figur 6 Grundvattennivåer samt Emåns vattennivå under pumpning februari - maj 1986.

Grundvattenströmningen är riktad mot Emån, vilken dränerar nederbördsområdet. Som framgår av diagrammet ovan, följer nivåerna i grundvattenmagasinet mycket väl Emåns vattennivå. (Emån islagd till 7 april) Samtliga observationsrör reagerar likartat, vilket tyder på att grundvattenmagasinet är homogent och att det råder god hydraulisk kontakt. Inom magasinet är grundvattengradienten låg, vilket också tyder på permeabelt (vattengenomsläppligt) material och god kommunikation.

#### 4.3 Temperaturer

Regelbundna vattentemperaturregistreringar för Emån och Högsby saknas, vilket försvårar bedömningen av den lagringsbara och därmed den uttagbara energin. Vid Turefors kraftstation (drygt 40 km NV Högsby) har Emåns vattentemperatur dock registrerats. Dessa har sammanställts i form av månadsmedel- samt min- och maxvärden under perioden 1955 -62, se tabell 1. Värdena kan erfarenhetsmässigt anses som överförbara till åvattnets temperatur vid Högsby.

Tabell 1 Emåns vattentemperatur vid Turefors  
Månadsmedelvärde 1955 - 62 (°C)

	Medel	Min - Max
Jan	0,16	0,02 - 0,51
Feb	0,23	0,01 - 0,74
Mar	1,0	0,01 - 3,5
Apr	4,7	2,3 - 7,3
Maj	11,3	9,4 - 13,3
Jun	17,2	15,3 - 18,8
Jul	18,6	17,3 - 20,6
Aug	17,0	15,2 - 19,0
Sep	13,2	12,0 - 14,6
Okt	8,2	7,2 - 10,9
Nov	3,4	0,86 - 4,8
Dec	0,59	0,32 - 1,4

Det framgår att Emåns medelvattentemperatur överstiger den naturliga grundvattentemperaturen under perioden maj - september. Troligtvis är det realistiskt att inlagring sker under 3 - 4 månader, juni - augusti, då åvattentemperaturen väsentligt (>5°C) överstiger grundvattnets temperatur.

Även uppvärmningsbehovet (och därmed energiuttaget ur värmelagret) påverkar uttags- respektive inlagringsperioden. SMHI utför inga lufttemperaturmätningar i Högsby, däremot i Drageryd och Målilla (5 resp 25 km NV om Högsby). Månadsmedelvärden från dessa platser redovisas i tabell 2. Som framgår av tabellen, ligger temperaturen generellt högre i Drageryd jämfört med Målilla. Lufttemperaturen i Högsby kan förväntas vara ytterligare något högre än i Drageryd.

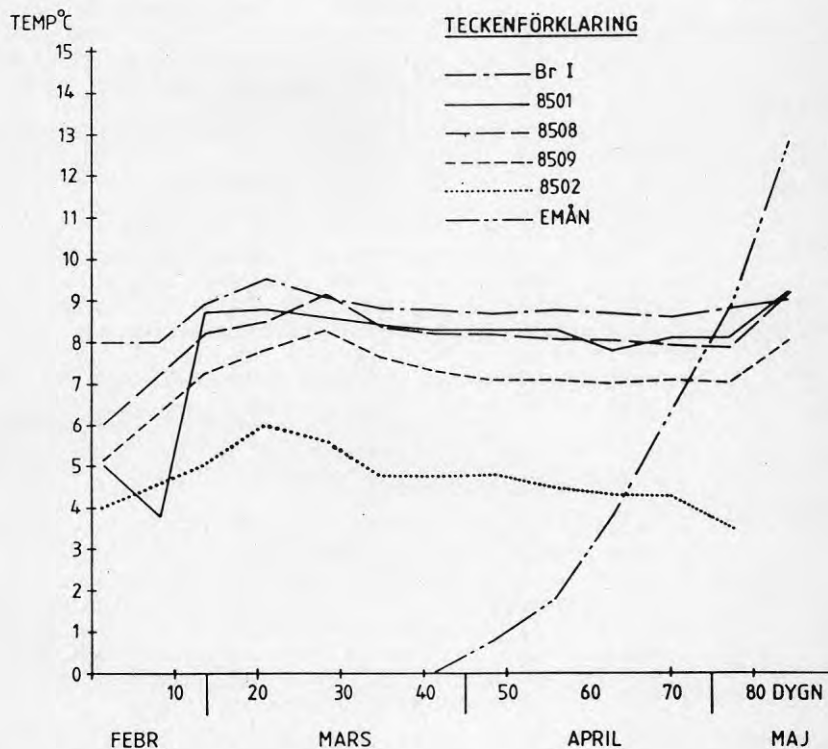


Tabell 2 Lufttemperaturen i Drageryd resp Målilla  
Månadsmedelvärden ( $^{\circ}\text{C}$ )

	Drageryd 1978-86	Målilla 1978-86	Målilla 1951-80
Jan	-4,7	-4,4	-3,2
Feb	-5,3	-5,4	-3,5
Mar	0,4	0,3	-0,3
Apr	4,4	4,1	4,3
Maj	10,6	10,1	9,8
Jun	14,5	14,3	14,9
Jul	16,1	16,0	16,0
Aug	15,5	15,2	15,2
Sep	11,3	10,9	11,2
Okt	7,7	7,8	6,8
Nov	2,7	2,3	2,1
Dec	-1,6	-2,1	-1,0

Den genomsnittliga uppvärmningssäsongen torde vara under 7 - 8 månader, september - mitten av maj. Högsta energiförbrukningsperioden inträffar december - mars, således 4 månader.

Emåns vattentemperatur och grundvattentemperaturen har fortlöpande registrerats under provpumpningen februari - maj 1986, se figur 7.



Figur 7 Vattentemperatur under pumpning februari - maj 1986.

Mätning av grundvattentemperaturen har utförts i samtliga fungerande observationsrör samt i uttagsbrunnen BI.

Mätningarna visar en svag ökning av grundvattentemperaturen under de första 30 dyggen av provpumpningen. Under detta skede påbörjas en successiv tömning av det naturliga grundvattnet inom magasinet. Kurvorna planar sedan ut och en svag tendens till temperatursänkning märks. Denna effekt är tydligast vid Rb 8502, där den huvudsakliga infiltrationen beräknas ske. Vattentemperaturen är betydligt lägre här, vilket tyder på naturlig påverkan från ån. Den hydrauliska kontakten mellan ån och åsen är betydligt sämre söder om Rb 8502 med mindre temperaturpåverkan. Samtliga redovisade observationsrör är belägna utmed ån och påverkas dock sannolikt av de kallare åvattnet som infiltrerar till grundvattenmagasinet.

Enligt teoretiska beräkningar hinner den kalla temperaturfronten inte fram till uttagsbrunnen BI under provpumpningstiden. Någon tydlig temperaturpåverkan i BI har heller inte noterats. Brunnen är belägen längre från Emån än observationsrören och temperaturvariationerna under pumpningen är också mindre.

Mot slutet av pumpningen sker en temperaturhöjning i observationsrören, vilket kan sammankopplas med att Emåns och luftens temperatur stiger markant.

Den inducerade temperaturfronten transporteras avsevärt långsammare i grundvattenmagasinet (ca en tredjedel) än vad det infiltrerade åvattnet gör. Samtidigt sker en viss omblandning av åvattnet och det naturliga varmare grundvattnet. Då pumpning (inlagring) sker sommartid med varmt åvatten, blir omblandningen mindre och temperaturpåverkan i grundvattenmagasinet följaktligen tydligare (enligt tidigare undersökningar en faktor x 2).

Teoretiska beräkningar ger att vid inlagring sommartid når en temperaturfront på  $+17^{\circ}\text{C}$  uttagsbrunnen efter ca 4 månaders pumpning med 30 l/s. Detta borde då motsvara den nödvändiga inlagringstiden till uttagsbrunnen BI sommartid. Den optimala inlagringstiden är dock även beroende av vilken sluttemperatur på värmelagret som kan accepteras. Verkningsgraden på ett värmelager kan förbättras genom pumpning ur flera uttagsbrunnar för att få en jämnare fördelning av infiltrationen. Det bör dock nämnas, att det krävs fullskaleförsök med pumpning under en hel inlagringssykel för att få en fullständig bild och klarhet i hur ett värmelagringssystem fungerar här. Dock visar resultatet att ett värmelagringssystem inom det aktuella området fungerar.

#### 4.4 Uttagmöjligheter

Grundvattenmagasinet utgöres av Högsbyåsens centrala del. Åsen består av grus och sand och mycket goda uttagmöjligheter råder. Uttagmöjligheterna förbättras avsevärt genom inducerad infiltration av Emåns ytvatten. Vid ett uttag av 31 l/s erhålles en avsänkning av ca 1,3 m i uttagsbrunnen BI och ca 1 m i det omgivande grundvattenmagasinet. Brunnen har hög effektivitet och dess verkningsgrad uppgår till ca 90 %. Grundvattenmagasinets hydrauliska egenskaper har kunnat bestämmas till:

$$\begin{aligned}
 T &= 1,5 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s} \\
 TB &= 1 - 1,4 \text{ m}^3/\text{s} \\
 B &= 70 - 100 \text{ m} \\
 E &= 0,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Transmissiviteten,  $T$ , som utgör ett mått på den vattenförande formationens horisontella vattengenomsläpplighet är hög. Utifrån detta värde har grundvattenmagasinets bredd,  $B$ , beräknats till ca 70 - 100 m, vilket väl överensstämmer med den geologiska bilden. Grundvattenmagasinets längd uppgår till ca 300 m. Läckagefaktorn,  $E$ , visar ett inläckage av ytvatten från Emån och således hydraulisk kontakt.

Sammanfattningsvis råder mycket goda uttagmöjligheter inom "värmelagret". Stora grundvattenuttag kan göras. För att optimera värmeinlagring respektive uttag, krävs dock att man utarbetar en pumpningsstrategi.

#### 4.5 Hydrauliskt samband

Utförda nivåmätningar i samband med provpumpningen visar god följsamhet mellan yt- och grundvattennivåer. Dock visar avsänkingsbilden att den bästa hydrauliska kontakten mellan Emån och grundvattenmagasinet, finns i den norra delen.

Den huvudsakliga infiltrationen beräknas alltså ske vid den norra delen av grundvattenmagasinet, ca 300 m från BI. Här finns genomsläppliga grus- och sandlager i anslutning till Emån. Söder därom vid Rb 8508 -09-01, råder sämre förutsättningar för infiltration p g a finsediment med låg permeabilitet (vattengenomsläpplighet).

Jordlagrens permeabilitet, vid Rb 8502, har beräknats till ca  $1 \cdot 10^{-2}$  m/s. Detta medför en verklig vattenflödes hastighet av ca 8 m/dygn. Det bör då ta ca 40 dygn för det infiltrerade åvattnet att nå uttagsbrunnen BI. Den "termiska fronten" rör sig med 1/3 av vattenhastigheten och når BI efter ca 120 dygn. Detta överensstämmer väl med resultatet från den termohydrauliska modellen, se avsnitt 7.

#### 4.6 Grundvattenkvalitet

Grundvattnets kemiska beskaffenhet är av stor betydelse för brunnsutformning och materialval i ingående komponenter. Analysresultatet i tabell 3 avser ett vattenprov, taget ur BI i samband med provpumpningen 1986.02.13. Provet är taget efter ca 1 tim pumpning.

Tabell 3 Vattenanalys BI

Färg	mg/l Pt	<5.0
Grumlighet	FTU	0.40
Lukt, styrka		ingen
Lukt, art		-
Bottensats		ingen
pH		6.3
Konduktivitet	mS/m	21
Permanganattal	mg/l	6.0
Ammonium	mg/l	<0.05
Nitrit	mg/l	<0.01
Nitrat	mg/l	6.2
Fosfat	mg/l	<0.01
Järn, tot	mg/l	0.09
Mangan	mg/l	<0.01
Sulfat	mg/l	22
Bikarbonat	mg/l	45
Klorid	mg/l	17
Fluorid	mg/l	0.30
Kalcium	mg/l	14
Magnesium	mg/l	4.3
Totalhårdhet/dH	o dH	3.0
Kolsyra, marmoragg/best	mg/l	20
Kiselsyra	mg/l	11
Kalium	mg/l	2.0
Natrium	mg/l	15

Som framgår av analyssammanställningen har vattnet lågt pH, omkring 6.3, samt mycket mjukt, ca 3.0<sup>o</sup> dH. Vattnet är aggressivt, med tämligen hög halt marmoraggressiv kolsyra.

Halterna av järn och mangan är låga och några igensättningsproblem föreligger inte. Övriga analyserade parametrar såsom kväve, fosfor, sulfat, fluorid m fl är genomgående låga.

Resultatet visar att ingående komponenter bör väljas utifrån ett aggressivt, korrosivt vatten. Vattenledningar bör utföras i PVC-plast och övriga komponenter i rostfritt stål. Någon risk för igensättningar bedöms inte finnas.

Under framtida drift kommer sannolikt grundvattenkvaliteten att förändras, beroende på vattenutbytet med Emån. Förväntade förändringar är främst förhöjda halter av mangan och organiska ämnen samt sänkt hårdhet och nitrathalt.

## 5 BEFINTLIGT VÄRMESYSTEM FÖR Högsholms- och Fröviskolans Värmecentraler

### 5.1 Allmän Orientering

Högsholms- och Fröviskolans Värmecentraler har sin geografiska placering som framgår av planskissen enligt bilaga.

Värmecentralerna har idag sin värmeproduktion baserad på en kombination av olja och träspån där merparten av energin alstras av spånet. Energin används för tappvarmvatten och för uppvärmning av lokaler via konventionella radiatorer och till en mycket liten del tilluftsaggregat.

## 5.2 Beskrivning av värmesystemen

Högsholms- och Fröviskolans panncentral:

Anläggningarna har till sina huvuddelar varit i drift sedan början av 1960-talet och är uppdelade på tre separata pannenheter i varje central. Panneffekterna är för Högsholm: 1000, 830 och 400 kW och för Frövi: 580, 1200 och 1450 kW.

Samtliga pannor har eldningsanordningar för fastbränsle i form av träspån och för eldningsolja, EO3 resp EO1.

Spånet tas från en under mark befintlig täckt spånficka och matas via en skruvanordning till en stokerskruv vars driftintervaller manuellt justeras efter värmebehovet. Spånet tillföres via stokerskruven i pannbotten till en fast rooster. En oljebrännare är horisontellt monterad i pannväggen ovanför fastbränslefyren. Vid fastbränsledrift är oljebrännaren normalt utsvängd.

Spjällen för tillförsel av förbränningsluft till fyren justeras även manuellt. Optimering av luftöverskott, rökgastemperaturer etc kan inte intrimmas med hänsyn till bästa ekonomi utan installeras med hänsyn till bästa funktion på förbränningsutrustningen. Detta medför att problem ofta uppstår med låga rökgastemperaturer med kondens i rökgassystem som följd. Det är speciellt cyklonutrustningen för avskiljning av flygaska som drabbas av dessa störningar.

Fukt/frysproblem inträffar även i inmatningen av spån och resulterar inte sällan i driftavbrott då oljebrännarna måste startas upp.

## 5.3 Energi- och effektbehov

Genom att studera bränslelenotor från år 1979 - 1985 har följande förbrukningssiffror framräknats:

	Totalt m <sup>3</sup> EO3/EO1	Medelv per år EQ3/EO1 m <sup>3</sup>	Totalt m <sup>3</sup> spån	Medelv per år spån m <sup>3</sup>	Medelv energi per år olja + spån MWh
Högsholm	557	79,6	50734	7248	4782
Frövi	966,5	138,1	27306	3901	3604

Med årsverkningsgrad 60 % blir genomsnittsenergin till värmenät ca 2870 MWh/år för Högsholm och motsvarande 2162 MWh/år för Frövi.

Oljeandelen har för Högsholm i medeltal varit ca 18 % och för Frövi ca 41 % för ovannämnda tidsperiod.

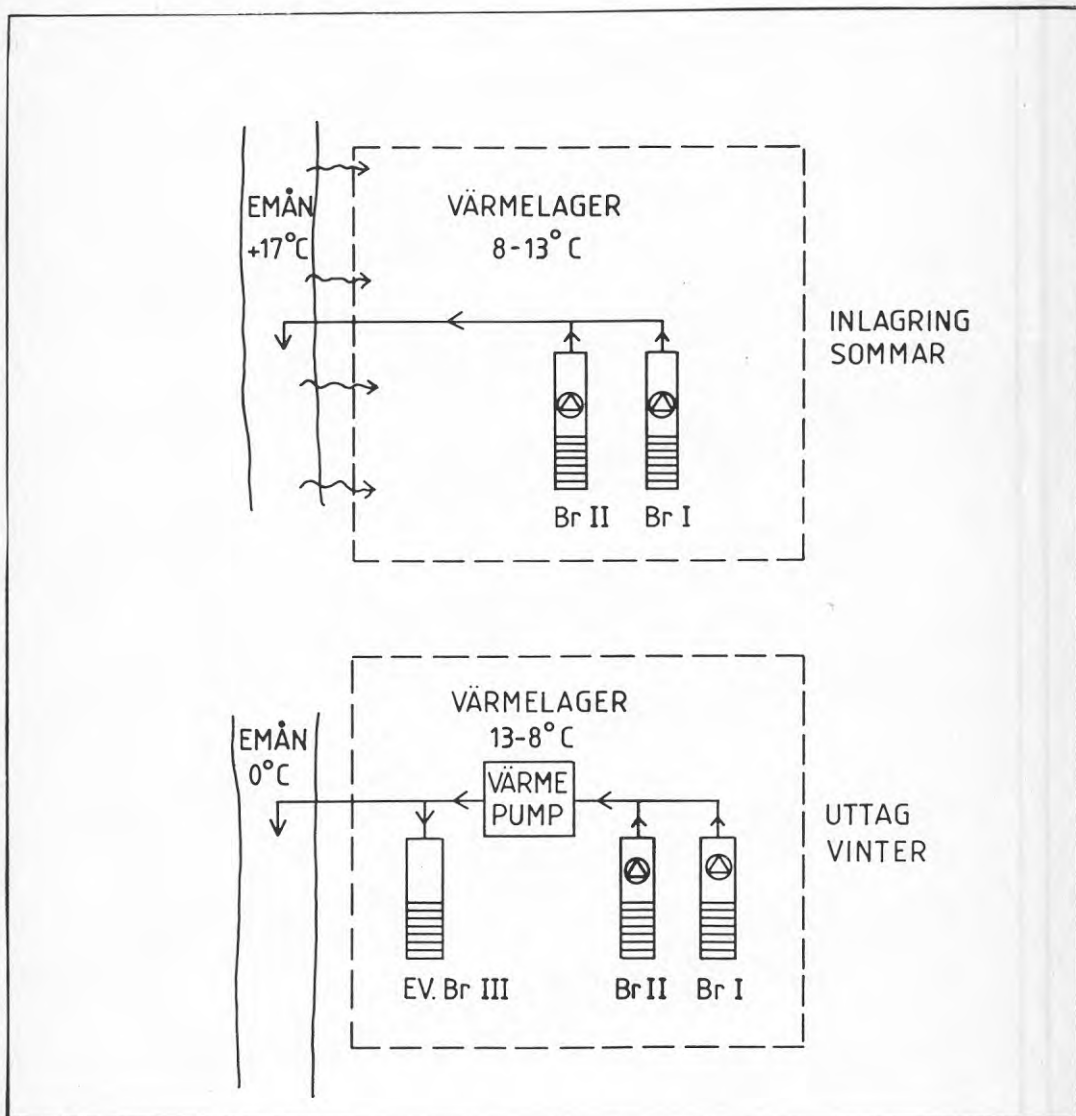
Pannornas inkoppling kalla dagar vintertid indikerar på ett maximalt effektuttag för närvarande till värmenätet

Högsholm	1, 2	MW
Fröviskolan	0,8	MW

## 6 SYSTEMUTFORMNING

6.1 Värmekällan

För Högsholms och Fröviskolans energiförsörjning finns goda förutsättningar för användning av värmepump och grundvatten från Högsbyåsen. För att höja grundvattnets temperatur inlagras sommarvarmt ytvatten från den angränsande Emån genom inducerad infiltration.



Figur 8 Värmelagringssystem för inducerad infiltration vid Högsby - systemutformning.

Inlagring beräknas kunna ske under ca 4 månader, med en genomsnittlig temperatur på åvattnet av ca 17°C.

Genom ett stort grundvattenuttag, uppvärms grundvattenmagasinet genom inducerat sommarvarmt åvatten. Genom att placera uttagsbrunnarna lämpligt kan stora akvifervolymer värmas upp till en temperatur av ca 13°C.

Vintertid tas den inlagrade energin tillvara genom pumpning med lägre kapacitet. Vid ett grundvattenuttag av 15 l/s medför föreslaget värmepumpssystem en temperatursänkning av ca 10°C.

För att förhindra alltför stort inläckage av kallt åvatten till grundvattenmagasinet vintertid, kan värmepumpens kylda returvatten återföras i en brunn, placerad nära ån. Härigenom erhålles en lokal höjning av grundvattennivån som motverkar en infiltration. Alternativt släpps returvattnet direkt tillbaka i ån.

Dimensionerande för möjlig lagrad energimängd blir den termiska transporthastigheten i grundvattenmagasinet. Infiltrationen av åvattnet sker i en förhållandevis kort kontaktsträcka mellan ån och åsen vid den norra delen av grundvattenmagasinet. Detta medför ett trögt inlagringssystem och det krävs sannolikt lång inlagringstid, ca 4 månader, för maximal inlagring. Inlagringen bör kunna forceras genom ett ökat grundvattenuttag och inlagringstiden avkortas. Härigenom blir inlagringen effektivare om den utföres under juni - augusti, då Emån har maximal vattentemperatur. Genom spridning av flera uttagspunkter bör inlagringen ytterligare kunna effektiviseras.

Kostnaderna för utförande av flera uttagsbrunnar samt ökat grundvattenuttag bör dock jämföras med energivinsterna i samband med effektivare inlagring.

## 6.2 Värmepumpssystemet

Värmepumpssystemet bör utformas som ett konventionellt värmesystem, baserat på grundvatten. Tanken är att utnyttja de två befintliga värmecentralerna med tillhörande värmesystem i så stor grad som möjligt. Det innebär att värmepumparna dimensioneras för och försörjer de värmeförbrukare som uppvärms via de befintliga centralerna.

Således bör Fröviskolan uppvärmas med en värmepump, placerad i Frövi värmecentral på ca 375 kW installerad effekt. I Högsholms värmecentral, som försörjer flertalet bostadshus, kommunhuset, ålderdomshem m m placeras en värmepump med en installerad effekt av ca 550 kW.

Detta innebär att ca 45 % av maximalt effektuttag och ca 80 % av energiförbrukningen produceras med värmepumparna vid en årsvärme-faktor av ca 2,5. Återstående värmebehov täcks med oljeeldning i befintliga anläggningar.

Värmepumparna försörjes med grundvatten via markförlagda vattenledningar från uttagsbrunnarna. Ledningssystemet omfattar således ledning till respektive värmecentral samt ledning för returvattnet till Emån. Alternativt pumpas vattnet tillbaka till grundvattenmagasinet via en återföringsbrunn.

## 7 TERMOHYDRAULISKA MODELLBERÄKNINGAR

### 7.1 Allmänt

Det långsträckta grundvattenmagasinet utgör det egentliga värmelagret. Den huvudsakliga infiltrationen beräknas ske vid den norra delen av värmelagret och en strömning sker i längdriktningen mot uttagsbrunnen. Beräkningsmodellen arbetar därför med endimensionell strömning och temperaturrörelser.

Ingångsdata och årliga förutsättningar har valts utifrån provpumpningsresultaten. Härmed kan jämförelser göras mellan resultatet från praktiska försök och de teoretiska beräkningarna.

Modellarbetet gäller inlagring av sommarvarmt ytvatten in till ett grundvattenmagasin med lägre temperatur. Detta innebär mindre omblandning av vattnet och kortare inlagringstider än vintertid, då ett kallare ytvatten infiltreras.

### 7.2 Termisk transporthastighet

Uttrycket för termisk transporthastighet kan skrivas som i ekv 1.

$$v_T = \frac{C_W}{C_A} \cdot q_W = \frac{C_W}{C_A} \cdot T \cdot \frac{i}{H} \quad (1)$$

där  $C_W$  = värmekapacitet för vatten ( $J/m^3 K$ )

$C_A$  = värmekapacitet för akvifer ( $J/m^3 K$ )

$q_W$  = hydraulisk bruttost hastighet (m/s)

$T$  = transmissivitet ( $m^2/s$ )

$H$  = akvifermäktighet (m)

$i$  = hydraulisk gradient

Under uttagsperioden utbildas en gradient mellan uttagsbrunnen och återföringsbrunnarna. Under provpumpningen var uttaget 31 l/s och härvid erhöles en gradient motsvarande 1.15 o/oo.

#### Ingångsdata

$$C_W = 4.18 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \text{ K}$$

$$C_A = 2.2 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \text{ K}$$

$$T = 1.4 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$H = 10 \text{ m}$$

Av detta kan den termiska transporthastigheten beräknas till 2,6 m/dygn.

### 7.3 Inlagring

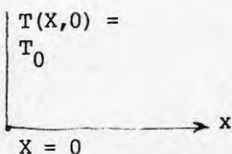
Vid beräkning av temperaturfrontens rörelse under en inlagringscykel har följande antaganden och förenklingar gjorts:



- Värmetransporten sker i ett 1-dimensionellt system
- Stationära hydrauliska förhållanden råder
- Akviferen har starttemperaturen  $+7^{\circ}\text{C}$
- Inläckande vatten har medeltemperaturen  $+17^{\circ}\text{C}$
- Hela magasinet medverkar hydrauliskt och termiskt
- Energiutbyte mellan akvifer och omgivning sker endast via inläckande resp uttagna vattenmängder.

Temperaturfrontens rörelse i akviferen kan beskrivas genom nedanstående ekvation (2), där  $\Delta T$  utgör temperaturförändringen i en punkt (x) vid tiden (t)

$$\Delta T = \frac{T_1 - T_0}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{x - v_t \cdot t}{\sqrt{4at}} \right) \quad (2)$$

$$T = T_1 = \begin{cases} T(X, 0) = \\ T_0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} t > 0 \\ x = 0 \end{array}$$


där  $T_1$  = inläckande vattnets medeltemperatur

$T_0$  = starttemperatur i gv-magasinet

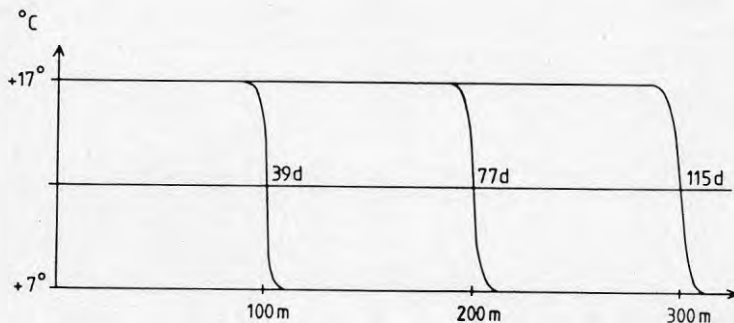
t = inlagringstid

$v_t$  = termisk transporthastighet

$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \text{ (m}^2/\text{s)} = 1,0 \times 10^{-6}$

$\operatorname{erfc}(x, t)$  är en s k "error"-funktion, definierad i bl a Claesson m fl 1985.

Utgående från ovanstående ekvation kan temperaturfrontens spridning i grundvattenmagasinet längs åsen beskrivas i nedanstående diagram.



Figur 9 Temperaturfrontens spridning i grundvattenmagasinet.

#### 7.4 Slutsats

Ett uttag av drygt 30 l/s ur uttagsbrunnen BI innebär en termisk transporthastighet av 2,6 m/dygn, vilket motsvarar en inlagringstid av ca 4 månader för inlagring av hela värmelagrets längd, ca 300 m. Det är således ett tämligen trögt värmelagringssystem, varför det är väsentligt att optimera brunnslägen och pumpningsstrategi under sommar- respektive vinterperiod.

För att kunna höja temperaturen maximalt under inlagringsperioden bör grundvattenuttaget under denna tid vara minst dubbelt så stort som uttaget under vinterperioden, d v s närmare 40 l/s. Som tidigare har nämnts bör inlagringen kunna effektiviseras genom forcerat grundvattenuttag och/eller pumpning vid flera uttagspunkter.

### 8 EKONOMI

#### 8.1 Investeringar

Komplettering av värmecentralerna Frövi och Högsholm med varsitt värmepumpsystem baserat på grundvattenvärme/lagring och en värmepump i varje central på 375 kW respektive 550 kW, beräknas ha följande behov av investeringar:

	Kronor
Brunnar	
1 st komplett inkl pump och överbyggnad (ev 1 st dito)	80 000:- (80 000:-)
Komplettering av befintligt borrhål med pump och överbyggnad	30 000:-
Ledningar ca 740 m PVC-rör ansl 65-125	400 000:-
Värmepumpar 375 kW + 550 kW	1 250 000:-
Ev tillbyggnad för värmepumpar	200 000:-
Instrument- och styrutrustning inkl el	500 000:-
VVS-installationer i värmecentraler	300 000:-
Projektering och kontroll	200 000:-
Oförutsett, 15 %	<u>456 000:-</u>
	3 496 000:-
	Ca 3 500 000:-

## 8.2 Årskostnader för värmepumpdriften

### 8.2.1 Kapitalkostnader

Kapitalkostnaden beräknas enligt real annuitetsmetod med en avskrivningstid på 15 år och realräntan 4 %.  
Annuitetsfaktor = 0,08994.

Årlig annuitet	315 000:-
----------------	-----------

### 8.2.2 Elenergi kostnader

Energi kostnaderna för värmepumpar och grundvattenpumpar utgöres av elenergi med ett översiktligt elpris av ca 300 kr/MWh.

Elkostnad, värmepump 4025 MWh x 1/2,5	483 000:-
---------------------------------------	-----------

Elkostnad, grundvattenpumpar	54 000:-
------------------------------	----------

Summa elenergi kostnader	<u>537 000:-</u>
--------------------------	------------------

### 8.2.3 Drift- och underhållskostnader

Överslagsmässigt har dessa kostnader uppskattats till ca 2 % av investeringskostnaden på 3,5 miljoner kronor.

Årlig drift och underhåll 3,5 Mkr x 2 % =	<u>70 000:-</u>
---	-----------------

### 8.2.4 Total årskostnad för värmepumpsdrift

Den sammanlagda årskostnaden uppgår därmed till	<u>922 000:-</u>
---	------------------

## 8.3 Lönsamhet

### 8.3.1 Allmänt

De befintliga värmeproduktionsanläggningarna är så pass gamla och oekonomiska i drift, att de behöver bytas ut inom några år. Omedelbara åtgärder erfordras för båda anläggningarna, för att uppfylla de nya kraven vad avser eldning i fastbränsleeldade anläggningar.

Åtgärderna är relativt omfattande och dyrbara, om man vill behålla fastbränsleledningen i fortsättningen. Tills vidare eldas på dispens.

Det är därför realistiskt att räkna med nya fastbränsleanläggningar i den ekonomiska lönsamhetsjämförelsen med värmepumpsalternativet.

### 8.3.2 Ny fastbränsleanläggning

Kapitalkostnader beräknade enl förutsättningar pkt 8.2.1 baserat på investering för nya fastbränsleanläggningar för 3,5 Mkr.

<u>Kapitalkostnad</u>	315 000:-
<u>Energikostnader:</u>	
El, uppskattat	10 000:-
Bränsle motsvarande 5032 MWh/år, fördelat på 217 m <sup>3</sup> olja à 1800 kr/m <sup>3</sup> och 11 150 m <sup>3</sup> spån à 52:-/m <sup>3</sup>	970 400:-
<u>Drift och underhållskostnader</u>	
Uppskattas till kostnad för ca ett manår	200 000:-
<u>Total årskostnad</u> i nya fastbränsleanläggningar	<u>1 495 400:-</u>

### 8.3.3 Värmepumpsanläggning

<u>Årskostnad</u> för värmepumpdrift enligt pkt 8.2.4	922 000:-
Med ca 80 % energitäckning med värmepumpar krävs tillskott av <u>olja</u> motsvarande 126 m <sup>3</sup> à 1800 kr/m <sup>3</sup>	226 400:-
<u>El</u> , 10 000:- x 20 %	2 000:-
<u>Drift och underhåll</u> 200 000 x 20 %	40 000:-
Total årskostnad för värmepumpsalternativ	1 190 400:-

### 8.3.4 Jämförelse värmepumpar/fastbränsle

Värmepumpsalternativet är ca 300 000:- billigare per år än fastbränslealternativet.

## 9 SAMMANFATTNING

Möjligheterna att utnyttja naturvärme för uppvärmningsändamål i Högsby har undersökts 1984 - 1986 i en förstudie som bekostas av Byggforskningsrådet (BFR). Högsby kommun har stått som huvudman för projektet, medan VIAK:s Jönköpingskontor har svarat för utredningsarbetet.

- Målsättning med projektet har varit att utreda förutsättningarna att vid Högsby samhälle, Kalmar län, utnyttja Högsbyåsen - Emån för ett värmelagringssystem i grundvattenmagasin.
- Genom Högsby löper Emån och Högsbyåsen parallellt med varandra. Principen för ett tänkt värmelagringssystem är att varmt ytvatten fås att infiltrera till grundvattenmagasinet i åsen sommartid genom ett stort grundvattenuttag ur åsen. Magasinet värms på så sätt upp. Den inlagrade värmeenergin kan tillgodogöras genom grundvattenuttag under uppvärmningssäsongen via värmepumpsteknik.
- Det tänkta värmelagret är beläget inom den norra delen av tätorten och utgöres av åsens centrala del. Den är väl avgränsad och består av grusigt - sandigt jordmaterial med goda uttagsmöjligheter. Omgivningen utgöres av finsediment, morän och berg. Grundvattenmagasinet är långsträckt i nord - sydlig riktning. Vid magasinets norra del råder god hydroraulisk kontakt mellan ån och åsen. Här sker den huvudsakliga infiltrationen av åvatten.
- Utredningen visar på att ett värmelagringssystem bör fungera. Värmelagret är trögt, vilket medför förhållandevis lång inlagringstid, ca 4 månader för maximal energilagring. Inlagringen bör dock kunna effektiviseras genom ett försekrat grundvattenuttag och uttag i flera punkter.
- Lämpliga energiförbrukare är två kommunala värmecentraler, Högsholms- och Fröviskolans värmecentral. Värmecentralerna har idag sin värmeproduktion baserad på en kombination av olja och träspån, där merparten av energin alstras av spånet. Maximalt effektuttag för närvarande är 1,2 MW respektive 0,8 MW, vilket medför en energiförbrukning av ca 2900 MWh/år respektive 2000 MWh/år.
- Anläggningen förutsättes utnyttja ett grundvattenflöde av ca 15 - 20 l/s och tillvarata erforderlig värme ur vattnet för att täcka värmepumparnas behov.
- Det torde vara lämpligt att komplettera värmecentralerna Frövi och Högsholm med var sitt värmepumpsystem, baserat på grundvattenvärme/lagring med värmepumpseffekterna 375 kW resp 550 kW. Detta innebär att ca 45 % av maximalt effektuttag och ca 80 % av energiförbrukningen produceras med värmepumparna. Återstående värmebehov täcks med oljeeldning i befintlig anläggning.

Investeringen för en utbyggnad av värmelagret samt en installation av en total värmepumpskapacitet av 0,9 MW har beräknats till ca 3,5 Mkr.

Årskostnaderna torde bli ca 300 000:- lägre än motsvarande för en ny fastbränsleanläggning.

## REFERENSER

- Hydén H, Emmelin A, 1983: Värmelagring i akviferer i Sverige BFR R66:1983.
- Gustafsson G, Rytting P-A, 1983: Energilagringsprojekt sjö - jord, Förstudie - Rapport VIAK, Falun 1983.
- Landberg J m fl, 1986: Akvifervärmelager för Försingaskolan i Sjöbo, Förstudie - BFR R28:1986.
- VIAK AB, 1982: Grundvattenvärme Högsby Bostads AB - Jönköping 1982.06.23.

SAMMANSTÄLLNING AV BORRNINGSRISULTAT

BILAGA A:1

Borrningarna är utförda med 50 mm stålrör med spets. Rören är vid spetsen perforerade med 8 mm hål på en längd av 1 m. Bedömning av jordlager och vattengenomsläpplighet har utförts i fält.

**Förkortningar:**

Rb = Rörborrningar  
 rök = Rör överkant  
 my = Markyta  
 gvy = Grundvattenyta 1986.02.13

Rörborrning	Djup i m under my	Jordlager	Bedömd vatten- genomsläpplighet
Rb 8501	0 - 3,0	Silt	Dålig
	3,0 - 5,0	Grusig finsand	Dålig
rök +65,74 m	5,0 - 8,0	Mellansand	God
my +65,0 m	8,0 - 12,3	Grovsand	Mycket god
gvy +63,13 m	12,3 - 14,0	Grusig grovsand	Mycket god
	14,0 - 15,0	Sand	God
	15,0	Fortsatt drivning möjlig	
Rb 8502	0 - 4,5	Grusig sand	Mindre god
rök +66,22 m	4,5 - 7,0	Grusig sand	God
my +65,6 m	7,0 - 11,7	Sandigt grus	Mindre god
gvy +63,23 m	11,7	Stopp mot block eller berg	
Rb 8503	0 - 7,5	Silt	Dålig
	7,5 - 19,0	Lera	Dålig
rök +71,39 m	19,0 - 20,0	Finsand	Mindre god
my +70,73 m	20,0 - 25,5	Mellansand	Mindre god
gvy +63,27 m	25,5 - 28,5	Mellansand	God
	28,5	Stopp mot block eller berg	



Rörborrning	Djup i m under my	Jordlager	Bedömd vatten- genomsläpplighet
<b>Rb 8504</b>	0 - 7,0	Stenigt grus	Mycket god
	7,0	Stopp mot block	
<b>Rb 8505</b>	0 - 9,7	Stenigt grus	Mycket god
	9,7	Stopp mot block	
<b>Rb 8506</b>	0 - 9,3	Lera	-
rök +71,05 m	9,3 - 9,8	Silt	Mindre god
my +70,3 m	9,8	Block eller berg	
gvy +63,32 m			
<b>Rb 8507</b>	0 - 3,0	Silt	-
	3,0 - 5,8	Siltig sand	-
rök +73,95 m	5,8 - 8,5	Siltig grusig sand	-
my +73,2 m	8,5 - 11,5	Grus sand	
gvy +63,35 m	11,5 - 11,9	Sand	God
	11,9	Block eller berg	
<b>Rb 8508</b>	0 - 2,0	Mellan - finsand	Mindre god
	3,0 - 4,5	Mellansand	Mindre god
rök +64,97 m	4,5 - 12,5	Silt	Dålig
my +64,2 m	12,5 - 13,0	Finsand	Mindre god
gvy +63,19 m	13,0 - 14,6	Mellan - grovsand	Mindre god
<b>Rb 8509</b>	0 - 3,0	Siltig sand	Mindre god
	3,0 - 5,8	Siltig sand	Dålig
rök +64,92 m	5,8 - 18,0	Lera	Dålig
my +64,1 m	18,0 - 20,8	Silt	Dålig
gvy +63,20 m	20,8 - 23,5	Finsand	Dålig

Uttagsbrunn	Djup i m under my	Jordlager	Bedömd vatten- genomsläpplighet
<b>Br 4</b>	29,0	Grus och sand	God - mycket god
rök +74,18 m			
my +73,9 m			
gvy +63,35 m			
<b>BI</b>	0 - 6	Stenigt sandigt grus	-
rök +74,53 m	6 - 12	Sandigt grus	God
my +74,1 m	12 - 17	Grus	Mycket god
gvy +63,37 m	17 - 24	Grovsand	God
	24 - 25,5	Grusig sand	Mycket god
	25,5 - 26,0	Grovsand	Mycket god
	26,0 - 27,5	Grusig sand	God
	27,5 - 29,2	Stenigt sandigt grus	Mycket god
	29,2 -	Berg	

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840492-8  
från Statens råd för byggnadsforskning till Högsby kommun,  
Högsby.**

**R70: 1987**

**ISBN 91-540-4756-0**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6707070**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

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

**Cirkapris: 30 kr exkl moms**