



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

R65:1981

Värmeupptagning ur bottensediment i sjöar

Förstudie

Jan Nordling
Kaj Sandart

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	81-1070
Plac	<i>Ser</i>

v/s

Byggeforskningsrådet

Ser

R65:1981

VÄRMEUPPTAGNING UR BOTTENSEDIMENT I SJÖAR

Förstudie

Jan Nordling
Kaj Sandart

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 781555-6
från Statens råd för byggnadsforskning till Scandiaconsult
AB, Stockholm.

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

R65:1981

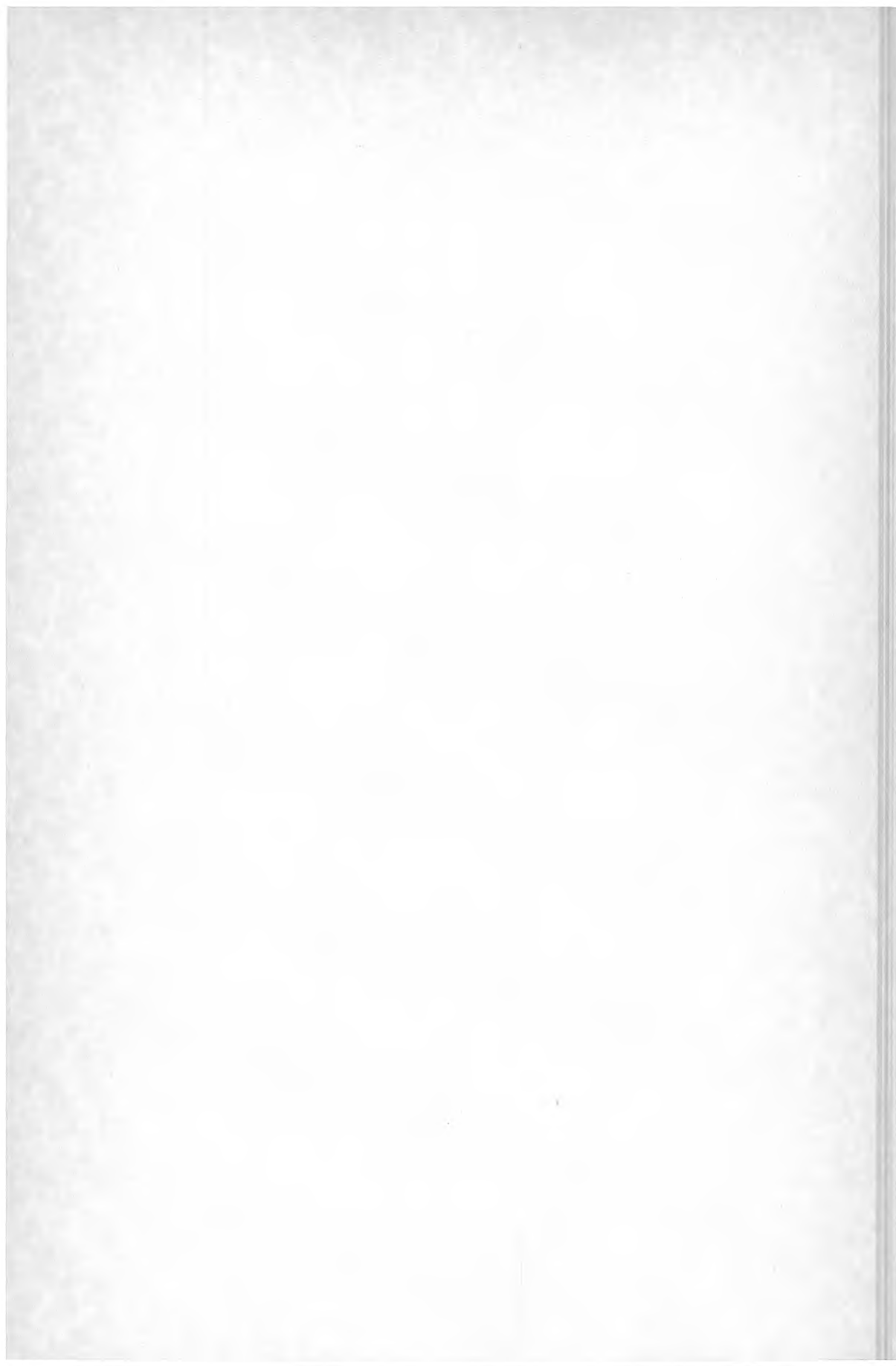
ISBN 91-540-3510-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 153627

INNEHÅLL

1	PROBLEMET, DESS BAKGRUND OCH AVGRÄNSNINGAR	5
1.1	Bakgrund	5
1.2	Bottensedimentets biologiska och termiska egenskaper	8
1.2.1	Sediment	8
1.2.2	Termiska egenskaper	10
1.2.3	Temperaturvariationer under året	10
1.2.4	Matematisk modell av sedimentets värmeflöde	13
1.2.5	Övriga värmetilskott	14
1.3	Värmeupptagare	15
1.3.1	Horisontala rör	15
1.3.2	Vertikala rör	19
1.4	Miljöaspekter	21
1.5	Datorsimulering	22
2	PROJEKTETS SYFTE	23
3	FORSKNINGSPROGRAM	24
4	NYTTIGGÖRANDE	25
3	TIDPLAN - SEDIMENTPROJEKTET	25



1. PROBLEMET, DESS BAKGRUND OCH AVGRÄNSNINGAR

I föreliggande studie dras riktlinjer upp för en utredning angående möjligheterna att utnyttja sjöars bottensediment som värmekälla, alternativt värmelager, för värmepumpanläggningar.

1.1. Bakgrund

I sökandet efter alternativa värmekällor för bostadsuppvärmning har mycket forskning och intresse knutits till värmepumpen. Olika värmekällor för värmepumpen har undersökts mer eller mindre noggrant. En sammanställning över idag använda värmekällor med fördelar och nackdelar återfinns i tabell 1.

De idag mest använda värmekällorna för mindre värmepumpaggregat (typ småhus) är ytjordvärme och uteluft.

För större värmepumpanläggningar torde fränluft vara den vanligaste värmekällan även om industriellt spillvärme tas tillvara i allt högre grad.

I en av Orrje & Co - Scandiaconsult utförd och av Byggeforskningsrådet finansierad utredning "Sjöar och hav som värmekälla för en värmepumpanläggning" framkom som ett av delresultaten att sjöars bottensediment innehåller stora mängder värme vid relativt hög temperatur. Sedimentskikten i grunda vikar förefaller hålla den högsta medeltemperaturen under året. Då utnyttjande av botten-sediment i sjöar skulle kunna innebära att en annars outnyttjad yta kan användas för värmeproduktion har vi funnit det angeläget att närmare studera denna möjlighet.

VÄRMEKÄLLA	TEMPERATURNIVÅ	TILLGÄNGLIGHET	KOSTNAD FÖR VÄRMEUPPTAGARE	MILJÖASPEKTER	ÖVRIGT
Luft:	Låg när den som mest behövs (-20 till +20). Årsmedel i vårt land mellan 0 - +8°C.	Tillgänglig överallt	Billig, dock avfrostningsproblem vår och höst	Buller Utseende kan störa	
Mark: (ytjordvärme)	+2 - +8°C året runt beroende på var i landet man är	Kräver ca 60 m ² markyta per kW	Varierar med markbeskaffenhet, dock relativt dyr ca 750 kr/kW	Något försenad blomning i trädgård. Daggmaskar utrotas	Ev rörbrott kan vara dyrbara att reparera
Grundvatten:	Som för mark	Kräver god brunn samt återföring av vatten till mark. Vattenflöde ca 3,6 l/min . kW	Billig. I vissa fall korrosionsproblem	Kräver undersökning av grundvattenbalans. Begränsat användningsområde	Används endast i undantagsfall
Sjö:	Vintertid ca +4°C Sommartid upp till +20°C	Beror av belägenhet	Beror på vattnets kvalitet. Dyr Ispåfningsrisk	Kan ha positiv inverkan på sjöns syresättning	Ej lämplig för mindre anläggningar med året-runt drift. Vissa problem under del av året
Sol:	Hög, dock ej den kallaste dagen	Tillgänglig överallt, dock ej året runt	Dyr	Utseendefråga	Ej lämpad för året-runt drift utan ackumulering
Avloppsvatten:	10-20°C året runt	Beror av belägenhet	Dyr Beror på vattenkvalitet	Värmeupptagning urenat avloppsvatten kan störa efterkommande reningsprocess	Lämplig endast vid större anläggningar

VÄRMEKÄLLA	TEMPERATURNIVÅ	TILLGÅNGLIGHET	KOSTNAD FÖR VÄRMEUPPTAGARE	MILJÖASPEKTER	ÖVRIGT
Frånluft	20-25°C året runt	Med fläktstyrd ventilation	Billig	-	Större system endast. (Viss möjlighet för även villor i framtiden)
Industriellt spillvärme	Beror av industri Vanligt 20-50°C vid ex kondensorvärme	Beror av belägenhet	Kan vara billig	Kan förbättra miljön	Större system

1.2 Bottensedimentets biologiska och termiska egenskaper

1.2.1 Sediment

Sedimentet utgör en del av ekosystemet i en sjö. Ekosystemet består av en biotisk del (levande organismer) och en abiotisk del (icke levande substans).

Biotiska delen består av autotrofa (självförsörjande) organismer och heterotrofa (icke självförsörjande) organismer.

Till de heterotrofa organismerna hör alla djur, svampar och bakterier. De upprätthåller balansen inom ekosystemet genom att bryta ner organisk substans.

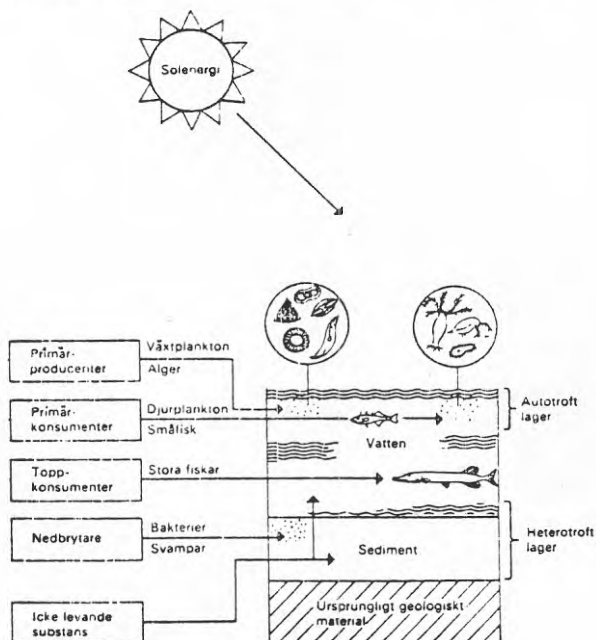


Fig 2.1 Sjöekosystemet

Sedimentet är det vattenrika dy- och lerlager som täcker sjöns botten. Sedimentets tjocklek är ofta betydande, speciellt för sjöar nära bebyggelse där mänskligt avfall under årens lopp lätt till igenväxning och snabb uppgrundning. Se som exempel ett längdsnitt av Lillsjön i Bromma, nordväst om Stockholm.

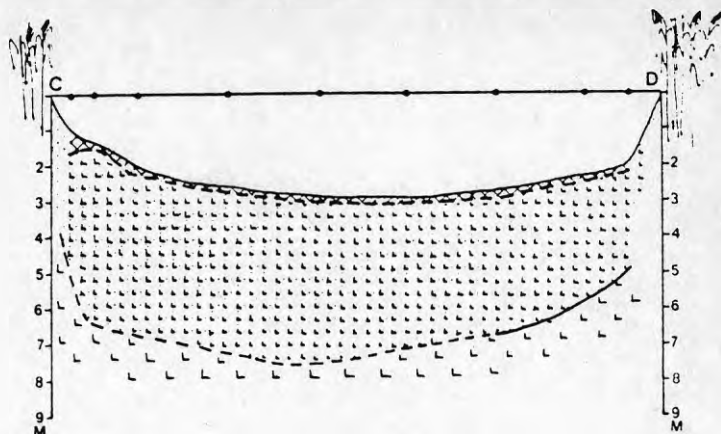


Fig 2.2 Sedimentets stratigrafi i Lillsjön

Lillsjöns totala vattenyta är 10,8 ha och medeldjupet är 1,85 m.

Sedimentets övre delar är mycket vattenrika. För sjön Velen i mellan-Sverige har omfattande undersökningar gjorts av sedimentets egenskaper. Man har funnit att det övre skiktet av sedimentet har följande sammansättning; vatteninnehåll ca 90 % (viktsprocent av våtsubstans). Den organiska halten uppgår till ca 35 % (viktsprocent av torrsbstans) och oorganiskt material 3 % (volymprocent av våtsubstans). Densiteten kan uppskattas till ca 1 040 kg/m³.

Figuren på nästa sida visar den vertikala variationen av vattenhalt och organisk halt i sedimentet.

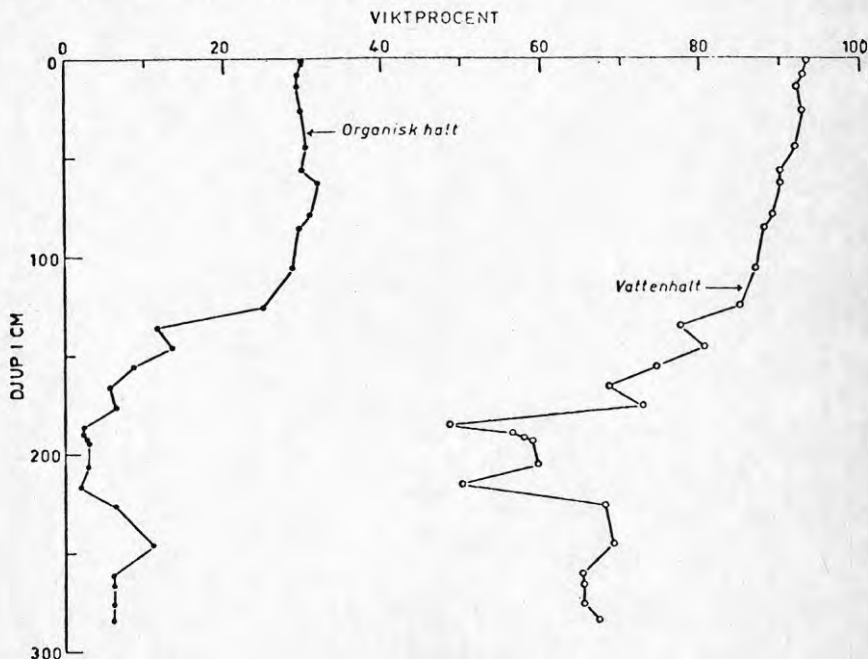


Fig 2.3 Vertikal variation av vattenhalt och organisk halt i sedimentet

1.2.2 Termiska egenskaper

Sedimentets termiska egenskaper är väsentliga vid bedömningen av den värmelagrande och värmeledande förmågan.

Sedimentstudier i sjön Velen har visat att värmekapaciteten, värmelednings- och temperaturledningskoefficienten avviker ytterst lite från vattnets egenskaper.

Värmekapaciteten i de övre sedimentlagren är ca $4 \times 10^6 \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}} \right)$

Ett medelvärde för mineralsubstansens värmekapacitet (C) i sedimentet är $2,3 \times 10^6 \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}} \right)$.

Värmeledningsförmågan (λ) är ca $0,7 \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \text{ } ^\circ\text{C}} \right)$, detta medför att temperaturledningsförmågan (a) blir ca $0,3 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$, då förhållandet mellan dessa tre storheter är följande

$$a = \frac{\lambda}{C}.$$

a = temperaturledningsförmåga (m^2/s)

λ = värmeledningsförmåga ($\text{W}/\text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$)

C = värmekapacitet ($\text{J}/\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$)

1.2.3 Temperaturvariationer under året

Värmeutbytet mellan vatten och sediment är betydande. Under uppvärmningsperioden tillförs sjöns botten stora värmemängder genom vattnet. Det är uppenbart att de grundare områdena belägna ovan språngskiktet,¹⁾ vilka har kontakt med varmt vatten under hela sommarstagnationen²⁾ kommer att tillföras större värmemängder än djuppartierna. Under höst och vinter transporteras värmen tillbaka till sjöns vattenmassa. Under den islagda perioden med omvänd skiktning kommer bottenvattnet i vikar och grur lömråden att uppvärmas. Därvid ökar bottenvattnets täthet och detta vatten strömmar utefter botten mot djupare områden.

I figur 2.4 visas några temperaturkurvor i sedimentet från sjön Velen. Diagrammen visar hur temperaturen några meter ner i sedimentet anpassas till grundvattnets temperatur.

- 1) Under sommaren bildas ett vattenskikt med mycket stor temperaturgradient, som kallas språngskikt.
- 2) Med utgångspunkt från temperaturförhållandet indelas året i en sjö i fyra perioder:
 - Vinterstagnation, vårcirkulation, sommarstagnation och höstcirkulation

Under vintern och sommaren utbildas sk termisk skiktning, som i djupare sjöar förhindrar utbyte av vatten mellan ytan och botten.

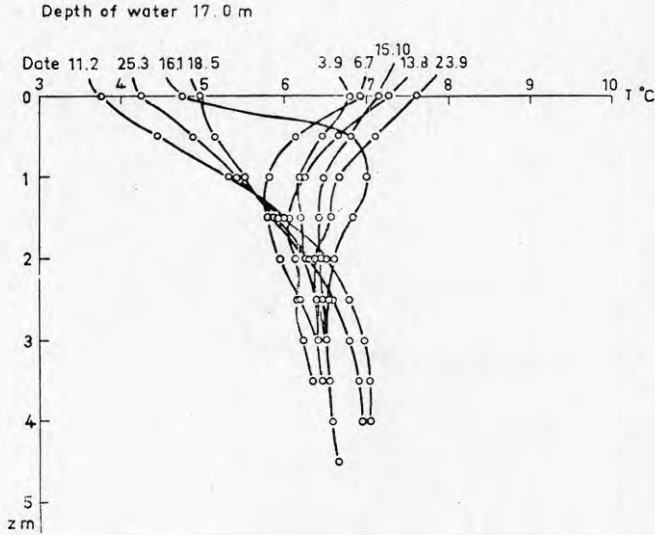
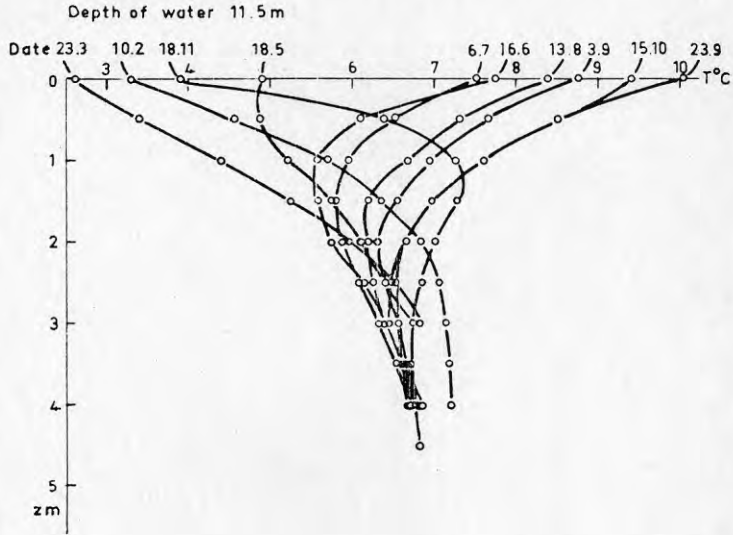


Fig 2.4 Temperaturvariationer under året på olika djup i sedimentet

Med ökande djup i sedimentet sker en färförskjutning av maximi- och minimitemperaturerna, dvs de förskjuts i tiden. Den låga temperaturledningskoefficienten i övre sedimentlagren gör att temperaturamplituden dämpas mycket snabbt med tilltagande djup i sedimentmassan.

Bestämningsmetoder för temperatur och värmeledningsförmåga bygger antaganden att värmeutbytet har ett sinusformat förlopp att bottenmaterialet är termiskt homogent utan påverkan av årsmedeltemperaturen.

Under dessa förhållanden gäller följande formel:

$$\frac{A_{t_{x1}}}{A_{t_{x2}}} = \text{EXP} -\left(\frac{\pi T}{a \cdot T}\right)^{\frac{1}{2}} \times (x_1 - x_2)$$

A_{t_x} = temperaturamplituden på nivå x (m)

a = temperaturledningsförmåga (m^2/s)

T = svängningstid (s)

Figuren nedan visar temperaturen i gränsskiktet mellan vatten och sediment på olika vattendjup under tiden augusti 1969 och augusti 1972 i sjön Velen.

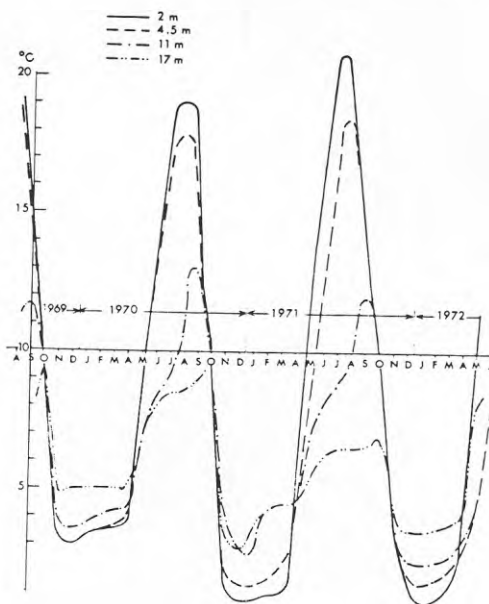


Fig 2.5

1.2.4 Matematisk modell av sedimentets värmeflöde

Värmeomsättningen i bottensedimentet kan beräknas på flera sätt. Nedan anges två vanliga metoder.

Metod 1

Denna metod bygger på att värmeledningsförmågan i de översta sedimentskiktet är känd. Dessutom krävs märkning av temperaturgradienten i övre skiktet. Värmeflödet kan då beräknas ur följande formel.

$$q = \Delta t \cdot \lambda$$

där:

$$\begin{aligned} q &= \text{värmeflödet (W/m}^2\text{)} \\ \Delta t &= \text{temperaturgradienten (C/m)} \\ \lambda &= \text{värmeledningsförmåga } \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}} \right) \end{aligned}$$

Metod 2

Metoden fordrar kännedom om det underliggande sedimentets värmeledningsförmåga och årsamplitud vid gränssytan mellan sediment och vatten.

Värmeutbytet förutsätter sinusformat temperaturförlopp.

$$Q = 2 \cdot A_t(O) \left[\frac{\lambda \cdot C \cdot T}{2 \cdot \pi} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\lambda = \text{värmeledningsförmåga } \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}} \right)$$

$$C = \text{specifikt värme } \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \text{C}} \right)$$

$$T = \text{svängningstid (s)}$$

$$A_t(o) = \text{den årliga temperaturamplituden i gränsskiktet mellan vatten och sediment. (Se figur 2.5)}$$

$$Q = \text{årsvärmebalans (J/m}^2\text{)}$$

Värmeflödet beräknas ur differensen i värmeinhåll mellan olika mättidpunkter.

Värmeflödet från sedimentet till vattnet har beräknats från temperaturgradienten i sedimentets översta halvmeterskikt i en vik i sjön Velen. Värmeledningsförmågan hos sedimentet har även här satts lika vattnets (metod 1).

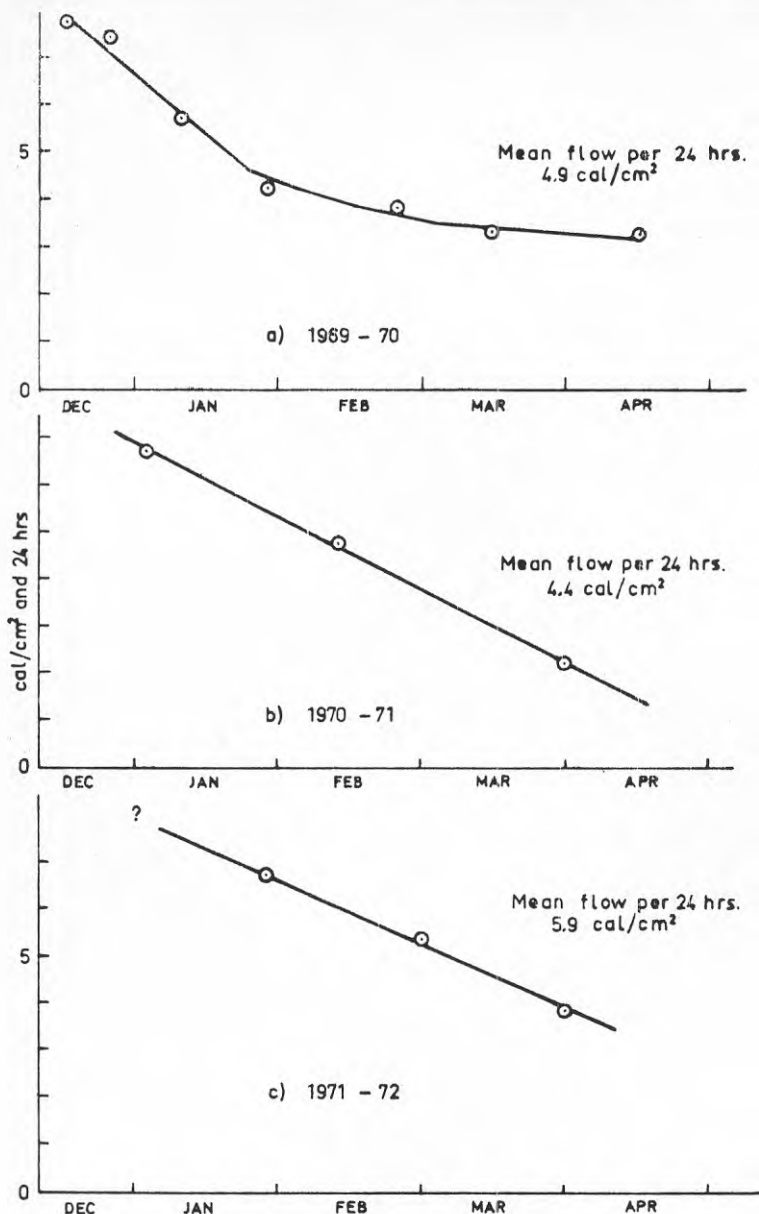


Fig 2.6 Värmefflöde från sediment till vatten

1.2.5 Övriga värmertilskott

Bottensedimentets värmertilförsel beror huvudsakligen på den solenergi som når sjön. Denna väremvågs nedträngningsdjup beror på uppvärmningstid och sedimentets värmeledningsförmåga. Nedanför skiktet med varierande temperaturgradienter finns, som tidigare sagts, skiktet utan säsongsvariationer med positiv linjär temperaturgradient. Anledningen till detta är det ständiga värmefflödet från jordens inre. En viss mycket litet värmemängd tillförs också sedimentet genom de oxidationsprocesser som fortgår i sedimentet.

1.3 Värmeupptagare

Med värmeupptagare avses i detta sammanhang den anordning som står i direkt kontakt med sedimenten och som överför det i sedimentet lagrade värmets till en värmebärare.

Värmebäraren kan vara en vattenbaserad lösning med någon lämplig frysskyddande tillsats som glykol, sprit eller salt. I de fall man vill utnyttja ett direkt system, dvs värmeupptagaren utgörs av en förångare, kommer värmebäraren att vara ett lämpligt köldmedium.

De faktorer som påverkar värmeupptagarens ekonomi är för resp kostnadstyp:

Kapitalkostnader påverkas av:

- material- och konstruktionskostnad
- monteringskostnad (nedläggning i sjö)
- livslängd

Drift- och underhållskostnader påverkas av:

- praktiskt kA-värde
- tryckfall i värmebärarkrets
- underhållskostnad, korrosion, ytförsmutsning m m

I det följande beskrivs översiktligt två grundtyper av värmeupptagare, horisontala resp vertikala rör, bl a med hänsyn till ovannämnda faktorer.

1.3.1 Horisontala rör

Horisontala rör som värmeupptagare används idag i stor utsträckning i samband med markvärmearbänläggningar (ytjordvärme). En sådan anläggning kan se ut som i fig 3.1 och beskrivs kortfattat nedan.

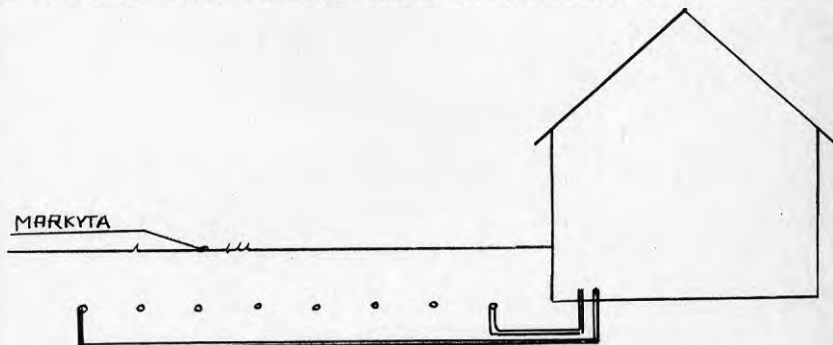


Fig 3.1 Ytjordvärmearbänläggning

Rören, eller plastslangar, lägges på 0,8-1,2 m djup och med 1,2 till 1,5 m delning mellan slangorna. För markvärmebruk anses lera vara idealiskt genom dess goda förmåga att magasinera värme. Med lera kan slangarna läggas på 0,8 m djup och med 1,2 m delning. Erforderlig slanglängd för ett normalhus blir vid lera ca 300 m.

Ovannämnda värden på slanglängder och läggningsdjup kan användas som en första approximation på hur ett värmeupptagningssystem i sediment skulle kunna utformas.

Vid utvinning av markvärme uttas den största delen av energin när markvattnet runt värmeupptagaren fryser. Markens energilevererande förmåga är därför en funktion av dess vattenhalt.

Den energimängd som idealt utvinnes vid frysning av 1 m³ material som funktion av materialets vattenhalt framgår av fig 3.2.

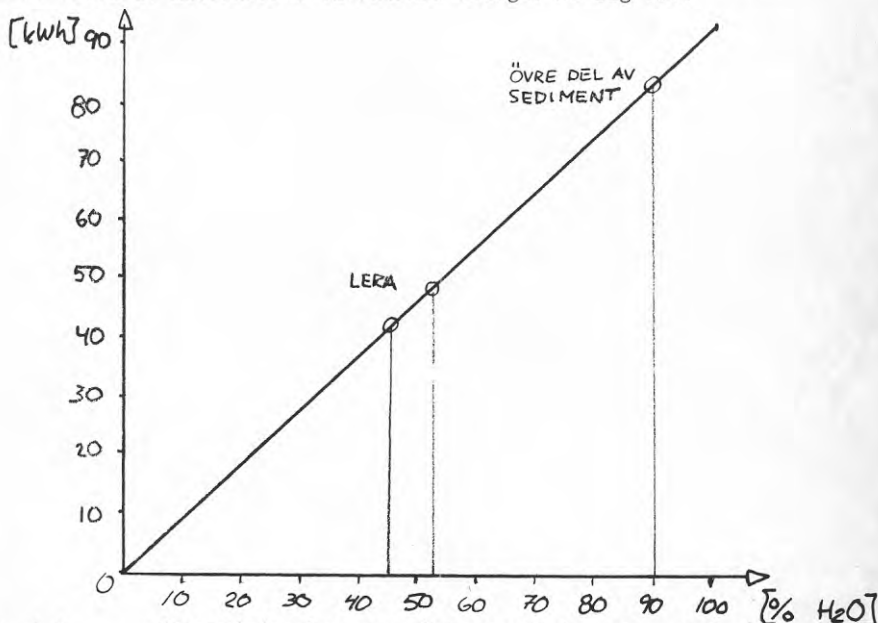


Fig 3.2 Utnyttjningsbar energimängd vid frysning av 1 m³ material som funktion av vattenhalt

Lera av typ Bäckebo1 har en vattenhalt på ca 45 %. Välandslera innehåller ca 52 % vatten. Som framgår har sedimentets översta skikt en vattenhalt på ca 90 %. På större djup sjunker vattenhalten till 40-50 %, dvs motsvarande vanlig lera.

Mot bakgrund av ovanstående kan förväntas att de horisontala ledningarnas längd kan minskas vid sedimentvärme jämfört med markvärmeanläggningar.

Uttagbar effekt per m slanglängd varierar för mark-värmeanläggningar mellan 15 och 50 W/m. Något högre värden kan förväntas vid sedimentvärme då värmeövergångstalet förbättras vid hög vattenhalt i materialet.

Vid en markvärmeanläggning återställs marken till normala temperaturförhållanden under våren och försommaren genom solens strålning på markytan. Motsvarande uppvärmning i sedimentfallet åstadkommes genom bottenvattnets uppvärmning vid vårcirkulationen. Det är därför tänkbart att optimal placering av ett horisontalt slangsystem är i sedimentskiktets yta där vattenrörelserna och därmed värmeöverföringen är hög. Detta är något som bör undersökas närmare i kommande FoU.

Om värme skall tas ur sedimentet utan påfrysning runt rören sjunker uttagbar effekt per m rör. Det man i stället vinner är en något högre värmebärartemperatur. För en markvärmeanläggning utan påfrysning kalkylerar man med effektuttag på ca 10 W/m rör.

Man kan eventuellt tänka sig ett system med återföring av värme till sedimentet sommartid, dels för att få en snabbare återuppvärmning av sedimentet och dels för att eventuellt erhålla högre temperatur i sedimentet vid nästa uppvärmningssägong. Ett horisontalt rörsystem med dess ytliga läggning i botten kommer att få höga värmeförluster till vattnet vid uppvärmning. Det är därför mera troligt att värmeåterföring är gynsamare vid vertikalt rörsystem.

Det kan vara av intresse att som jämförelse se hur värmebärartemperaturen varierar för ett vanligt ytjordvärmeaggregat under ett år, se figur 3.3.

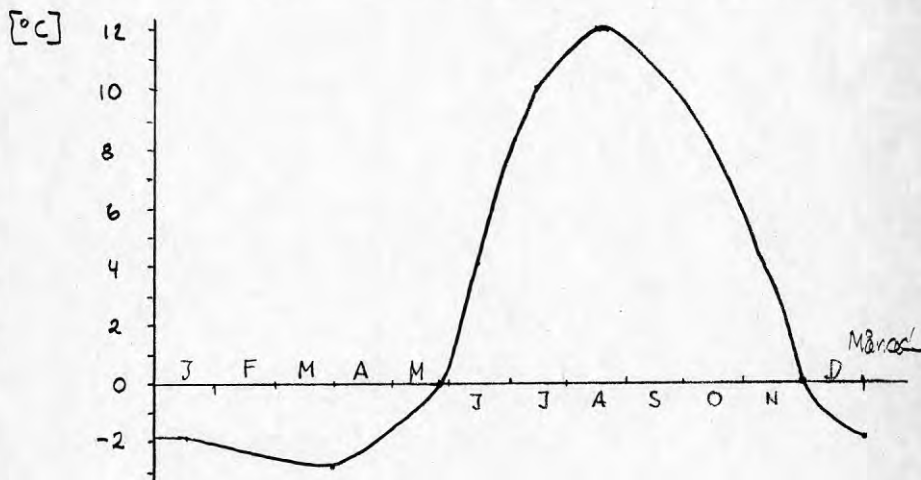
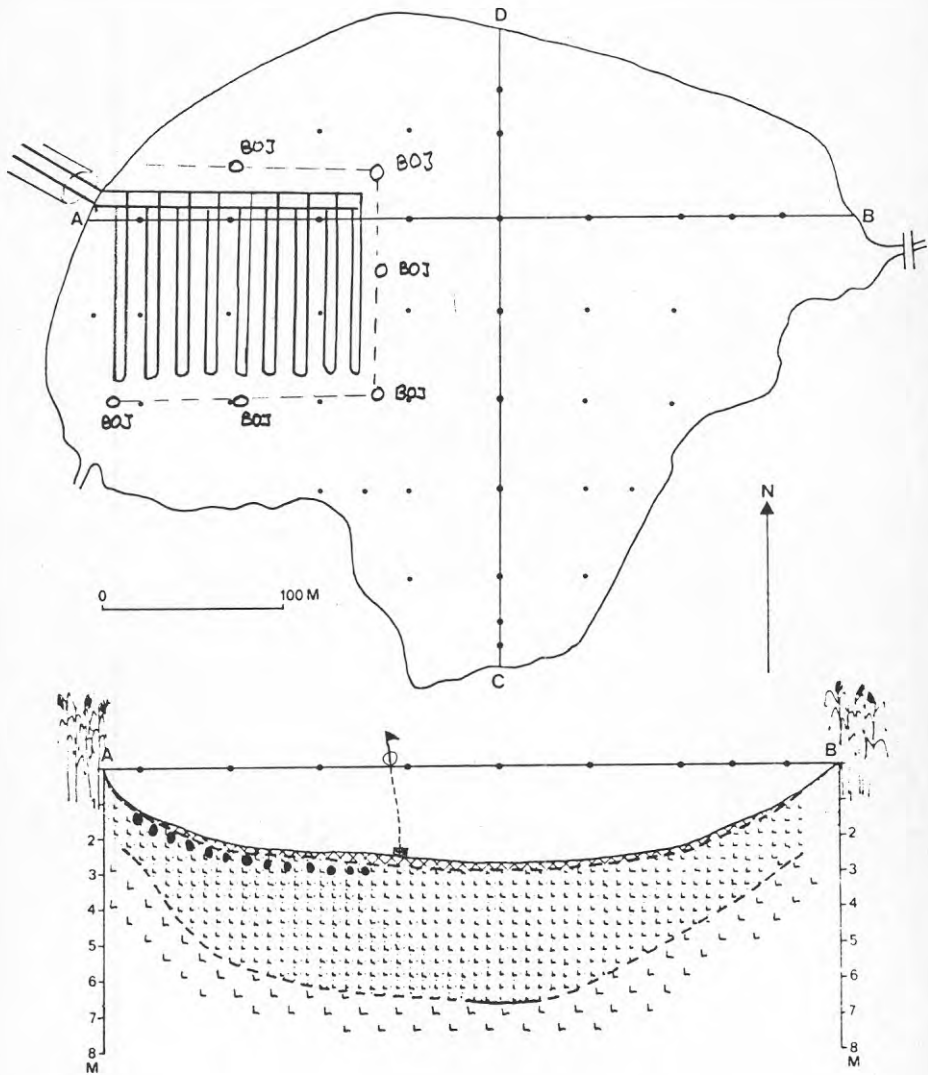


Fig 3.3. Värmebärartemperatur för ytjordvärmesystem

Lägsta värmebärartemperatur är ca -3°C i månadsskiftet mars/april och högsta temperatur uppnås i mitten av augusti med $+12^{\circ}\text{C}$.



Figur 3.4 Princip för sedimentvärmeanläggning i Lillsjön

För en horisontal värmeupptagare liggande i sedimentet kommer värmebärartemperaturen att ligga ungefär i samma nivå, om värme tas ur sedimentet vid samtidig frysning.

Kapitalkostnaden för nedläggning av horisontala rör i sedimentet bör ligga i samma storleksordning som för markförlagda rör. Man räknar vid ytjordvärme på en genomsnittlig kostnad på 15 kr/m rör varav rörmaterialet kostar 3-4 kr/m.

Slutligen visar fig 3.4 hur en horisontal värmeupptagare kan placeras i en sjö, i detta fall Lillsjön i Bromma. Utlagd slanglängd i sjön är ca 2 000 m vilket i värmebehovsynpunkt motsvarar 8-10 villor eller ett flerbostadshus.

I sjön utmärkes värmeupptagaren med bojar med varningstext mot ankring och fiske inom angivet område.

Vid utläggningen förses slangen med tyngder. För att fixera slangen i sidled kan den fästas vid botten med U-formade klamrer, se figur 3.5.

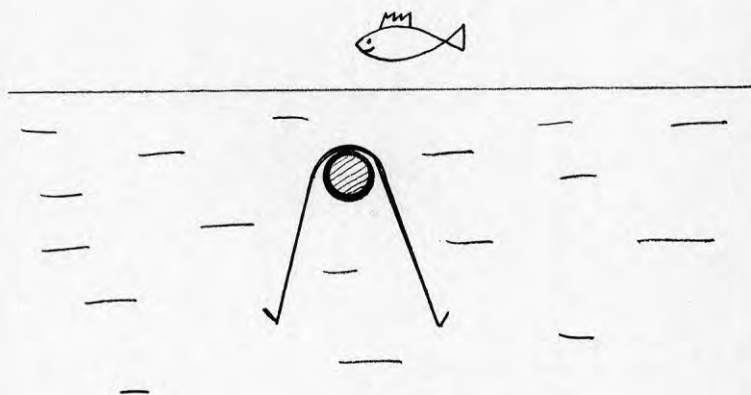


Fig 3.5 Klamring av slang i botten, exempel

1.3.2 Vertikala rör

Det är viktigt för sedimentvärmesystemets funktion att uttagen värmemängd återförs under den varma årstiden. Horisontala rörsystem läggs på ett så ringa djup i botten att värmeåterföring från sjövattnet hinner ske under sommaren.

Vid vertikalt rörsystem, där värmeupptagarens nedre del kan befinna sig 10 m ned i botten, krävs aktiv värmeåterföring under sommaren för att upprätthålla den termiska jämvikten i systemet.

Ett exempel på hur ett vertikalt rör kan vara konstruerat finns i figur 3.6.

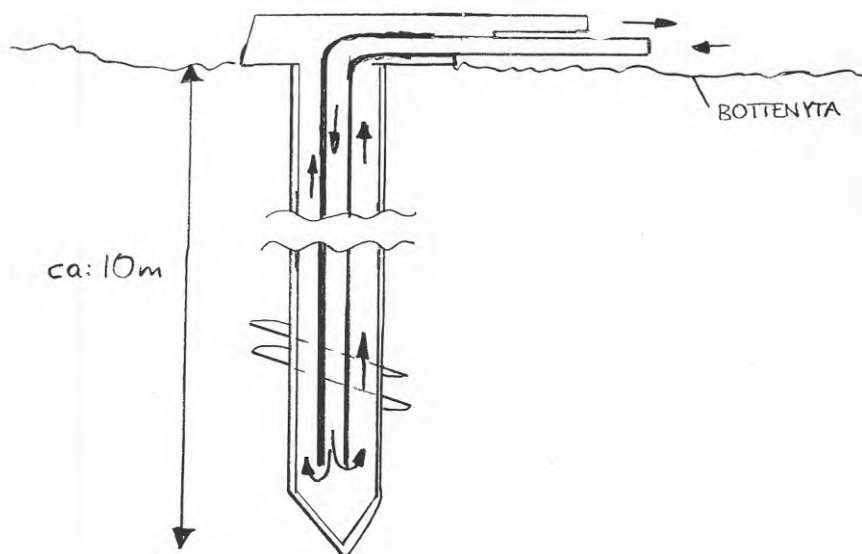


Fig 3.6 Exempel på konstruktion av vertikalt rör.

Dubbelröret består av en yttre del av stål, i nederänden sluten med en konisk spets. Inuti ståltuben läggs ett plaströr genom vilket värmebäraren tillförs värmeupptagaren. I plaströrets slut vänder värmebärarströmmen och passerar då mellan plaströrets yttervägg och ståltubens innervägg. I dubbelrörets övre del finns en låda som har den dubbla funktionen att dels samla och vidarebefordra den uppvärmda värmebäraren och dels hindra värmeupptagaren att sjunka djupare ned i botten.

Godtyckligt antal av dessa värmeupptagare kan sammankopplas parallellt eller i serie för att uppnå tillräcklig värmeeffekt. Nedläggningen av värmebärarna kan ske antingen sommartid från båt eller vintertid från isen. eventuellt kan nedläggningen underlättas om ståltubens nedre ände förses med en kort men grov utvändig gänga. Med dess hjälp kan hela dubbelröret "skruvas" ned i botten.

Sådana faktorer som dubbelrörets längd, diameter, placering och delning måste beräknas mera noggrant för att optimera sedimenteringslagrets funktion. Klart är att ju högre effekt man vill utvinna ur lagret desto fler rör måste användas.

Sommartid laddas sedimentlagret exempelvis genom att värmebäraren får passera enkla solfångare eller genom att uppvärmt tvatten får värma värmebäraren via en värmeväxlare.

Förlusterna från sedimentet, i det fall detta arbetar som en värmeackumulator är beroende huvudsakligen av vilken temperaturnivå det arbetar med.

Förlusterna till omgivande sediment kommer under de första åren att vara relativt stora för att därefter sjunka till ett konstant värde. Detta beror på att förlusterna till omgivningen från en värmekälla i ett mycket stort homogent material är proportionella mot temperaturgradienten.

I början är omgivande sediment kallt men när ett par år har gått och värmen spritt sig till kringliggande skikt kommer temperaturgradienten att sjunka. Därmed minskar förlusterna.

Sedimentets egenskaper vid frysning resp uppvärmning till höga temperaturer bör undersökas i kommande FoU.

1.4 Miljöaspekter

De miljöpåverkningar som kan bli följden av en sedimentvärmeanläggning är följande:

Fysisk miljö

1. En sedimentvärmeanläggning kommer att kräva att en del av aktuell sjö får minskad användbarhet för fiske och friluftsliv. Som föreslaget i kap 1.3.1 bör den del av sjön som utnyttjas som värmekälla avskärmas med bojar och varningsskyltar.

Horisontala rörsystem kräver en större bottenyta per kW räknat än vertikala rörsystem. Å andra sidan kräver ett vertikalt rörsystem landbaserad utrustning, för värmeåterföring sommartid, i form av solfångare eller luftberärda batterier.

2. Issituationen kan komma att förändras i sjön på grund av sedimentvärmeanläggningen. Vid horisontala rör kommer sjöns vattentemperatur över året att sänkas något, vilket förlänger tiden med isbeläggning. (Observera att det här är fråga om marginella skillnader utom i de fall då hela sjöns sediment utnyttjas.)

Vid vertikala rör och värmelager kommer förlustvärmen ständigt att tillföras sjön genom sedimentytan. Därmed kan svaga ispartier uppstå ovanför sedimentvärmeanläggningen.

3. Markytor kommer att upptas av landbaserad utrustning som kulvertar, värmeväxlare, pumpar m m.

Kemisk miljö

4. Vid eventuellt läckage i rörsystem kan skadliga ämnen släppas ut i sjön. Problemet undviks med rätt val av värmebärare.

Biologisk miljö

5. Förändring av temperaturjämvikten i sjön kan ha både positiva och negativa verkningar. Generellt leder en temperaturhöjning

till ökad nedbrytningshastighet och därmed för eutrofa (näringsrika) sjöar en ytterligare försämring av syreförrådet i sjöns bottenskikt. Å andra sidan kan temperaturförändringen leda till en ökad omrörning i sjön sommartid vilket leder till ökad syresättning. Detta är en mycket viktig del att undersöka i kommande FoU.

1.5 Datorsimulering

Datormodeller för simulering av värmeflödet i och kring värmelagret begränsas ofta till endast det lokala förloppet kring det värmebärande röret.

Modeller med möjlighet att simulera ett komplext system bestående av exempelvis sediment, grundvatten, sjövattnen och solinstrålning, saknas i stort sett helt.

Vid de teoretiska studierna skall således inte endast de numeriska problemen studeras. Det är av stor vikt för att ge en total utvärdering av detta okända tillämpningsområde att även den fysiska problematiken beaktas vid olika simuleringmodeller.

2. PROJEKTETS SYFTE

I första hand skall sedimentets egenskaper som kemisk sammansättning, tjocklek (mäktighet), termisk funktion m m undersökas, men också frågan om lämpliga värmeupptagare, som horisontella eller vertikala rör, optimal placering av värmeupptagare skall klarläggas.

Miljöaspekterna bör få en framträdande roll i utredningen, eftersom det sannolikt är känsligare att sänka medeltemperaturen i sedimentet jämfört med en sänkning av vattentemperaturen. Anledningen till detta är att övre delen av sedimentet innehåller ett flertal levande organismer som utgör basnäring för primärkonsumenterna. Dessutom är värmeomsättningen i de underliggande sedimentlagren av stor betydelse för vattenmagasinets termiska förhållande under vintern.

Sedimentet kan tänkas användas på två sätt i energisammanhang, dels som värmelager och dels som värmekälla. Värmeförlusterna från ett värmelager är en funktion av volym, värmekonduktivitet och värmekapacitet. Eftersom värmeförlusterna sjunker relativt den lagrade värmemängden vid stor lagringsvolym, medför det att värmelagret måste ha en viss storlek för att lagring skall vara ekonomiskt möjlig. Vid små energibehov kan det medföra att förlusterna blir så stora i förhållande till lagrad energimängd att ett utnyttjande som värmekälla är att föredra.

Teknik för att utnyttja bottensedimentet som värmekälla torde i många avseenden kunna hämtas från konventionell ytjordvärmeteknik. Problemen är på många områden likartade. Fördelen med sediment framför jord är att värmeledningen mellan mediärören och det omgivande sedimentet är avsevärt bättre på grund av den höga vattenhalten.

När det gäller sedimentet som säsongsvärmelager uppkommer problem med förlusterna ner mot djupare sedimentlager eftersom sedimentet i detta fall bör ha högre temperatur än omgivningen.

För att minimera förlusterna under ett driftår bör temperaturen i lagret vid slutet av eldningssäsongen vara lägre än det omgivande sedimentet. På detta vis utnyttjas lagret som värmesänka på slutet av eldningssäsongen.

Följande två metoder att tillföra sedimentet värme kommer att studeras med översiktliga tekniska och ekonomiska kalkyler.

- Sedimentet tillförs värme från varmt ytvatten som pumpas ner i det vertikala rörsystemet.
- Sedimentet tillförs värme från enkla solfångarsystem.

3. FORSKNINGSPROGRAM

Studier av sedimentets egenskaper samt möjligheter att utnyttja det som värmelager alternativt värmekälla kommer att utföras i samarbete med limnologer, grundvattenexperter och medicinsk expertis. Samarbetet mellan olika vetenskapsgrenar gör att olika miljöproblem i samband med utnyttjande av sediment kommer att kunna studeras från flera håll. På detta vis bör oönskade effekter i samband med temperatursänkningar av sedimentet kunna förutses och därmed i möjligaste mån motverkas.

Vid framtagande av lämplig modell för datorsimulering av ett färdigt värmepumpsystem kommer vi att tillämpa en teoretisk modell som vi utvecklat för värmelagring bl a i torvmossar. Simuleringen är uppbyggd så att i närheten av rörslingan studeras cirkulära skikt, som när radien nått en viss bestämd storlek övergår till plana skikt. Fördelen med denna metod är att det på ett enkelt sätt går att utföra känslighetsanalyser av olika parametrars variationer, exempelvis värmeövergångstal, värmeledningsförmåga, temperaturledningsförmåga och värmekapaciteter m m.

Studier av lämplig utrustning för värmepumpinstallationer kommer att ske i samarbete med tillverkare.

För att en översiktlig ekonomisk kalkyl skall kunna göras för de olika systemlösningarna kommer lämpliga värmeväxlersystem och värmeupptagare att studeras.

Korrosionsproblem i samband med dessa applikationer kommer inte att skilja sig från problemen vid utnyttjande av sjö- och havsvatten som värmekälla för värmepumpar. Dessa problem kommer att undersökas i pågående BFR-projekt "Sjöar och hav som värmekälla för värmepump-anläggningar.

Grundvattnets förekomst och flödesmängd har stor betydelse för hur värmepumpsystemet skall utformas. De system som utnyttjar sedimentet som värmelager kräver ett stillastående eller långsamt strömmande grundvatten, eftersom värmeförlusterna är proportionella mot grundvattenflödet. System som skall utnyttja sedimentet som värmekälla gynnas av strömmande grundvatten, i och med att grundvattnet har i det närmaste samma temperatur som sedimentet.

Vissa teorier har dessutom framkastats att den relativt höga temperaturen i sedimentet beror på genomströmmande grundvatten och i mindre grad på uppvärmning från solenergi och cirkulerande varmt sjövattnet, vilket är den vanligaste accepterade teorin. Detta bör undersökas närmare i studien.

4. NYTTIGGÖRANDE

Att utnyttja sediment som värmekälla eller värmelager är om det visar sig vara tekniskt och ekonomiskt genomförbart ett steg mot ett minskat oljeberoende.

Erhållna resultat från undersökningen av erforderlig utrustning för värmeupptagning kan utnyttjas i många andra värmetekniska sammanhang.

Framtagna beräknings- och datorsimuleringsmodeller kommer att kunna utnyttjas vid andra typer av värmeledningsproblem.

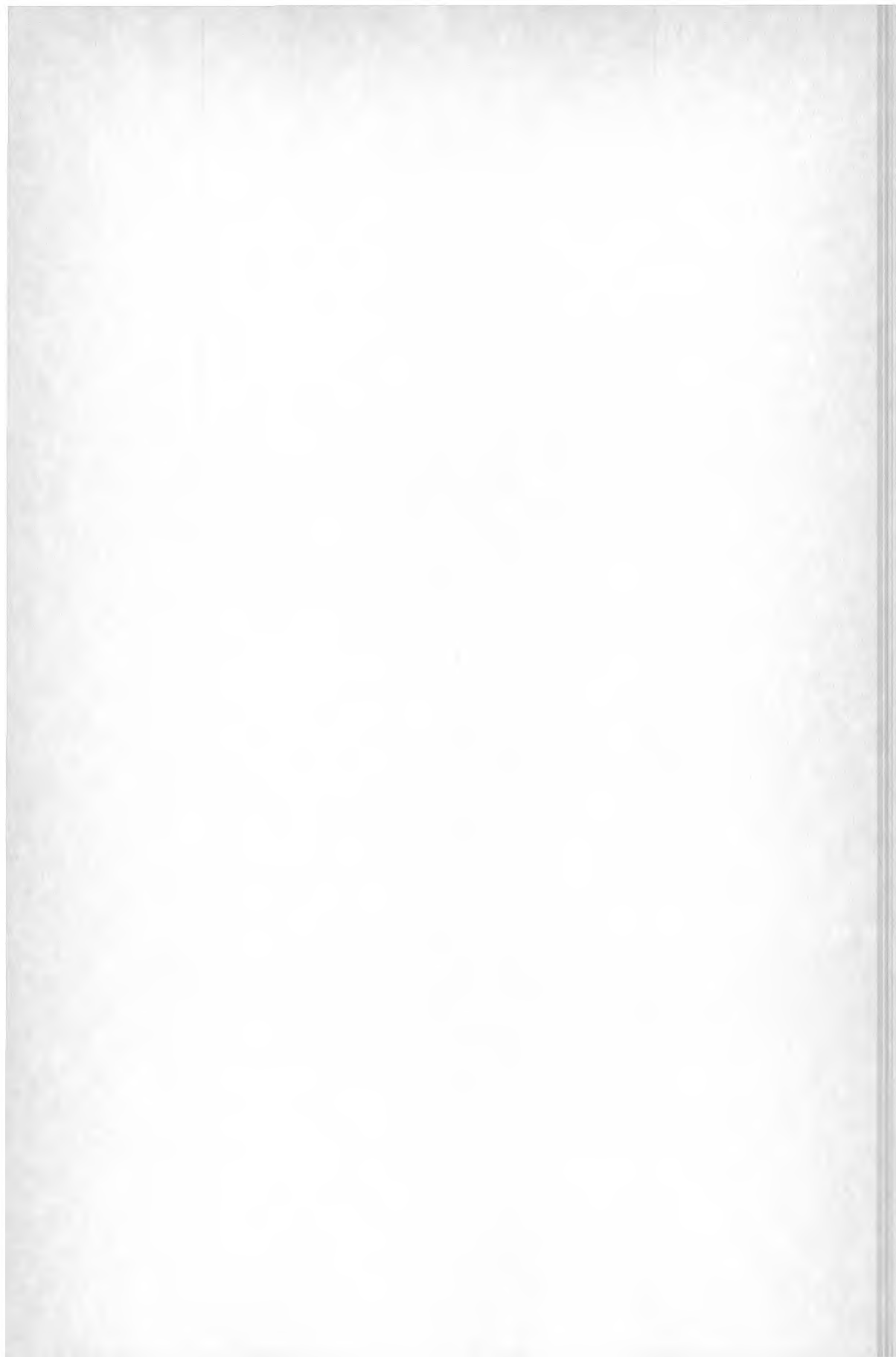
Samarbetet mellan olika vetenskapsområden som medicin, limnologi och energiteknik gör att uppkomna problem kommer kunna studeras från flera synvinklar.

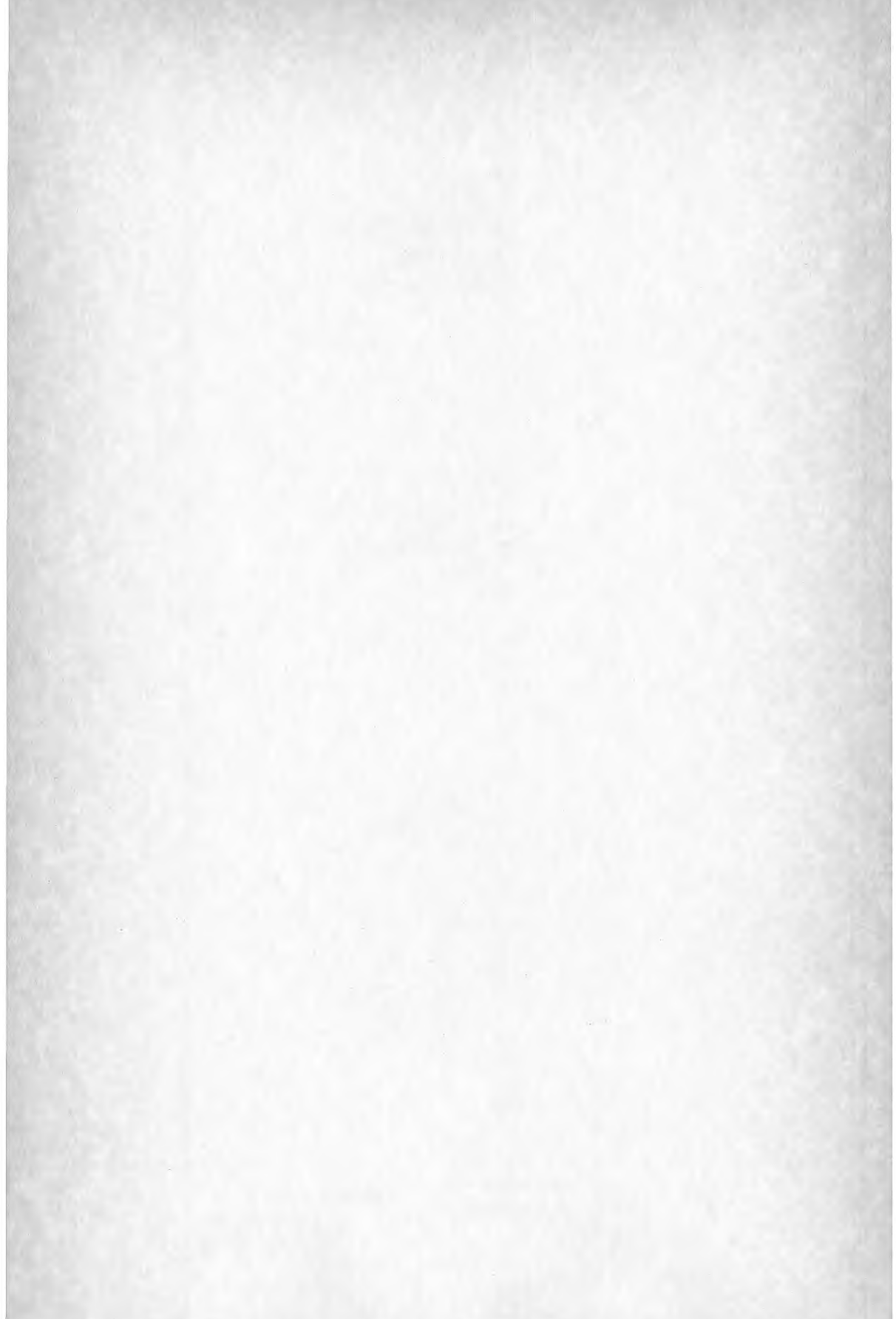
5. TIDPLAN - SEDIMENTPROJEKTET

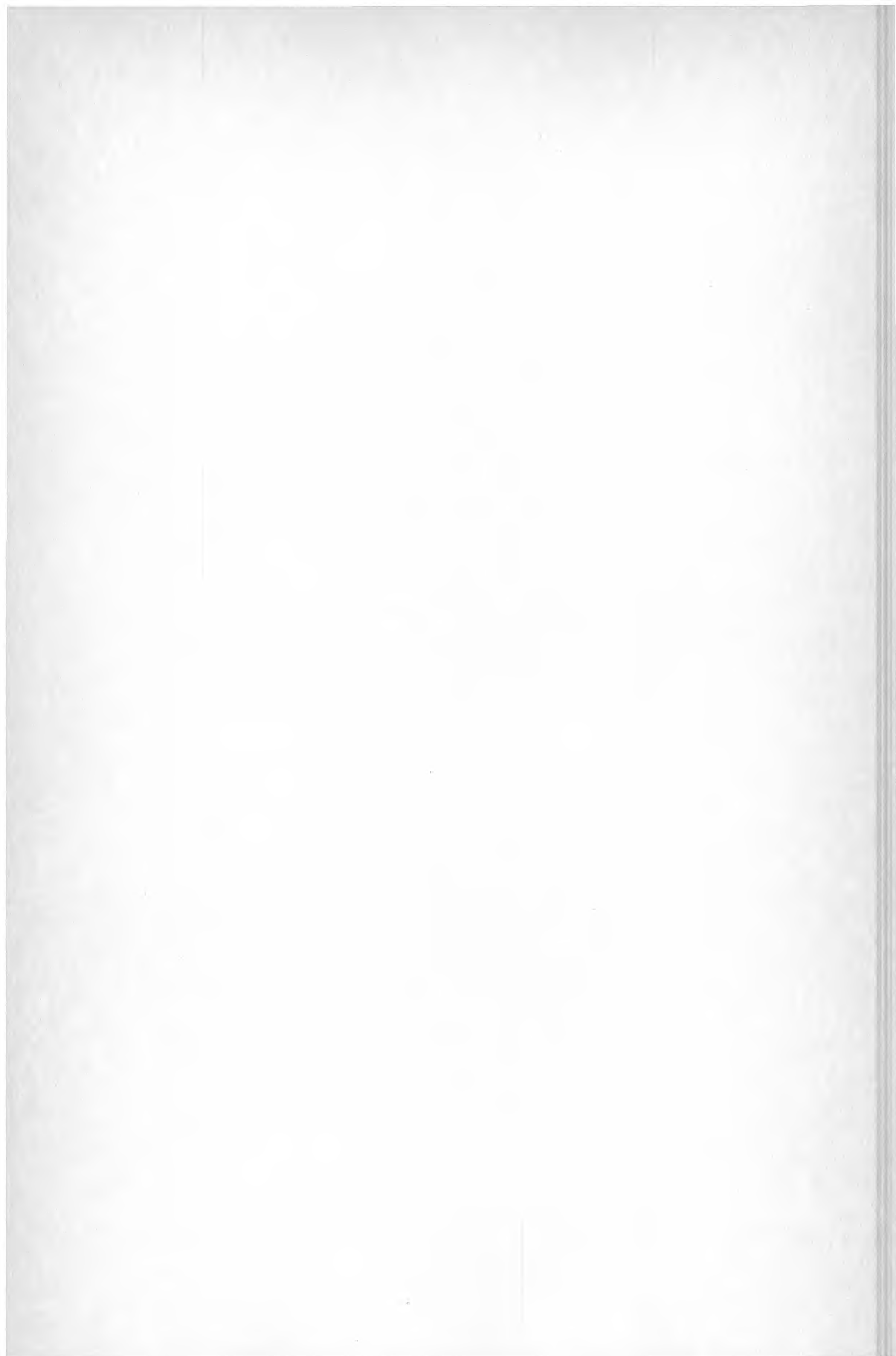
1.	Litteratursökning och insamling av material	5-6 veckor
2.	Tvärvetenskaplig analys Sammansättning av arbetsgrupp Samarbete med limnolog, forskare, m m	3-6 veckor
3.	Datorsimulering	4-6 veckor
4.	Värmeupptagare, horisontala eller vertikala rör	4-8 veckor
5.	Möjlighet till direkt utnyttjande av grundvatten i sedimentet	4-6 veckor
6.	Värmelagring i sediment och därav följande miljöproblem	6-10 veckor
7.	Rapportskrivning	7-15 veckor















**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 781555-6
från Statens råd för byggnadsforskning till Scandiaconsult
AB, Stockholm.**

R65: 1981

ISBN 91-540-3510-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700365

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 20 kr exkl moms