



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

R143:1982

Sjövärmsystem

BFR-seminarium maj 1982

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
A.-nr	
Plac	<i>ser</i>

*K
AWL*

R143:1982

SJÖVÄRMESYSTEM

BFR-seminarium maj 1982

Dokumentationen sammanställd av
Lennart Billfalk

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

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

R143:1982

ISBN 91-540-3837-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1982

Innehållsförteckning

- Innehållsförteckning	3
- Förord - Sten Bjurström Be-Fo	5
- Inledningsanförande - Sten Bjurström Be-Fo	6
- Föredrag	
- Erfarenheter från byggande och drift av små sjövärmearläggningar. Ingemar Johansson, AGATERMIA	7
- Resultat från prov i Storsjön med värmewäxlare för utvinning av termisk energi ur vattendrag. Lennart Backlund, FFV-Underhåll, Östersund.	14
- Torsångsprojektet - projektbeskrivning och driftresultat. Jonas Hallenberg, VIAK, Falun	29
- Värmepumpsanläggning i Östra Grevie. Torbjörn Svensson, CTH och VIAK-Göteborg.	37
- Laboratorieförsök för bestämning av värmepåtagning med bottenförlagda slangar. Torbjörn Svensson, CTH och VIAK-Göteborg.	47
- Sjövärme från Väsman. Lennart Pettersson, Stal Laval.	52
- Vattenfalls sjövärmeprojekt. Sven-Allan Eklund, Vattenfall.	62
- Drifterfarenheter och resultat från Tullverkets värmepumpanläggningar. Hans Jellbring, Inventex AB.	79
- Isvärmepumpar. Hjalmar Schibbye, TETAB.	88
- Utmatning av krossis i sjö- och älvvatten. Peter Larsen, Vattenfall, Älvkarlebylaboratoriet.	92
- Värmepumpar i sjövärmesystem - systemfrågor. Bernt Bäckström, CTH - Göteborg.	98
- Temperaturdata från sjöar, älvar och kustvatten. Underlag för utredningar om möjligt värmeuttag. Barry Broman, SMHI.	104
- Potential för uttag av värme ur ytvatten i Stockholmsregionen. Torbjörn Svensson, CTH och VIAK, Göteborg.	120
- Ändrade cirkulationsförhållanden i islagda sjöar. Lars Bengtsson, Högskolan Luleå.	131

- Lokal recirkulation mellan intag och utsläpp vid sjövärmearnläggningar. Bengt Vasseur, Vattenfall, Älvkarlebylaboratoriet.	146
- Hur mycket behöver man veta om värmekällan ? Torbjörn Svensson, CTH och VIAK - Göteborg.	153
- Miljökonsekvenser av sjövärmeuttag. Wilhelm Dietrichson, Statens Naturvårdsverk, Solna.	159
- Allmänjuridiska synpunkter. Staffan Westerlund, Jur. Inst. Uppsala Univ.	163
- Inlägg beträffande tillståndsfrågor. Hans Carlsson, Vattenfall.	167
- Sammanfattning av den avslutade diskussionen. Lennart Billfalk, Vattenfall, Älvkarlebylaboratoriet	175
- Bilaga 1. Sjöar och hav som värmekälla. Diskussionsbidrag från Davin, Nordling och Sandart, Scandiakonsult.	179
- Bilaga 2. Deltagarförteckning	189
- Bilaga 3. BFR-projekt om sjövärmesystem	191
- Bilaga 4. BFR-publikationer om sjövärmesystem	195

Förord

För utvärdering av BFRs energiforskningsprogram har rådet tillsatt ett antal s k utvärderingsgrupper. Utvärderingsgruppen MARKVÄRME har till huvuduppgift att utvärdera och sammanställa kunskapsläget inom området värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten. Gruppen består av Sten Bjurström, Bergteknisk Forskning - BeFo (ordförande), Per Olov Karlsson och Sven- Allan Eklund, Vattenfall, Carl Olof Morfeldt, Hagconsult samt Björn Svedinger, VIAK. Sven Erik Lundin är BFRs kontaktperson i gruppen och Ulla Save Öfverholm är för BFRs del ansvarig för informationsfrågorna.

Som ett led i utvärderingsarbetet har gruppen beslutat att genomföra ett antal utvärderingsseminarier. Under våren 1982 anordnades möten beträffande ytjordvärme, sjövärme och grundvattenvärme. Under hösten 1982 planeras möten betr. olika former av lagring i mark.

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

Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby med Lennart Billfalk som ansvarig har svarat för seminariet SJÖVÄRME.

Föreliggande rapport redovisar presentationer, förda diskussioner samt slutsatser av seminariet i Älvkarleby den 5 och 6 maj 1982.

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

För BFRs MARKVÄRMEGRUPP

Sten Bjurström
Ordförande

Inledningsanförande

Forskningsdirektör Sten Bjurström, Stiftelsen Bergteknisk Forskning-BeFo, Stockholm

Området värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten tilldrar sig förhållandevis stor uppmärksamhet i BFRs och andra energiforskningsprogram. Under senare år har stora forskningsbelopp satsats på området och många projekt är under utförande.

De relativt sett stora forskningssatsningarna återspeglas ej i någon nämvärd omfattning i officiella prognoser om Sveriges framtida energiförsörjning. Man är uppenbarligen osäker om tekniken och dess möjligheter.

Det är därför synnerligen angeläget att inför kommande stora energibeslut, omkring 1985, försöka dokumentera och i görligaste mån utvärdera markvärmets realistiska roll och bidrag i Sveriges framtida energiförsörjning.

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

För att utvärdera olika teknikområden inom energiforskningen inklusive BFRs egen forskning har rådet etablerat ett 10-tal s k utvärderingsgrupper, varav markvärmegruppen är en. Utvärderingsgruppernas huvuduppgift är att genomföra studier över "the state of the art" inom respektive teknikområden och i rapportform presentera resultaten. För att bli kunna lämna underlag till BFRs samlade bedömning inför kommande stora energibeslut tvingas många grupper att i flera fall mycket troligt dra slutsatser av nyligen påbörjad försöksverksamhet. Markvärmegruppen bör sålunda ha tagit fram en första preliminär rapport redan våren 1983.

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

1982-05-07

Ingemar Johansson

AB Thermia-Verken

ERFARENHETER FRÅN BYGGANDE OCH DRIFT AV SMÅ SJÖVÄRMEANLÄGGNINGAR.

Under de senaste 4 åren har ca 300 sjövärmearnläggningar anlagts med AGA-Thermias värmepumpar. Samtliga använder indirekt system för värmeupptagningen.

Använda kollektorsystem

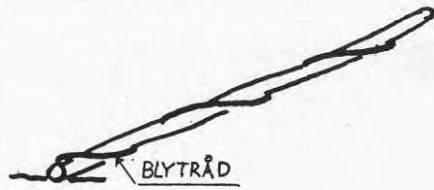
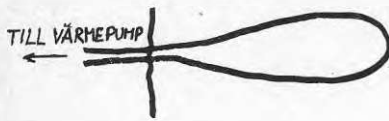
De kollektorsystem som prövats illustreras i Fig 1.

De flesta kollektorerna består av blylindad slang. Blylindningen ger en sjunkkraft av ca $3N/m$. Vissa kunder har på eget initiativ använt slang lindad på ett fackverk s k vertikal spiral. Denna kollektortyp har i vissa fall visat sig fungera, i andra fall har den frusit igen. Vissa kunder har också på eget initiativ byggt en s k horisontell spiral. Slangen håller sin form genom att den najats fast vid armeringsjärn, vilka också tjänstgör som sänkvikter. Ett annat använt system använder små betongvikter som binds fast vid slangen med ca 2 m c/c-avstånd. En femte typ består av två parallella slangar över vilka betongfyllda dräneringsrör lägges som sänkvikter och distanshållare. Det senare systemet används f n av AGA-Thermia.

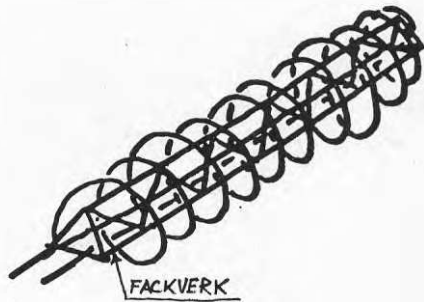
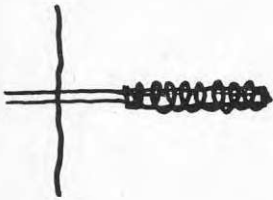
Samtliga System använder PEL-slang med ytterdiametern 40 mm. Numera används slang i tryckklass NT6.

S J Ö V Ä R M E. K O L L E K T O R S Y S T E M.

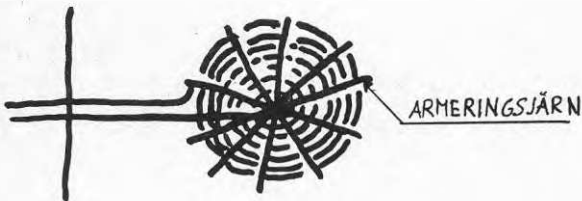
BLYLINDAD SLANG



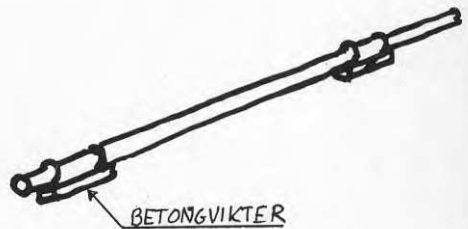
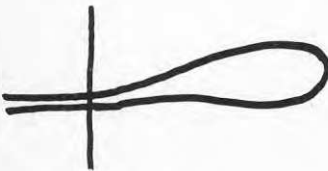
VERTIKAL SPIRAL



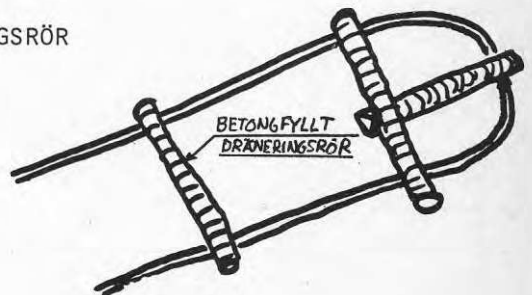
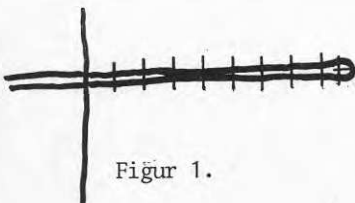
HORISONTELL SPIRAL



SLANG MED SMÅ BETONGVIKTER



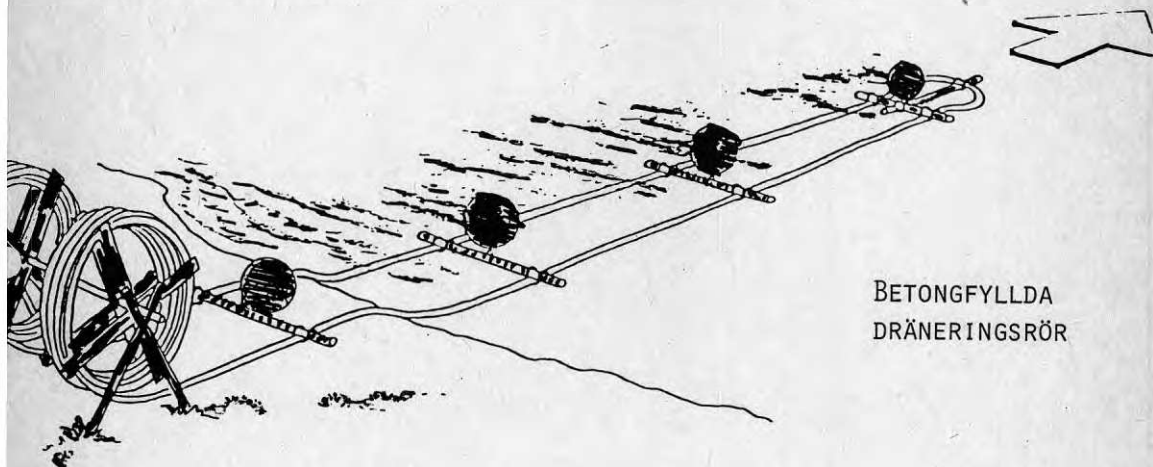
SLANG MED BETONGFYLLDA DRÄNERINGSRÖR



Figur 1.

Läggningmetoder

Vid anläggande av kollektor med blylindad slang eller slang med små betongvikter ankras slangen upp luftfylld i den sträckning man önskar. Då slangen fylls med köldbärarvätska sjunker slangen. Horisontell spiral har lagts på isen och genom solstrålningen på våren sjunkit genom isen. Anläggandet av kollektor med betongfyllda dräneringsrör illustreras av Fig 2.

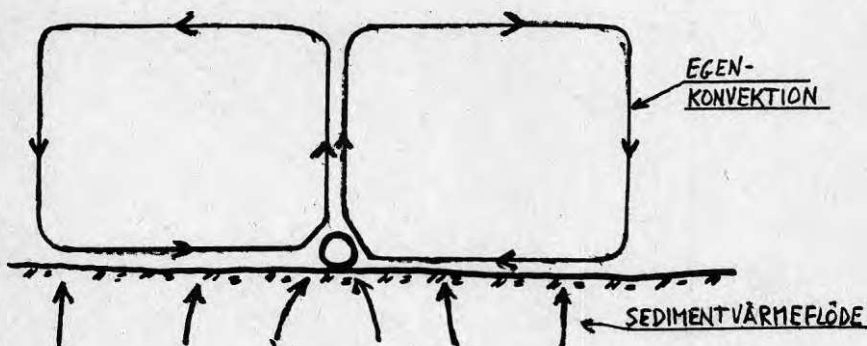


Figur 2.

Kollektorns verkningsätt

Värmeupptagningen sker i stillastående vatten genom att egenkonvektionsceller utbildas. Viss värmeupptagning sker också genom direkt ledning via sedimenten.

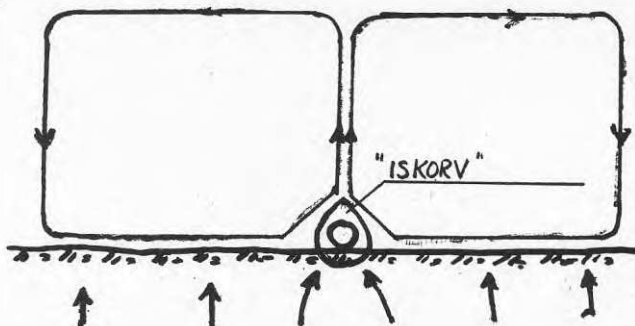
EGENKONVEKTION



Figur 3.

Vid hög belastning eller vid låg vattentemperatur sker isbildning kring slangen. Vid viss diameter hos iskorven uppstår balans mellan värmeupptagningen via egenkonvektion och effektuttaget.

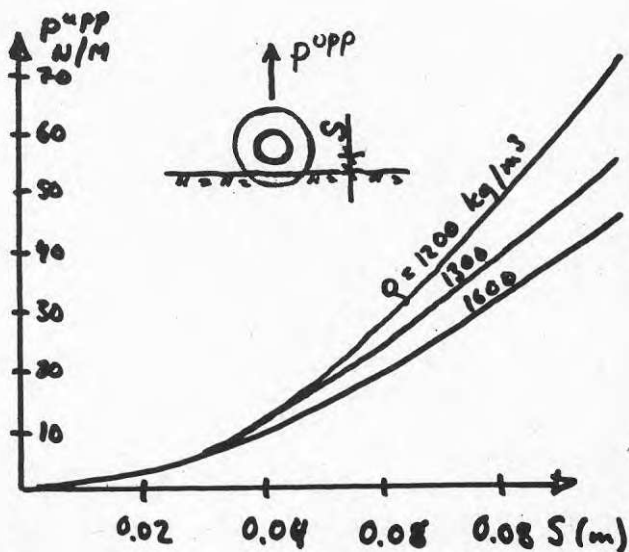
ISBILDNING



Figur 4.

Genom isbildningen kan en lyftkraft på slangen uppstå om slangen ej fryser in en tillräckligt tung del av botten sedimenten. För att en lyftkraft ej skall uppstå är anläggningen mot botten viktig. Vidare har botten sedimentens densitet betydelse.

FASTFRYSNING



Figur 5.

Brinetemperaturer

AGA-Thermia har gjort enstaka mätningar av brinetemperaturer. I ett examensarbete vid institutionen för mekanisk värmeteori vid KTH har Gustafson & Marklund uppmätt vattentemperatur T_V och medeltemperatur hos brinen T_B vid några anläggningar. Kyleffekten var ca 6 kW.

EFTER EXAMENSARBETE AV GUSTAFSON & MARKLUND.

ANLÄGGNING	BOTTENTYP	SLANG-LÄNGD (M)	T_V (°C)	$T_V - T_B$ (K)
1	SAND/DY	480	1,0	1,9
2	DY	350	2,0	3,0
3	DY	370	3,0	2,25
4	DY	520	2,8	1,35
5	SAND	450	0,2	2,88
6	SAND	340	0	2,22
7	DY	480	3,0	4,05
8	EXTREMT DYIG	365	3,4	4,15
9	DY	400	2,2	2,35
10	SAND	400	0,45	1,88

Mätningarna visar att temperaturdifferensen mellan vattnet och köldbäraren ligger i storleksordningen 1,35-4,15 K och att viss korrelation finns mellan botten typ och temperaturdifferensen.

Haveriorsaker

En jämfört med ytjordvärme stor andel kollektorer har havererat. Haveriorsaken har varit uppfrysning, packis, för hög vattenhastighet eller fiske.

Exempel på troliga orsaker till uppfrysning är dålig anläggning vid botten p g a vridspänningar i slangen, för låg densitet hos sedimenten och osymmetrisk påfrysning p g a mycket kallt vatten och relativt varma sediment.

Genom kunskaper om kollektorernas verkningssätt och de förhållanden som kan uppträda vid lägningsplatsen bedöms framtida haverier bli väsentligt mindre frekventa.

Sammanfattning av Fou-behov

För att utnyttja potentialen hos slangkollektorer bedöms det angeläget att få svar på följande frågor:

* VILKET UTTAG ÄR MÖJLIGT DÄR SJÖNS TOTALA VÄRMEINNEHÅLL EJ ÄR BEGRÄNSANDE?

- Hur stora är de naturliga strömmarna?
- Vilken omfördelning sker genom storskalig konvektion?

* VILKET UTTAG ÄR MÖJLIGT DÄR SJÖNS TOTALA VÄRMEINNEHÅLL ÄR BEGRÄNSANDE?

- Hur förskjuts islossningstidpunkten?
- Vilka miljömässiga förändringar sker?

* NÄR TINAR SLANG GENOM ISEN?

* STATISTIK ÖVER PACKIS OCH VATTENHASTIGHETER.

Dessutom krävs statistik över packis och vattenhastigheter på olika platser.

Seminarium om sjövärm - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Erfarenheter från byggande och drift av små sjövärmelanläggningar

av Ingemar Johansson, AGATHERMIA, Arvika

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB

Angående haverier: Vilken dimension på PEL-slang föredrar Agathermia att använda?

Svar:

AGA Thermia använder PEL-slang med ytterdiametern 40 mm. Numera används slang i tryckklass NT6. Om förutsättningarna varierar - t.ex. slinglängden - kommer även andra dimensioner att vara aktuella.

Resultat från prov i Storsjön med värmväxlare för utvinning av termisk energi ur vattendrag.

Lennart Backlund
FFV-underhåll, Östersund

Utdrag ur rapport till BFR "TERMISK ENERGI UR VATTENDRAG".
Värmväxlare för sjövärmesystem utvecklad vid FFV Underhåll
i Östersund

1 PROVANLÄGGNING I STORSJÖN

Provanläggningen består av fem huvuddelar nämligen: två stycken energiupptagare i vattendraget, ett plaströrssystem förlagt i en asfaltyta, ett energilager i form av ett antal nedborrade stålrör i marken samt en maskincentral med värmepump, transportledningar och mätutrustning. Se figur 2.1.

1.1 Geografiskt läge

Anläggningen är lokaliserad till Sjöflyget, Jämtlands Flygflottilj i Östersund. Det vattendrag som utnyttjas för utvinning av termisk energi är Kungsgårdsviken i Storsjön, Jämtland. Se figur 2.1.1.

1.2 Energiupptagare

Vissa delar och utföranden är patentskyddade för den här energiupptagaren.

1.2.1 Värmväxlare förlagd på sjöbotten utan nedgrävning i bottensedimenten.

En värmväxlare är förlagd direkt på sjöbotten utan nedgrävning i bottensedimenten 170 m från strandlinjen. Se figur 2.1. Största vattendjupet ovanför värmväxlaren varierar mellan 1,90 m och 4,65 m. Minsta vattendjupet ovanför värmväxlaren varierar mellan 0,60 m och 3,35 m. Storsjöns vattenstånd regleras årligen mellan 290,50 m ö h sänkningsgränsen och 293,25 m ö h dämningensgränsen.

Bottensedimenten består vid värmväxlarens förläggningsplats av finkornig sand och humusämnen.

Värmväxlaren är uppbyggd av polyeten tryckrör typ PEL tryckklass PN4. 11 stycken 50 m långa rör med ytterdiametern 40 mm och godstjockleken 2,5 mm har parallellkopplats mellan två samlingsrör enligt figur 2.1.2.1.

Samlingsrören utgörs av polyeten typ PEH tryckrör PN3. Det ena samlingsröret har en ytterdiameter på 90 mm godstjocklek 3,0 mm, det andra har ytterdiametern 110 mm och godstjockleken 3,5 mm.

Varje parallellrör kan stängas av med hjälp av en kulventil i anslutning till det ena samlingsröret.

De parallellkopplade rören är utförda enligt figur 4.1 med ett inre vätskefyllt rör med ytterdiametern 28 mm. Det inre röret är av typen korrugerat kabelskyddsror utfört i polyeten. Det flyter i värmebärrarmediet. För att förstärka flytkraften hos innerröret har i det här fallet en lina med flytkroppar införts i innerröret.

Avsikten med det här arrangemanget är att styra värmebärrarflödet så att det strömmar i spaltöppningen nedtill i ytterröret. Genom det här utförandet tillgodogör man sig den högre botten-temperaturen bättre samtidigt som isbildningen på rörets översida bromsas.

Vid fast botten med hög densitet hos bottensedimenten innebär den här extra nedkylningen på de bottenförlagda rören under- sida att rören fryser fast i botten.

Om bottensedimenten utgörs av material med låg densitet krävs annan förankring för att uppta de flytkrafter som ispåfrysningen av rören ger upphov till. Värmeväxlaren har på vissa sektioner, se figur 2.1.2.1, förankrats med hjälp av heat pipes eller värmerör. Det är en komponent som har använts bland annat i rymdfarkoster för transport av energi. Utmärkande för ett värmerör är dess stora värmeledningsförmåga. Teoretiskt är värmeröret en isotherm enhet. Det innebär att om man fäster det bottenförlagda rörssystemet i värmerör som är nedförda i bottensedimenten erhålles två funktioner. Den första och viktigaste är förankring genom att den isbildning som ger upphov till flytkrafter ger is även runt värmeröret nere i bottensedimenten. Den andra funktionen är energitillförsel från det djup som värmeröret har kontakt med i bottensedimentet upp till värmeväxlaren.

2 GENOMFÖRANDE

Vintertid har energi tagits upp från den bottenförlagda värmeväxlaren och använts för att värma den asfaltytbelagda provytan. Under kortare perioder har energi lagrats i det under asfaltytan etablerade energilagret.

Sommartid har asfaltytan utnyttjats som solfångare. Den uttagna värmeenergin har kylts bort i den inre av de båda sjöbottenförlagda värmeväxlarna.

3. SLUTSATSER FRÅN UNDERSÖKNINGEN

Resultatet från projektet visar att det är tekniskt möjligt att utnyttja de mycket stora mängder värmeenergi som varje år lagras upp i våra sjöar och vattendrag. Utvinningen kan göras på ett ekonomiskt och miljömässigt försvarbart sätt.

Då det rör sig om lågtempererad energi är det naturligtvis önskvärt att energin används vid så låg temperatur som möjligt för att erhålla en god värmefaktor. Eftersom en stor del av kostnaderna för utvinning av den här energikällan är fasta kostnader bör driftprofilen på avnämarsidan vara sådan att energianläggningen får gå med full effekt under så stor del av året som möjligt.

3.1 Hur stor del av den från vattendraget uttagna energin utgörs av energi från vattnet, botten eller frigjord energi vid isbildning på energiupptagaren

Under innevarande vintersäsong 1981/82 liksom under vintersäsongen 1980/81 utgjorde isbildningsvärmets vid påfrysning av värmeväxlare och transportledning cirka 25 % av från mark och vattendrag totalt upptagen energi.

Vid proven har den sjöbottenförlagda ej nedgrävda värmeväxlaren använts.

Energiupptagningen har gjorts kontinuerligt dygnet runt. 1980/81 gjordes den här typen av mätningar under perioden 1980-11-12--1981-04-04. Under 1981/82 har hittills mätningar gjorts under perioden 1981-10-29--82-02-12. Om mätningar görs med full värmelast under hela årscykeln blir den procentuella andelen isbildningsvärme mindre än 25 %.

Vattnets temperatur, strömningsförhållanden i vattendraget samt uttagen effekt per meter rör inverkar på mängden is på den energiupptagande anordningen.

Ispåväxten sker till en viss gräns ut från det energiupptagande röret vid konstant effektuttag. Följande resonemang ger bakgrunden till varför jämvikt uppstår vid ispåväxt nedåt i botten-sedimenten.

Tre meter ned i botten-sedimenten inträffar temperaturmaximum i januari - mars varje år. Detta gäller vid naturlig energiomsättning. Våra mätningar visar att temperaturen är relativt stabil på tre meters djup i sedimenten under ett rör med cirka 30 W/m effektuttag. I början av förloppet innan jämvikt har uppnåtts växer iscylindern radiellt nedåt i botten-sedimenten. Vi får då en nollgradig isfront som rör sig nedåt i botten-sedimenten.

Eftersom temperaturen tre meter ned i sedimenten är stabil kommer temperaturgradienten i de ofrusna botten-sedimenten att växa. Vid jämvikt, det vill säga när ispåväxten har upphört, transporteras lika stor mängd energi bort från isfronten in mot det energiupptagande röret som isfronten tar upp från sedimenten.

Ökas effektuttaget i röret blir den av isfronten från sedimenten upptagna effekten för liten. Extra energi tas då upp i form av isbildningsvärme. Iscylindern växer, isfronten rör sig nedåt i sedimenten, temperaturgradienten växer och tillräcklig mängd energi tillförs isfronten för att balansera det ökade effektuttaget i röret och en ny jämvikt etableras.

Temperaturen förefaller vara förhållandevis stabil vid varierande effektuttag från botten-sedimenten. Följande förhållande ger en del av förklaringen till detta.

$$q = \frac{\sum \Delta t_i}{\sum R_i} = \frac{\Delta t}{R}$$

$$R \text{ kan skrivas } \frac{\ln \frac{x_2}{x_1}}{k_a} + \frac{\ln \frac{x_3}{x_2}}{k_b} + \frac{\ln \frac{x_4}{x_3}}{k_c}$$

Där: q = uttagen effekt
 Δt = total temperaturdifferens
 R = totalt värmemotstånd
 k = värmeledningstal

Index a avser rörväggen
 Index b avser iscylindern
 Index c avser den ofrusna bottensedimenten

x_1, x_2 etc är de olika kropparnas mantelytors radier.

$$k_c < k_b$$

Vid ökat effektuttag växer iscylindern radiellt utåt.

Den sista termen i R kan idealt sägas förändras från

$$A = \frac{\ln \frac{x_4}{x_3}}{k_c} \quad \text{till} \quad B = \frac{\ln \frac{x_4}{x_3 + \Delta x_3}}{k_c} + \frac{\ln \frac{x_3 + \Delta x_3}{x_3}}{k_b}$$

differensen $B - A$ blir

$$\ln \left(1 + \frac{\Delta x_3}{x_3} \right) \left(\frac{1}{k_b} - \frac{1}{k_c} \right) < 0$$

$$\text{ty } k_c < k_b$$

alltså minskar R vid ökande effektuttag. Detta innebär i sin tur att Δt ej behöver öka så mycket som om värmemotståndet R hade varit konstant eller ökande vid ökat effektuttag.

Förutsättningen att temperaturen är konstant på tre meters djup i sedimenten gäller naturligtvis ej för extremt höga effektuttag per ytenhet av bottensedimenten.

Det skall också sägas att densitetsströmningar i vattnet runt isfronten i bottensedimenten kan bidra med en större eller mindre del av det totala energiflödet till isfronten.

Det här avsåg den del av iscylindern som ligger nere i bottensedimenten. För den del av iscylindern som ligger ovanför bottensedimenten uppe i vattenvolymen inträder också ett jämviktsläge när iscylinderns radie har uppnått en viss storlek. Ett visst effektuttag motsvaras av en viss iscylinderradie. Den radiens storlek är beroende av vattentemperaturen och de strömningsförhållanden som gäller för den aktuella vattenvolymen.

Turner (1973) anger att relationen mellan värmeflödet genom termisk konvektion och värmeflödet genom ren värmeledning är proportionell mot $(\Delta \varnothing H^3)$ 1/4. Höjden H är i det här fallet radien hos den del av iscyklindern som befinner sig i vattnet ovanför bottensedimenten.

Innan jämvikt har uppnåtts kommer energiflödet till plaströret att överstiga energiflödet till iscyklindern från omgivande vatten. Temperaturen sjunker därvid i iscyklindern och isfronten växer ut. Iscyklinderns radie och därmed H växer. Värmeflödet växer därvid enligt sambandet ovan. När iscyklinderns radie och därmed H har nått en viss storlek uppnås balans mellan tillförd och bortförd energi i isfronten.

Temperaturen i vattnet 0,15 m upp från botten är $+0,44^{\circ}\text{C}$.
Temperaturen i sedimentytan är $+1,47^{\circ}\text{C}$.

På ett av de energiupptagande rören mäts temperaturen uppe på röret och under röret. Temperaturdifferensen mellan mätpunkterna ligger inom felmarginalen.

Det speciella arrangemanget inuti röret ger den här effekten. Eftersom det inre flytande röret i praktiken fungerar som en isolering av det yttre rörets översida kommer den naturliga uppmätta temperaturskillnaden på 1°C mellan över- och undersidan på röret att kompenseras.

Eftersom plaströrets yttre yta har i det närmaste samma temperatur runt om kommer begränsningsytans utformning hos iscyklindern att ge en antydning om energiflödet utseende in mot plaströret i iscyklindern, se figur 4.1.

Eftersom plaströrets utsida och iscyklinderns utsida utgör två isoterma ytor kan, med utgångspunkt från avståndet mellan iscyklinderns yttre begränsningsyta och plaströrets utsida i de olika sektorerna, följande noteras.

Det förefaller som om energiflödet skulle vara störst i sektor A och minst i sektorerna C medan sektor B har ett flöde någonstans däremellan. Detta kan tyvärr ej fastläggas med någon större noggrannhet trots att upprepade mätningar och observationer alltid synes visa den här tendensen. Infruset sedimentmaterial i sektor A kan inverka på resultatet. Higashi (1953) visar dock att en långsam frysning, som resulterar i vattenhalter som överskrider mättningsgränsen, ger värmeledningstal som närmar sig den rena isens.

Sammanfattningsvis kan sägas att av det totala energiuttaget under vinterhalvåret utgörs cirka 25 % av isbildningsvärme, cirka 40 % av energi från bottensedimenten och cirka 35 % från vattenvolymen. Dessa värden torde dock kunna variera i betydande grad beroende på utformning och dimensionering av de energiupptagande anordningarna, vatten- och sedimenttemperaturer, strömningsförhållanden, effektprofiler etc.

Direkt efter isläggningen på hösten är vattentemperaturen i många av våra vattendrag nere i $+0,3$ till $0,5^{\circ}\text{C}$. Sedimentens temperatur är i ytan cirka $1,0 - 1,5^{\circ}\text{C}$ och på 3 meters djup cirka 6°C .

De låga vattentemperaturerna gör att plaströret mycket snart blir isbelagt. Om ispåväxten sker nedåt erhålles följande fördelar. K-värdet ökar och isen kan vid vissa typer av bottnar binda sedimentmaterial, sten etc och därigenom ge viss förankrings-effekt. Sker ispåväxten uppåt försämras k-värdet samtidigt som flytkraften i rörsystemet ökar.

Genom att införa en viss isolering uppåt i rören har vi försökt styra isbildningen nedåt i bottensedimenten.

Isoleringen har utförts i form av ett perforerat rör som flyter i vätskan och ligger an mot ytterrörets inre periferi. Flödet är noll i det inre röret. Genom att dimensionera flödet så att strömningen blir turbulent i de vidare partierna och laminär i de trängre partierna i mellanrummet mellan ytterröret och innerröret blir k-värdet nedåt större än k-värdet uppåt.

Genom det här utförandet fås en osymmetrisk temperaturfördelning i rörets tvärsnittsarea. Vätskeflödet tvingas ned mot botten i rörtvärsnittet och kan kompensera temperaturdifferensen mellan yttre översida och undersida av plaströret. Vid jämförelse med rör utan det här arrangemanget fås högre returtemperaturer med det här arrangemanget. Isbildningen tränger också djupare nedåt i bottensedimenten och minskar uppåt.

3.2 Förankring

3.2.1 Fastfrysning

Vid lämplig botten av fast material eller blockbunden botten kan förankringen av plaströren ske genom fastfrysning i botten. Följande försök gjordes vintern 1981/82. På botten intill ett av 3 plaströren placerades ett tiotal stenar med volymer från $0,5 \text{ dm}^3$ till cirka 3 dm^3 . Det visade sig att isen växte ut snabbare över dessa stenar än där det inte fanns några stenar. Eftersom granit och gnejs till exempel, har en värmeledningsförmåga som är cirka sex gånger större än vattnets bildar stenarna vid fastfrysning i rören köldbryggor i vattnet. Se figur 4.3.1. Vid de låga vattentemperaturer som råder när risk för uppflytning på grund av isbildning på plaströren föreligger sjunker de fastfrusna stenarnas temperatur snabbt under vattnets fryspunkt, och isen breder ut sig över stenarna.

3.2.2 Heat pipes

När bottensedimenten på värmeväxlarens förläggingsplats består av dy eller material som vid frysning har en densitet understigande vattnets behövs speciella förankringsanordningar. Vid stora anläggningar kan iscylindrar med diametern en meter och mer befaras uppstå runt plaströren. För att motverka den flytkraften krävs cirka 50 dm³ betong per meter värmeväxlarrör. Eftersom den här betongen skall appliceras på ett sjöbottenförlagt plaströrssystem blir kostnaden orimlig.

Provanläggningens sjövärmväxlare är delvis förankrad med hjälp av heat pipes så kallade värmerör.

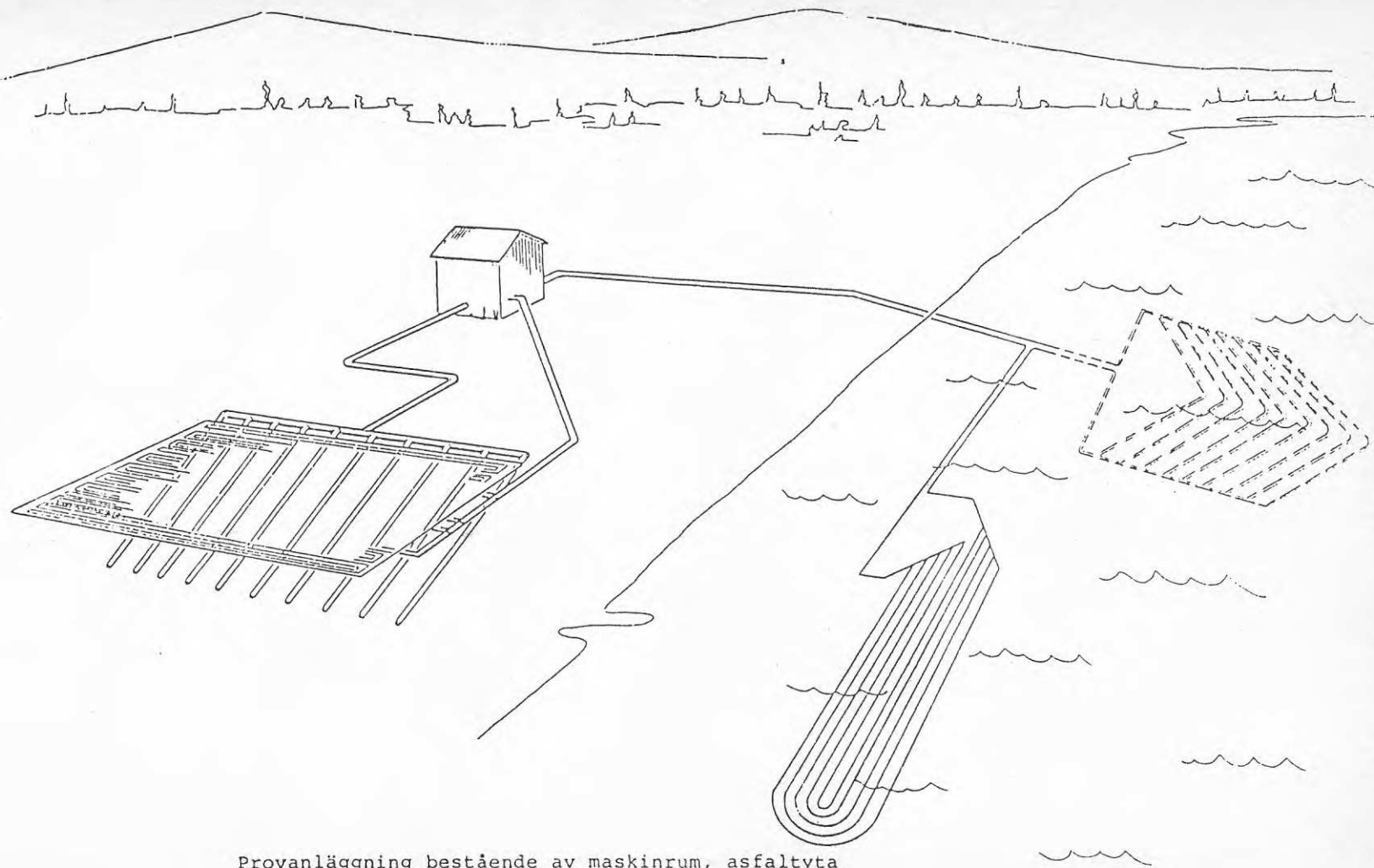
Det är isoterma byggelement som bland annat har använts i rymdsammanhang. Utmärkande för dessa värmerör är deras höga värmeledningsförmåga i en riktning. Genom att föra ned värmerör i bottensedimenten och ansluta dem till plaströren kan en effektiv förankring ske av plaströren.

Det här metallröret är lätt att trycka ner i den typ av bottnar där extra förankring krävs. Om det vore ett vanligt metallrör vore det ju naturligtvis lika lätt att dra upp det igen. I det här fallet blir dock förankringen mycket god. Orsaken till detta är följande.

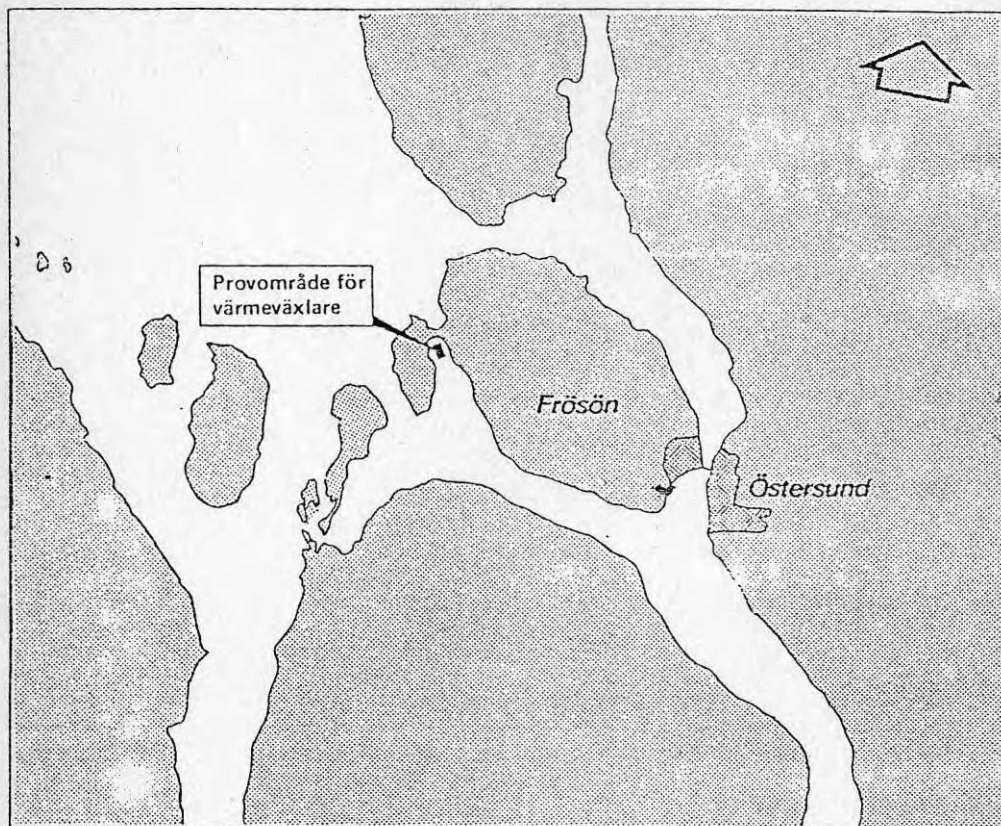
När det bildas is på plaströret på vattendragets botten bildas även is på den övre delen av det i plaströret fastgjorda heat piperöret. Eftersom ett heat piperör är en isoterm enhet fryser heat piperöret fast djupt nere i de bottenlager som omger heat piperörets nedre ände.

Följande konstaterande kan göras.

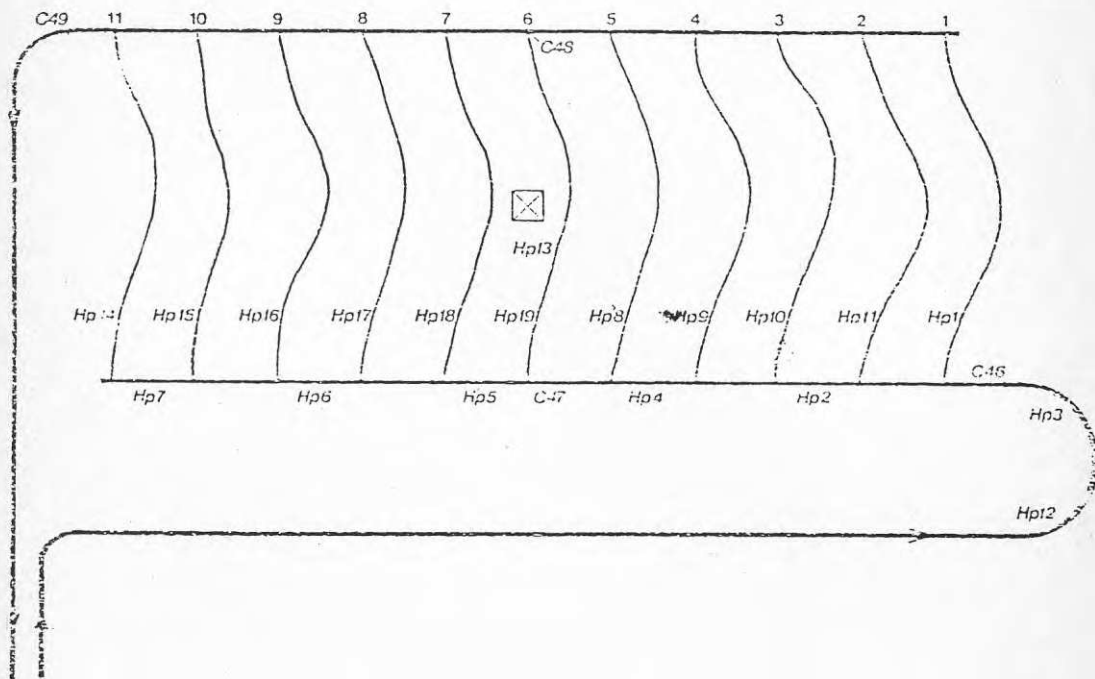
- Där vattendragets botten är sådan att extra förankring krävs kan heat pipes lätt anbringas och föras ned i botten.
- Där bottenförhållandena är sådana att heat pipes är svåra att föra ned i botten krävs ofta ingen extra förankring. Plaströren kan frysa fast i den steniga eller hårda botten.
- När förankring görs med heat pipes överförs en ansevärd mängd energi via dessa utmärkta ledare från heat pipe-enhetens nedre ände till det fastgjorda plaströret. Eftersom heat piperöret lätt kan tryckas 3 till 5 m ned i en dybotten förbinds dessa sedimentlager termiskt och mekaniskt med de energiupptagande plaströren på vattendragets botten. Vid 3 till 5 m ned i bottensedimenten erhålls ett tidsfördröjt temperaturmaximum i mitten av februari varje år. Den termiska förbindelsen mellan detta sedimentlager och plaströren bidrar därför till att höja temperaturen hos den sjöförlagda värmväxlaren under vinterhalvåret.



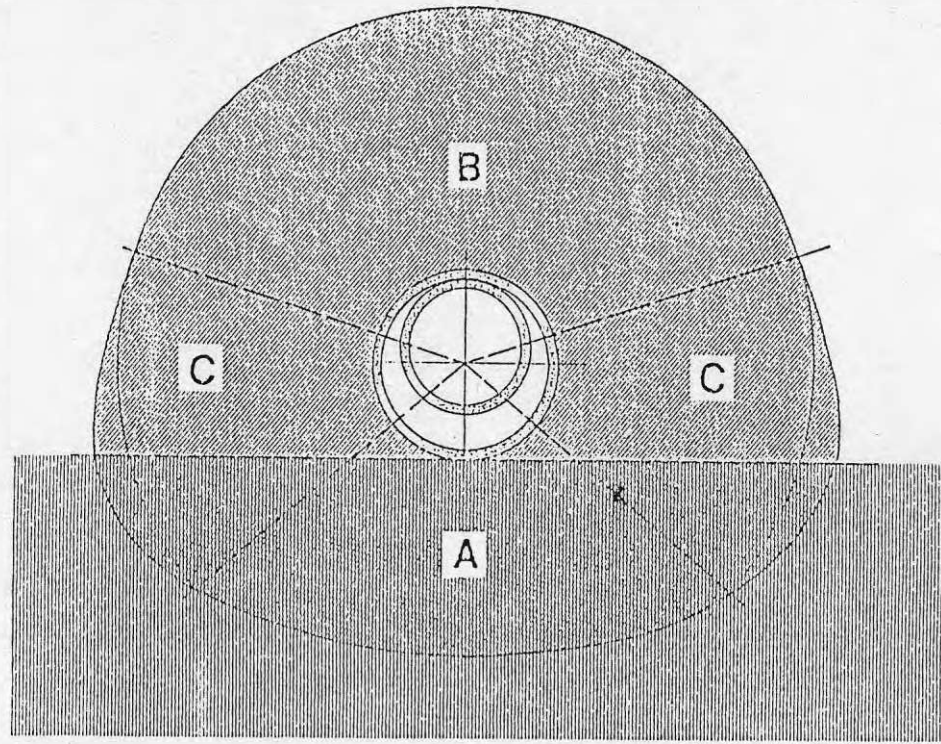
Provanläggning bestående av maskinrum, asfaltyta med inlagda PEX-rör, energilager under asfaltytan, energiupptagare nedgrävd i botten sedimentet i sjön samt med streckade konturlinjer den i proven använda värmväxlaren.



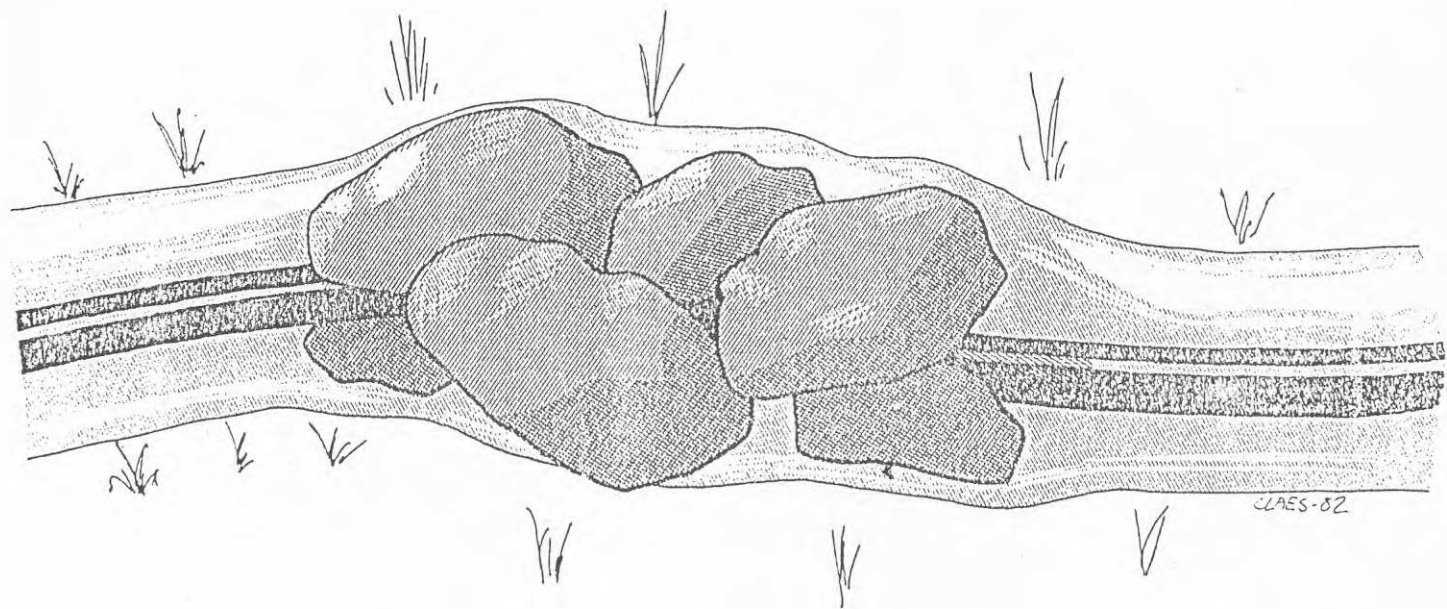
Värmväxlaren är förlagd i Kungsgårdsviken i Storsjön, Jämtland.



Värmeväxlare förlagd på sjöbotten utan nedgrävning i bottensedimenten. C46-C49 är temperaturgivare kopplade till datalogger ACUREX ten/10. Hp1-Hp19 är "heat pipes". I figuren är även mätutrustningens och stenarnas placering inritad.



Tvärnittsårens utseende hos den kring energiupptagaren påfrusna iscyklindern.



Isylindern vidgar sig och växer ut omkring de stenar som får isförbindelse med det energiupptagande plaströret.

Seminarium om sjövärmte - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget:

Resultat från prov i Storsjön med värmväxlare för utvinning av termisk energi ur vattendrag

av Lennart Backlund, FFV Östersund

Fråga från: Torbjörn Svensson, VIAK Göteborg

Vilken effekt dimensioneras era kollektorslangar för i W/m?
Vid vilken sjötemperatur?

Svar:

30-50 W/m vid + 0,3 °C vattentemperatur.

Högre värden vid rinnande vatten, stora anläggningar eller långa transportledningar.

Fråga från: Wilhelm Dietrichson, SNV

Vilka korrosionsinhibitorer används i CaCl₂ (köldbärrätskan).

Svar:

Vid för lågt pH-värde $\text{pH} < 7,0$ tillsätts kaustiksoda Na OH. Vid för högt pH-värde $\text{pH} > 8,5$ tillsätts natriumbikromat ($\text{Na}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) eller natriumkromat.

I de anläggningar vi har sålt har vi ej haft anledning att tillsätta några korrosionsinhibitorer eftersom $7,0 < \text{pH} < 8,5$. Vi betonar dock vikten av täta rör-system för att förhindra tillförsel av syre till saltlösningen.

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB

Är fastfrysning av värmeväxlare i bottensediment över huvud taget en vettig förankringsmetod?

Svar:

Rören är lättare att lägga och förankra på botten än att hålla dem svävande fritt i vattnet.

Mätningar visar att lika mycket, eller mer, värme tillförs rören från botten än från vattnet.

Förläggning på botten ger en något högre temperatur hos brine-lösningen än förläggning fritt i vattenvolymen i kalla vattendrag.

Förläggning på botten ger mindre risk för störningar p g a fiske, båttrafik, vågrörelser, strömmande vatten, is etc än förläggning uppe i vattenvolymen.

I vissa typer av botten sjunker rören så småningom ned i bottensedimenten, vilket är önskvärt ur flera synpunkter.

Fastfrysning av värmeväxlare i bottensedimenten eller nere i fastare bottenlager m h a heat-pipes har visat sig vara den billigaste förankringsmetoden. Den har även fördelen att förankringskraften växer kraftigt vid ökande isbildning på värmeväxlaren.

TORSÅNGSPROJEKTET - PROJEKTBESKRIVNING OCH DRIFTRESULTAT

Jonas Hallenberg, VIAK AB, Falun

Bild 1 Bostadsområdet

140 villor anslutna till ett fjärrvärmenät av konventionell typ. Effektbehov 1 600 kW och årsenergibehov 3,2 GWh. Ursprunglig uppvärmning är oljebaserad. Oljecentralen kompletterades 1981 med ett värmepumpsystem om 750 kW. (Stal Refrigeration). Sjövatten pumpas direkt från sjön Ösjön (i bakgrunden). Avkyllt vatten släpps nedströms intaget (i mitten till höger). Full effekt kan utvinnas ned till $+2,5^{\circ}\text{C}$ och därefter nedregleras effektuttaget för att helt utgå vid $+0,6^{\circ}\text{C}$. Vid behov kompletterar bef oljepannor.

Bild 2 Byggnader

Det mindre huset innehåller befintlig oljecentral och sålunda det större värmepumpsystemet.

Bild 3 Förångare

Två enheter, 3,3 m höga, som vardera innehåller 220 stålrör. Vatt-
net strilar på insidorna för att på så sätt avge energi och för-
ånga köldmediet (R12). Maximalt pumpas ca 60 l/s (vintertid) och
minimalt ca 40 l/s (sommartid).

Bild 4 Kompressorer

3 st kolvkompressorer, två UD8 och en UD4. UD4 är tvåhastighetsreg-
lerad.

Bild 5 Kondensor

Överst i bildens bakgrund.

Max framledning ca $+67^{\circ}\text{C}$. Drifttemperatur $+60^{\circ}\text{C}$ - $+65^{\circ}\text{C}$.

Bild 6 Instrumenttablå för utvärdering

På bilden visas aktuell sjövattentemperatur, övre västra hörnet.
Nederst till höger visas temperaturdifferens över kondensor och i
mitten till höger värmevattenflöde. Överst till höger integre-
ningsverk för mätning av energileverans från värmepumpsystem.

Bild 7 Mätresultat - 8 månaderBild 8 Sjövattemperaturen

Sjövattnet tas ca 1 m över sjöbotten. Vattendjupet varierar p g a reglering och uppgår till mellan 6 och 8 meter. Systemet bygger på att solen under sommaren värmer sjövattnet och därmed sjöbotten, vars utnyttjningsbara areal uppgår till minst 6 km². Efter en snabb avkylning av vattenmassan på hösten så uppstår en temperaturdifferens mellan bottensedimentet och vattnet vilket leder till energiavgivning. Mätresultaten bekräftar denna energitillförsel genom en liten men stadigt ökande bottenvattemperatur. Processen startar vid isläggning då även min temperaturen under hösten uppstår. 1981 var min temperaturen ca 2,1°C och isläggningen ca 4 dagar tidigare än normalt. Andra år då klimatet är ogynnsamt (=sen isläggning) finns risker för mycket låga min temperaturer, kanske ända ner mot 0°C, vilket då medför kortare eller längre driftavbrott. Dessa driftavbrott som i viss mån kan prognosticeras bör ingå i lönsamhetskalkyler.

Vid islossningen på våren (ej ännu mätt) kan även låga sjövattemperaturer vid botten erhållas. Dessa bör dock normalt sett ha mycket kort varaktighet p g a den snabba uppvärmning som då äger rum. Endast kortare driftavbrott kan därför påräknas vid islossning.

Förutom i bild 8 redovisade sjövattemperaturer, som i princip avser en mätpunkt, har även temperaturer mätts på andra platser och vid varierande djup med en radie på ca 200 m runt intaget. Härvid kan inga skillnader i temperaturer mellan punkter nära eller långt från intaget konstateras. På basis av mätprofiler vid isläggning och i mitten av mars kan energiavgivningen från botten uppskattas till i genomsnitt minst 2,5 W/m².



BILD 1

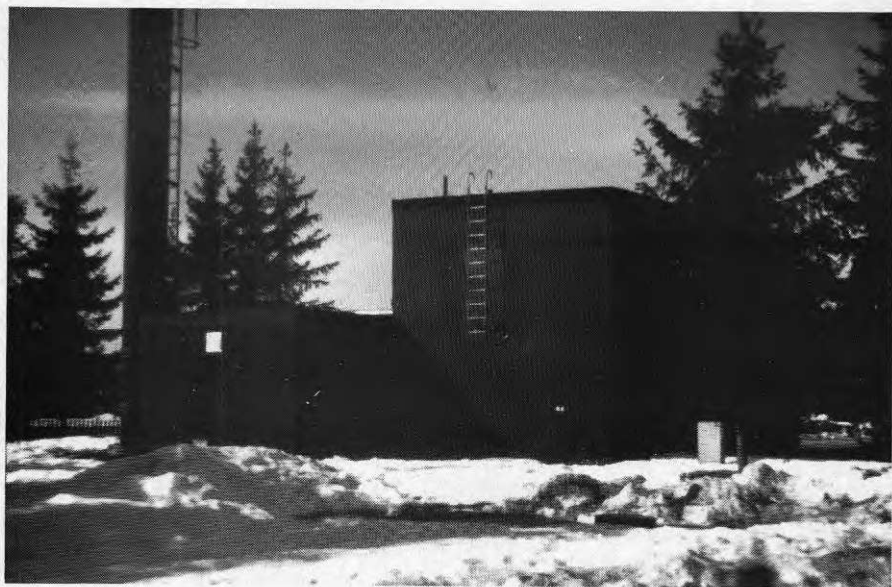


BILD 2

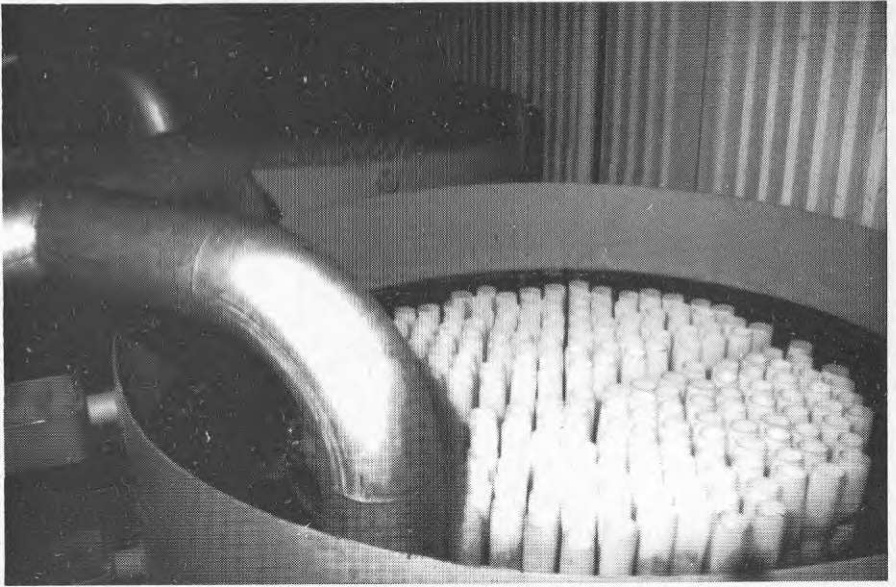


BILD 3

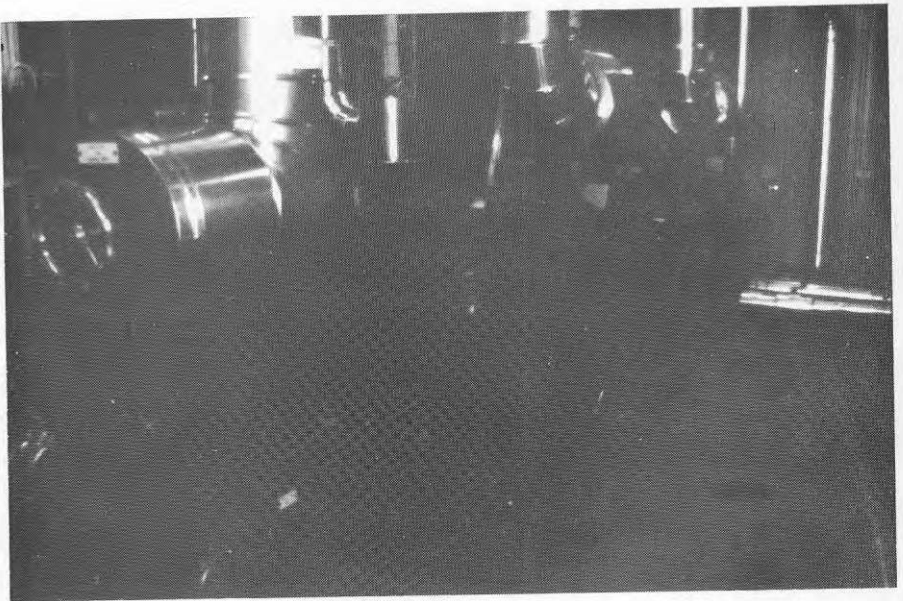


BILD 4

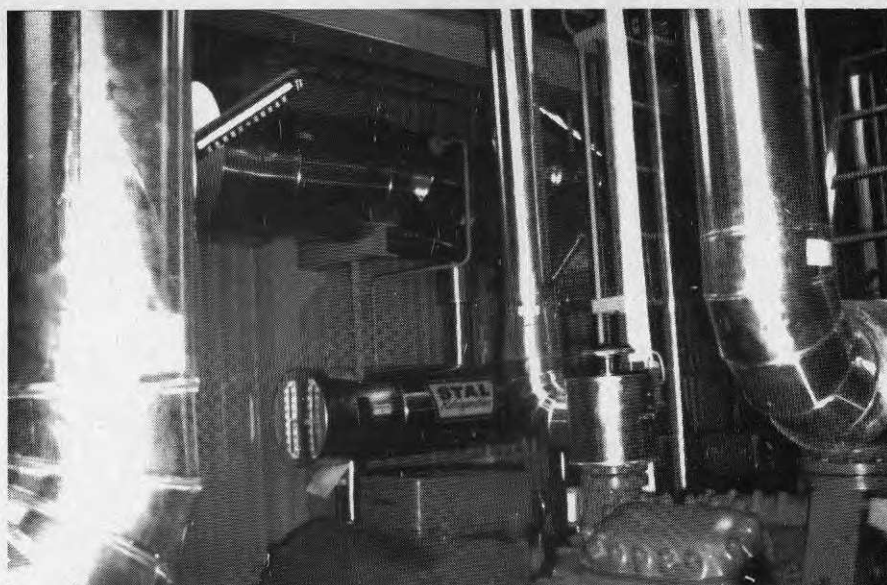


BILD 5

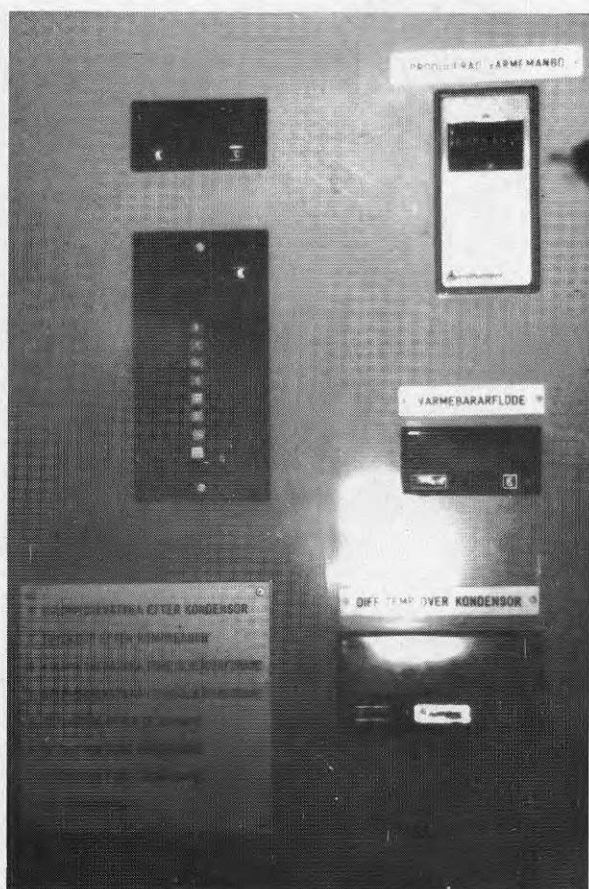
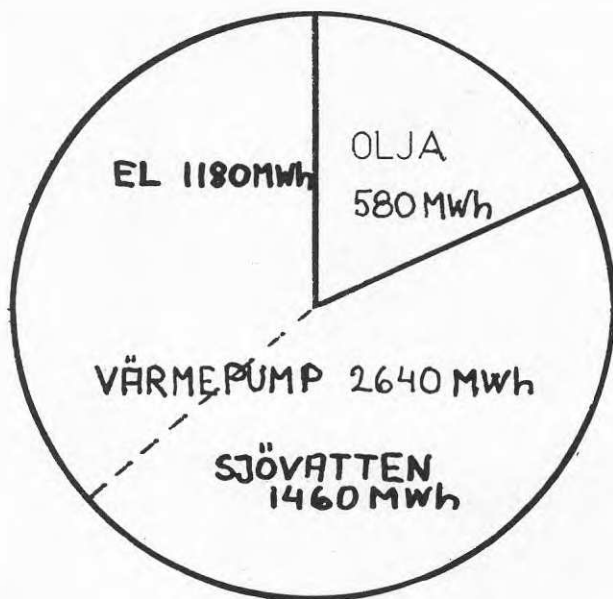


BILD 6

TORSÅNG-DRIFRESULTAT

1981-82, 8 MÅN (SEPT.-APRIL)



VÄRMEFAKTOR: TOTALT 2.2
VÄRMEP 2.6

VID FRAMTEMP CA 64°C
SJÖTEMP-UT CA 2°C

AVGIVEN VÄRMEEFFEKT: MEDEL 450 kW
MAX* 720 kW
MIN* 190 kW

* PER DYGN

BESPARING AV INKÖPT ENERGI: 1460 MWh
(45 %)

BILD 7

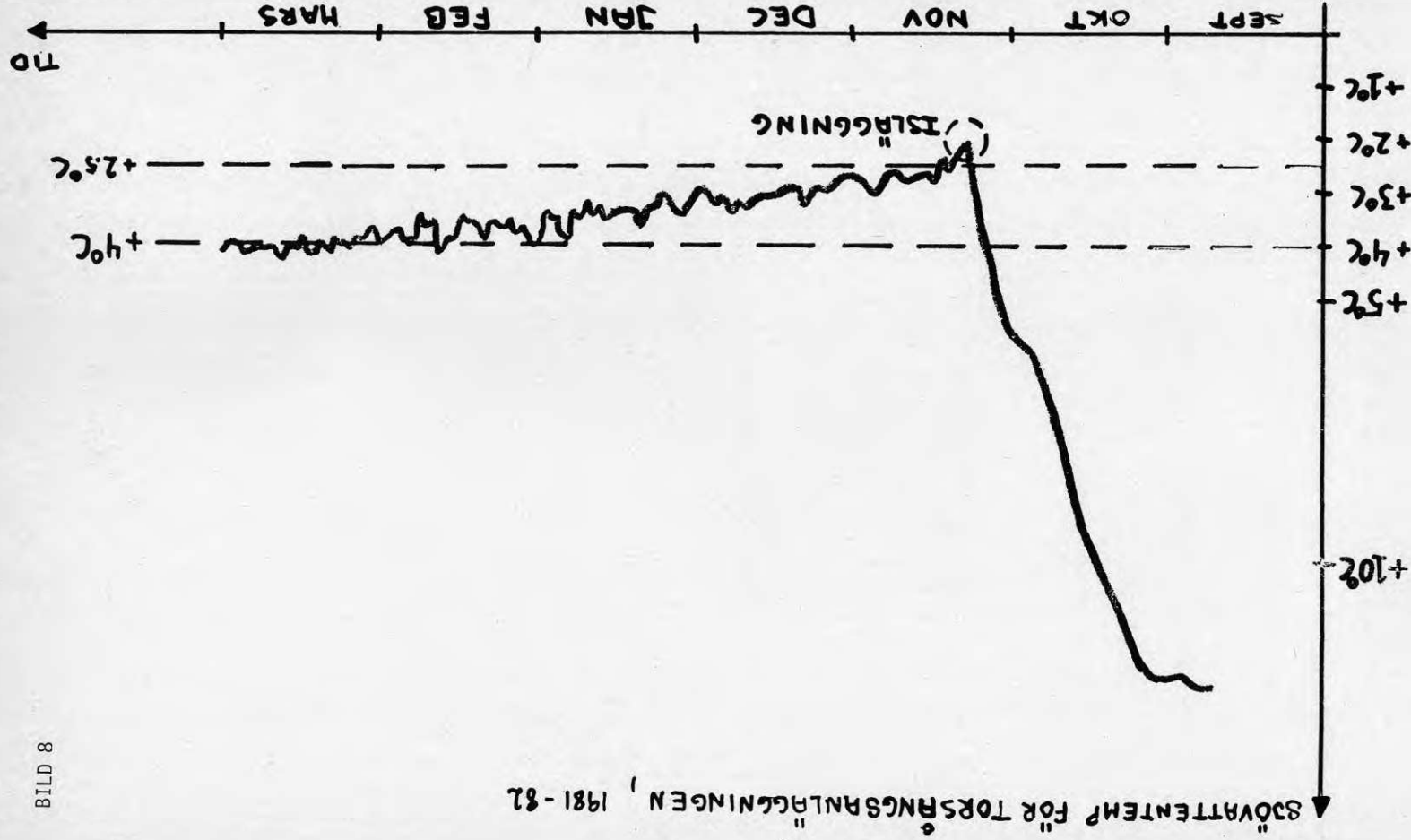


BILD 8

Seminarium om sjövärmte - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Torsångprojektet - driftresultat
av Jonas Hallenberg, VIAK Falun

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB. Har anläggningens kapacitet begränsats och i så fall i vilken utsträckning under denna eldningsäsong p.g.a. låg vattentemperatur?

Svar: Nej. Full effekt, 750 kW, kan utvinnas när sjövattemperaturer är som lägst $+2,5^{\circ}\text{C}$. Vid lägre temperaturer nedregleras uttaget. Säsongen 1981-82 underskreds temperaturen $+2,5^{\circ}\text{C}$ under ca en vecka i samband med isläggningen. Lägsta temperatur uppgick då till ca $2,1^{\circ}\text{C}$ vilket medger ett effektuttag på ca 600 kW från värmepump. Enär bostadsområdets effektbehov under nämnda vecka ej översteg ca 500 kW så uppkom inget effektunderskott.

VÄRMEPUMPSANLÄGGNING I Ö. GREVIE

av tekn.dr. Torbjörn Svensson
 Inst.f. vattenbyggnad, Chalmers tekn. högskola
 och VIAK AB, Göteborg

1 Teknisk beskrivning

Vid utbyggnad av Ö. Grevie folkhögskola i Skåne förelåg ett starkt intresse från skolans ledning att utnyttja alternativa energikällor för uppvärmning. Efter som lämpliga värmekällor fanns tillgängliga i form av en mindre sjö samt fält lämpade för ytjordvärme valdes att utföra en värmepumpsanläggning.

Anläggningen är projekterad av Joel Österbergs Ingenjörbyrå i Malmö.

Utbyggnaden omfattar tre byggnader som används som elevhem och en ateljébyggnad. Sammanlagd nybyggnadsvolym är 11 000 m³. Den äldre delen av skolan omfattar flera byggnader, bl.a. en stor huvudbyggnad. Värmepumpsanläggningen är dimensionerad för att täcka effektbehovet för uppvärmning och temperering av ventilationsluft för nybyggnaderna samt värma tappvarmvatten för hela skolan. Vidare kan anläggningens överkapacitet under vår och höst utnyttjas för uppvärmning av de äldre delarna av skolan.

För uppvärmning av de äldre byggnaderna under vintern finns en oljepanna som också utgör reserv för värmepumpsanläggningen.

Tekniska data för uppvärmningsanläggningen framgår av följande tabell:

Värmepump: 2 st STAL Refrigeration VMV 8

Värmekällor: Sjö resp. ytjord + spillvärme från keramikugnar

Kompressoreffekt: 2 x 47 kW

Max. effektbehov 260 kW

Energibehov 828 MWh

Max. framledningstemperatur 45 °C

Lägsta utgående brinetemp. -5 °C

Köldbärarvätska etylenglykol (20%)

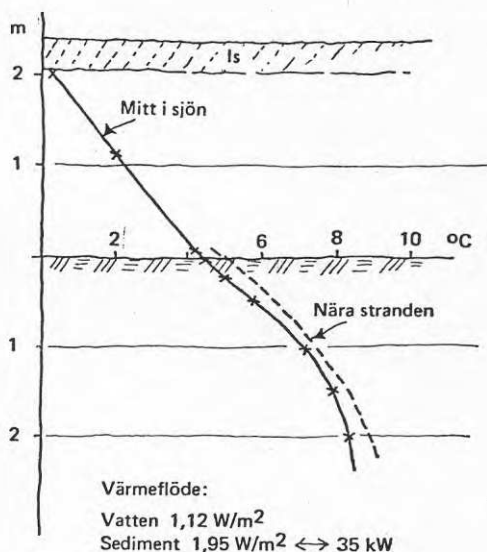
Köldmedium R22

2 Sjön som värmekälla

Sjön som utnyttjas som värmekälla har en yta av 18 000 m² och ett djup av maximalt 3 m. Medeldjupet är 1,8 m. Sjön ligger i ett utpräglat jordbruksområde och har tidigare använts som torvtäkt. Genomströmningen är relativt liten.

Bottenmaterialet utgöres av gyttja med varierande tjocklek från någon dm till över en m. Därunder vidtar ett skikt med gyttjelera eller torv som överlagrar en kalkhaltig moränlera.

Temperaturmätningar gjordes under vintern 1980 för att bedöma sjöns funktion som värmekälla, fig. 1. Temperaturprofilen från slutet av februari visar en linjärt ökande temperaturgradient från isens underkant ned till +4°C vid botten och fortsätter sedan att öka till 8-9°C på 2 m djup i sedimenten. Av denna profil kan man dra slutsatsen att värmen från sedimenten är avgörande för temperaturen i sjön och att denna torde vara stabil och tämligen hög vid botten under den islagda delen av vintern. Inverkan av genomströmning är liten och vattenströmningen torde vara laminär.



Figur 1 Uppmätt temperatur i sjö och sediment i Ö. Grevie 1980-02-29.

Det maximala effektuttaget ur sjön är ca 70 kW vid en värmefaktor av 2,5. Räknat på hela sjön motsvarar detta ett uttag av 3,9 W/m² sjöyta. Det verkliga uttaget är emellertid mindre och torde uppgå till 35-40 kW som medeltal under perioden dec-mars om båda värmepumparna körs lika mycket. Detta motsvarar ett uttag

av 2 - 2,2 W/m².

Värmeuttaget ur sjön är alltså av samma storleksordning eller större som det totala värmeflödet från sedimenten och man kan därför förutse en sänkning av temperaturen i sjön relativt den naturliga. Härigenom ökar värme-
flödet från sedimenten och minskar värmeförlusterna till isen så att ett nytt jämviktsläge kan inträda.

3 Slangsystem för värmeupptagning

Värmeupptagaren utgöres av polyetenslang PEL $\phi 40/3,7$ vilken utlagts på botten i 14 parallella slingor med 2,5 avstånd, fig. 2. Slingorna sammanförs till en grov till- resp. returledning i två samlingskammare i strandkanten.

Från samlingskammarna är slingorna nedgrävda och täckta med jord till ett vattendjup av ca 1 m. Ute i sjön är slingorna förankrade med hjälp av 2,5 m långa bygglar av armeringsjärn, vilka nedtryckts i botten. Slangarna har därvid blivit mer eller mindre nedtryckta i den lösa gyttjan. Medeldjupet torde vara 1-2 dm. Vis-sa partier ligger direkt på botten och största konstaterade djup är över 1/2 m.

Den totala slanglängden i sjön är ca 3300 m, vilket motsvarar ett dimensionerande effektuttag av ca 20 W/m.

4 Mätprogram

Utvärdering av anläggningen, och speciellt sjöns funktion som värmekälla, utföres av institutionen för vattenbyggnad, CTH. Mätprogrammet grundar sig på följande förutsättningar:

- o Nära maximalt möjligt värmeuttag ur sjön
- o Relativt stor skala
- o Goda referensmöjligheter i närbelägna sjöar
- o Fungerande ekosystem

Mätprogrammet avses fortgå under tre säsonger och består av följande delar:

- 1) Värmeomsättning och värmeuttag ur vatten och sediment. 1 gång/vecka.

Värmemängdsmätning: brine

Temperatur: vatten, sediment, till- och frånflöde

Meteorologiska parametrar

Referens: temperatur

Hydrologi

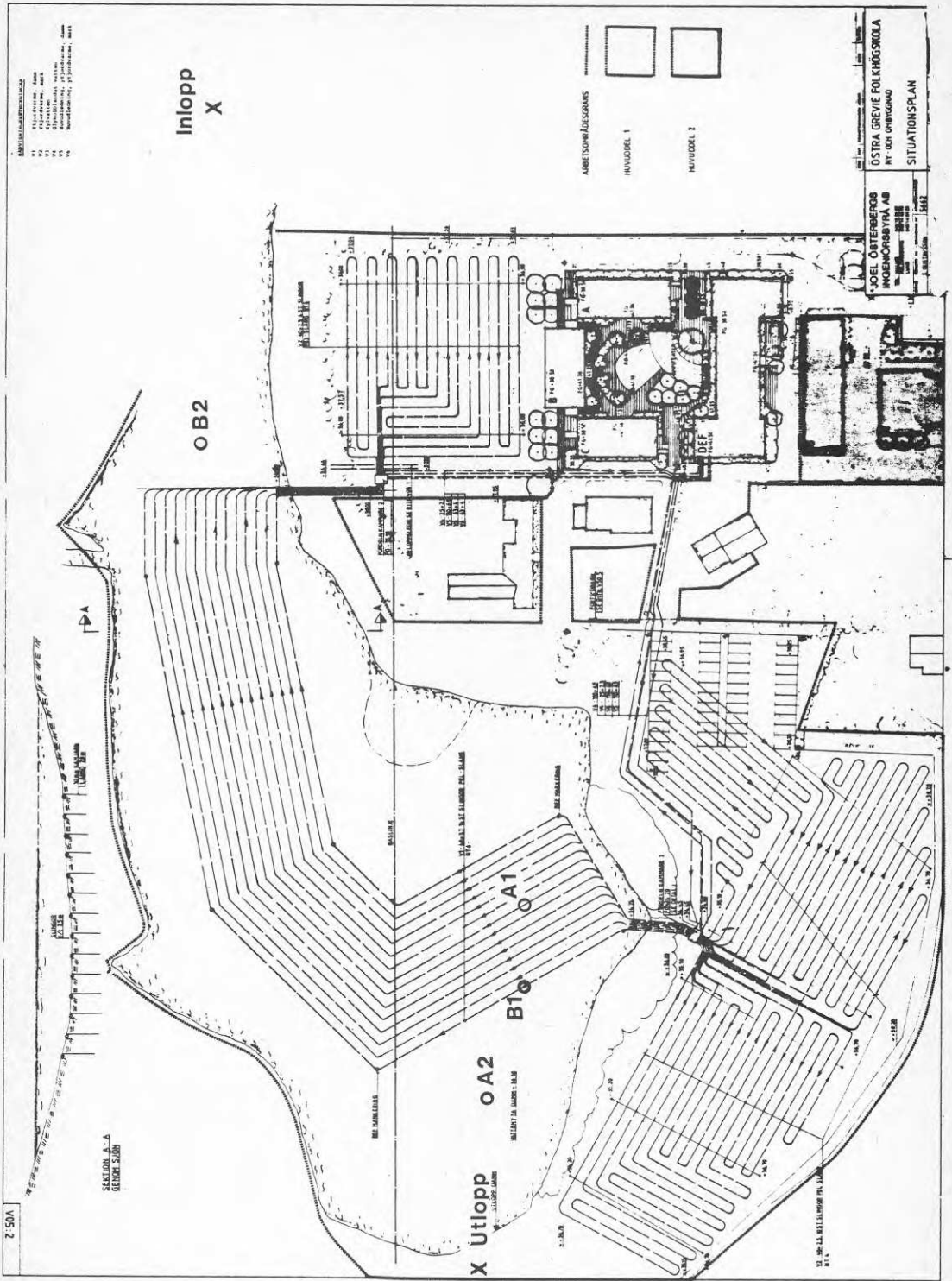


Fig 2 Ö.Grevie. Plan över slangutläggning i sjö och mark samt temperaturmätpunkter i sjö och sediment

- 2) Värmepumpens energiomsättning 1 gång/vecka.
Värmemängd på primär- och sekundärsida
Elförbrukning
- 3) Ekologisk förundersökning
Bottenfauna, fisk
Växtekologi, näringsflöden
Även i referens
- 4) Geologisk undersökning
Sedimentkartering
Sammansättning, termiska egenskaper

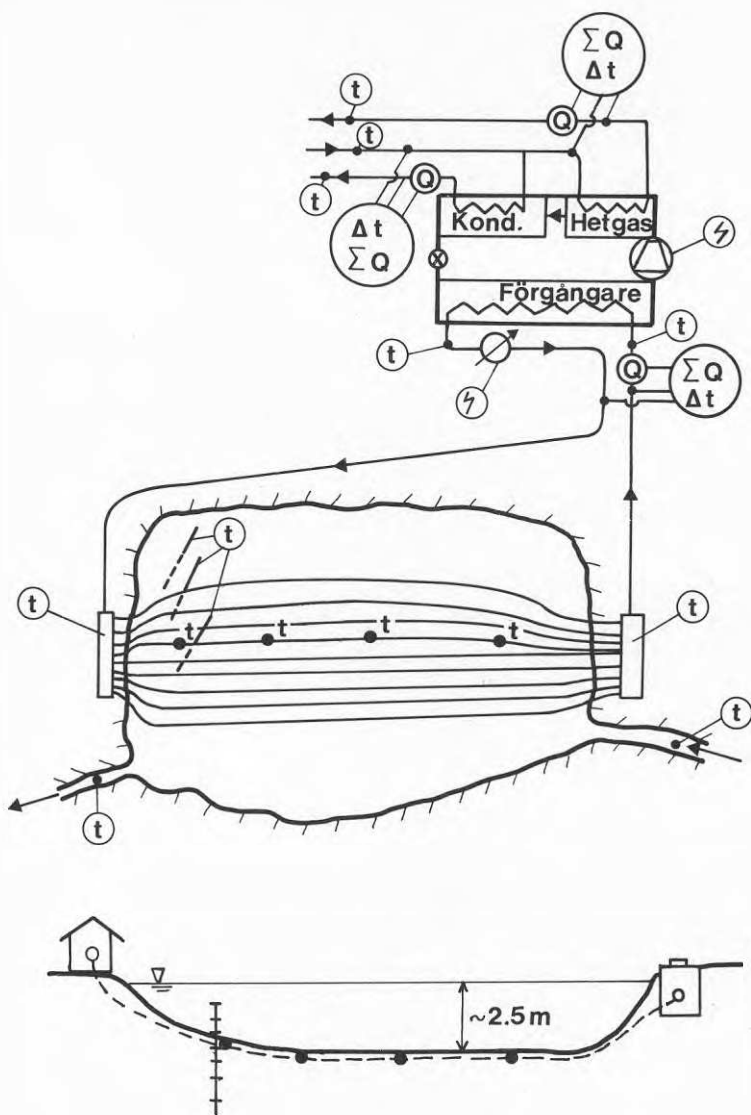
Mätpunkter för temperatur och värmeflöden framgår av skissen i fig. 3.

5 Preliminära mätresultat

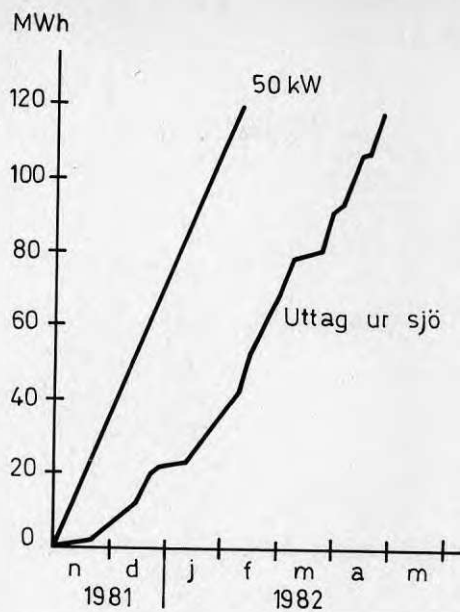
Anläggningen togs i drift i nov. 1981 och har delvis gått med reducerad effekt under vintern pga intrimningsproblem. Fram till den 26 april 1982 hade 117 MWh värme hämtats ur sjön, fig. 4.

Temperaturen på inkommande brine har varierat mellan ± 0 och -2°C och utgående brinetemperatur har varit $2-3^{\circ}\text{C}$ lägre.

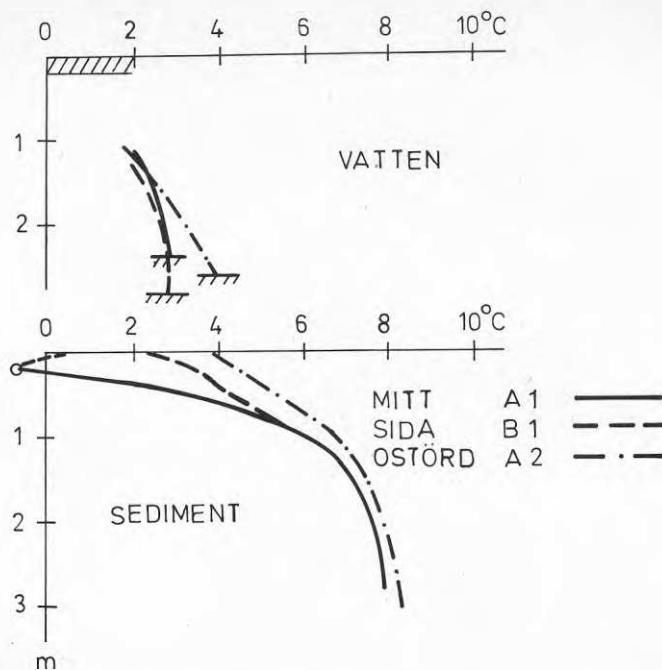
Exempel på uppmätta temperaturer i sjön och sedimenten visas i fig. 5 och 6. Under perioder med kraftigt uttag (fig. 5) sker en påfrysning kring slangar som ligger nedsjunkna i sedimenten (A1) men ej vid slang ovan på botten (B1). Inom slangområdet sjunker temperaturen vid botten ca 1°C relativt de ostörda områdena i sjön, där temperaturen inte synes skilja sig nämnvärt från den som kan förväntas under naturliga förhållanden.



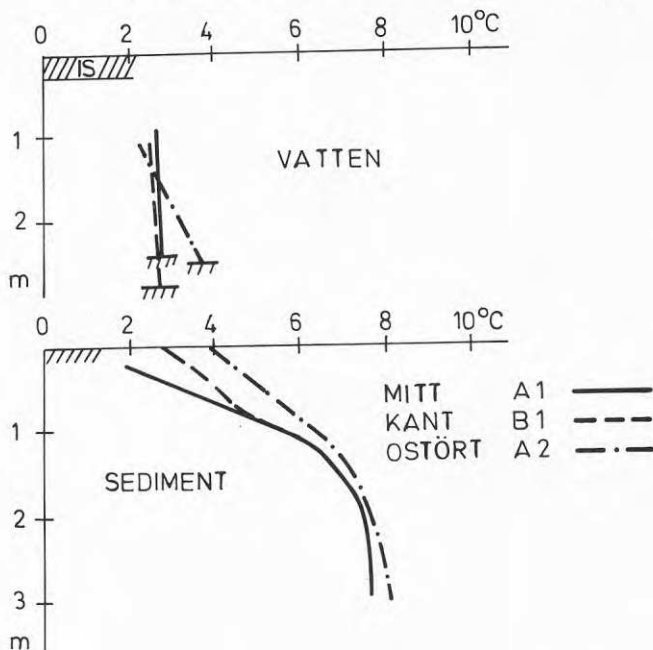
Figur 3 Schematisk bild av mätpunkternas placering vid värmepumpen och i sjön.



Figur 4 Summerat värmeuttag ur sjön i Ö. Grevie vintern 1981-82. Som jämförelse är linjen för en konstant effekt av 50 kW inlagd.



Figur 5 Uppmätta temperaturer i sjö och sediment 1982-03-02. Mätsond A1 är placerad invid en slang mitt i slangsystemet, B1 invid en kantslang och A2 utanför slangsystemet.



Figur 6 Uppmätta temperaturer i sjö och sediment 1982-03-16.

Seminarium om sjövärm - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Östra Greve - projektbeskrivning. Slangförsök

av Torbjörn Svensson, VIAK Göteborg

Fråga från: Wilhelm Dietrichson, SNV.
Har ni inte fått någon temperaturinverkan i vattnet vid sidan av slangsystemet?

Svar:

Vi har inte gjort några mera detaljerade mätningar av temperaturfördelningen under innevarande vinter än de som redovisats. Man kan dock förmoda att temperaturprofilen mellan slangarna inte skiljer sig nämnvärt från de uppmätta profilerna intill slangen. Utanför hela slangsystemet synes inverkan på temperaturen ha varit liten, högst någon eller några få tiondels grader.

Fråga från: Wilhelm Dietrichson, SNV
Hur stort var vinterns uttag i % av max.?

Svar:

Uttaget under månaderna dec. 1981 - mars 1982 var 95 MWh vilket är 80-90 % av det planerade uttaget under ett medelår. Det gjorda uttaget motsvarar ca $1,8 \text{ W/m}^2$ räknat på hela sjöns yta. Det finns emellertid möjligheter att göra betydligt större uttag genom att prioritera drift av sjövärmepumpen före ytjordvärmepumpen.

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Har temperaturen i dammen sänkts i planerad utsträckning?
Hur stor är kvarstående kapacitet?

Svar:

Någon mera detaljerad beräkning av förväntad temperatursänkning har inte gjorts. Överslagsmässigt kan man bedöma att temperatursänkningen borde bli ungefär så stor som den uppmätta eller möjligen något större.

Den kvarstående kapaciteten kan ej bestämmas entydigt, eftersom den är beroende av hur stor andel av värmets som tas genom frysning kring slangarna. Om man kyler vattnet och sedimenten ned till 1 m djup 2 grader kan ytterligare ca 50 MWh tas ut vilket motsvarar ett 50 % större uttag under vintern.

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Hur mycket påverkas istillväxten av det kommande
värmeuttagen vid Ö.Grevie?

Svar:

Istillväxten på sjön påverkas knappast alls av värmeuttaget.
Även om sjön kyls till $\pm 0^{\circ}\text{C}$ blir ökningen av istjockleken endast
några få cm.

LABORATORIEFÖRSÖK FÖR BESTÄMNING AV VÄRMEUPPTAGNING
MED BOTTENFÖRLAGDA SLANGAR

av tekn.dr. Torbjörn Svensson
Inst.f. vattenbyggnad, Chalmers tekn. högskola
och VIAK AB, Göteborg

1 Försökens syfte

Vid inst. för vattenbyggnad, CTH, pågår försök med mätning av värmeupptagning med bottenförlagda kylslangar. Försöken syftar till att bestämma upptagen värmeeffekt och ispåväxt som funktion av brinetemperatur och vattentemperatur. Dessutom varieras slangens läge relativt botten, typ av bottenmaterial (sand resp. torv) och värmefflöde från botten till vattnet. Resultaten skall kunna användas för dimensionering av erforderlig slanglängd.

2 Försöksutförande

Försöken utföres i V-sektionens klimatrum, där lufttemperaturen kan styras i erforderlig omfattning. Här har en bassäng med innermåtten 5,6 x 3,0 x 1,2 m byggts upp, fig. 1. Bassängen är isolerad åt sidorna och försedd med en blindbotten. Vattnet under blindbotten kan kylas eller värmas så att lämplig temperatur erhålles. Temperaturen i bassängen regleras i första hand med lufttemperaturen i rummet.

Provslingan utgöres av en 11 m lång polyetenslang, PEL $\phi 40/3,7$. Denna dimension har valts därför att den är vanligast förekommande, men resultaten bör också bli överförbara till slangar av andra dimensioner och material. Genom slingan cirkuleras en glykolblandning (25% etylenglykol) vars temperatur regleras noggrant av ett termostatbad som kan hålla temperaturen konstant inom $1/100$ °C.

Mätning av värmeupptagningen utföres med två metoder för att öka säkerheten. I den första metoden mätes temperaturdifferensen över slingan samt vätskeflödet. Den andra metoden består i att temperaturdifferensen över slingan balanseras i en elektrisk brygga mot temperaturdifferensen över en värmare med variabel effekt. Värmarens effekt vid balanspunkten svarar mot den upptagna värmeeffekten hos slingan.

Temperaturgivarna i brinesystemet är av typ termistorer, vilka utvalts för att vara parvis lika. Temperaturen mätes också i vattnet och i bottenmaterialet i ett antal punkter. Här används halvledargivare av typ AD590.

3 Preliminära mätresultat

En fullständig mätserie har genomförts för slang lig-

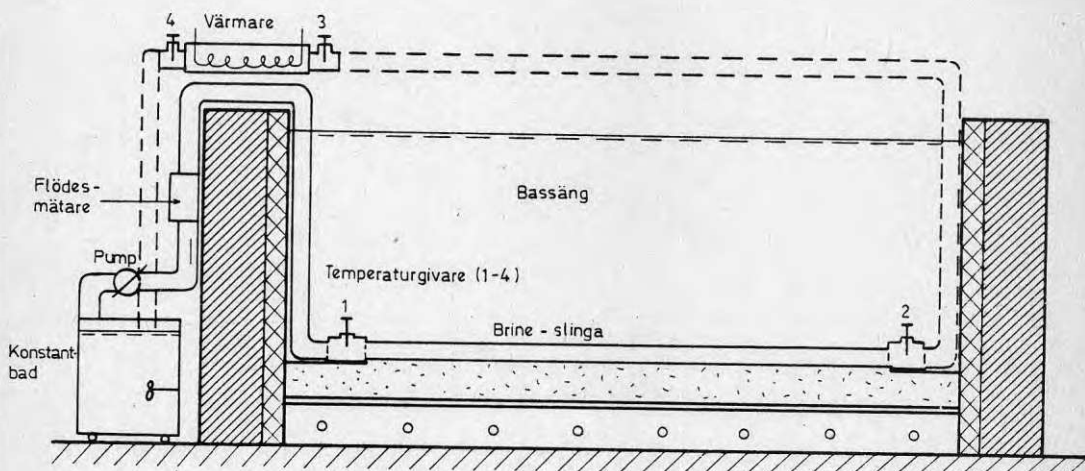
gande direkt på en slät sandbotten. Värmeupptagningen hos slangen vid olika temperatur hos omgivande vatten visas i fig. 2.

Värmeupptagningen ökar med ökat ΔT , dvs temperaturskillnaden mellan omgivande vatten och brinevätskan, men ökningen är inte linjär. Vid de högre vattentemperaturerna, 4 och 5 °C, sker ökningen relativt långsamt i början jämfört med lägre temperaturer. Detta beror på vattnets täthetskurva som har sitt maximum vid +4°C, varför drivkraften i den strömning som för bort det avkylda vattnet är minst vid denna temperatur.

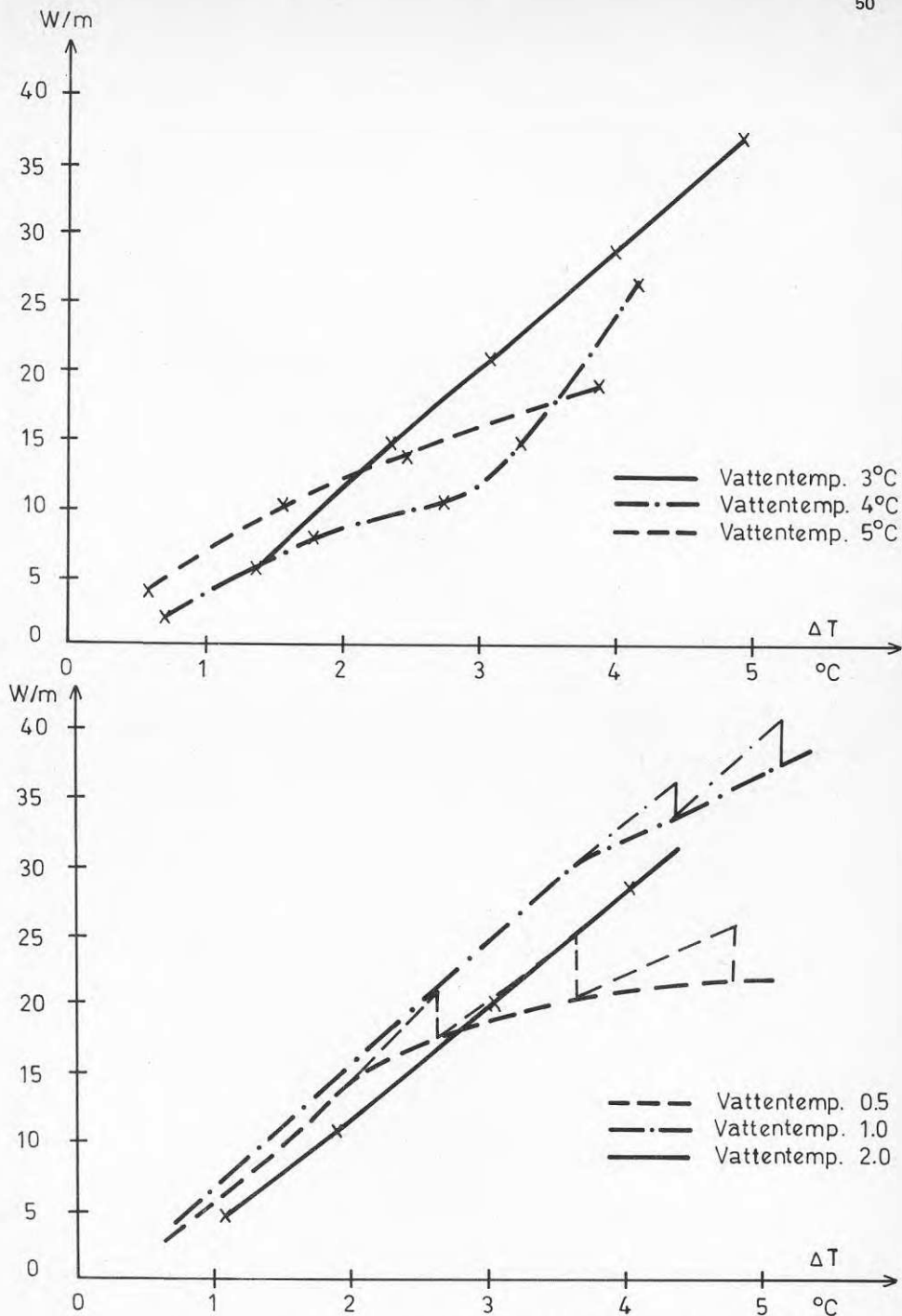
Ispåfrysning på slangen börjar när brinetemperaturen är ca -3°C vid en vattentemperatur av +1°C. Vid +0,5°C vattentemperatur börjar ispåfrysning vid en brinetemperatur av ca -2°C. Ispåväxten når så småningom ett stationärt läge för varje ΔT . Vid t.ex. vattentemperaturen +0,5°C och brinetemperaturen -3,2°C erhålles en istjocklek av 35 mm. Kurvan som sammanbinder dessa stationära värden flackar ut för stora ΔT och låg vattentemperatur. Det finns således en praktisk övre gräns för effektuttaget som är mycket känslig för vattentemperaturen i intervallet 0-1 °C. För vattentemperaturen 0,5°C ligger denna gräns vid ca 20 W/m.

Värmeupptagningens beroende av vattentemperaturen framgår närmare av fig. 3. Av denna framgår att värmeuttag av upp till 40 W/m eller mera är möjliga för vattentemperaturer överstigande +1°C.

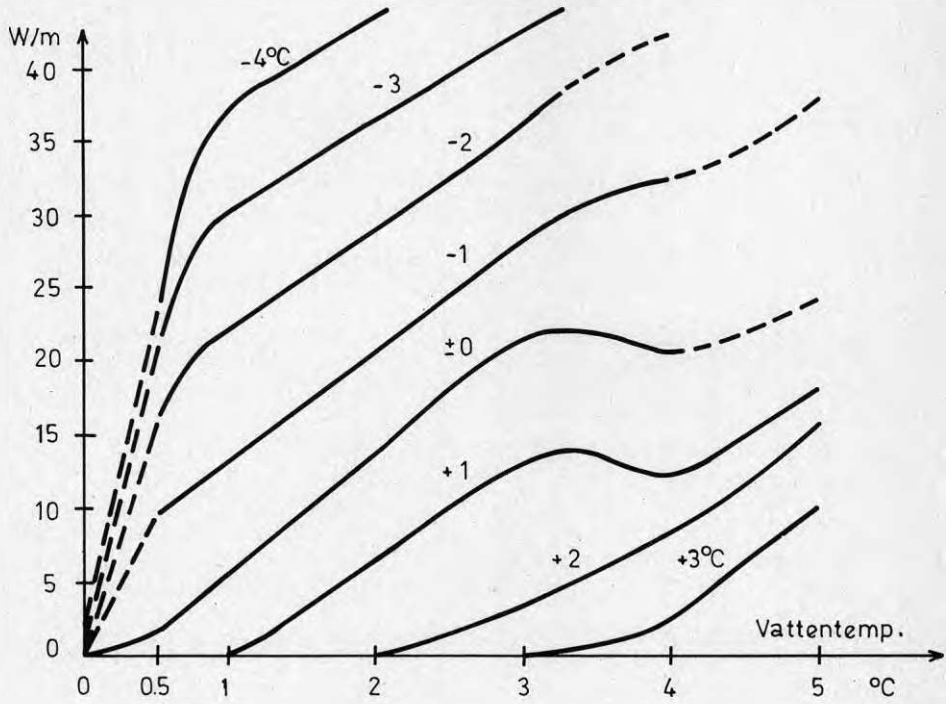
Vid vattentemperaturer under 1 °C blir samspelet mellan isbildning, smältning och värmeupptagning från vattnet avgörande för värmeupptagningen. Kortvarigt kan höga effekter tas ut medan vid ett mera kontinuerligt uttag effekten begränsas pga det tjocka isskiktet.



Figur 1 Principiell försöksupställning för prov med bottenförlagd slangvärmväxlare.



Figur 2 Värmeupptagning hos kylslang PEL 40/3,7 lagd på en sandbotten vid olika vattentemperatur. Med ΔT avses temperaturskillnaden mellan brinevätska och omgivande vatten.



Figur 3 Upptagen värmeeffekt hos bottenförlagd slang vid olika brinetemperatur som funktion av vattentemperaturen intill slangen.

SKÖVÄRME FRÅN VÄSMAN - FÖREDRAG VID BFR-SYMPOSIUM

Lennart Petersson, STAL-LAVAL

1 BAKGRUND

Stal-Laval tillverkar värmepumpar större än 10 MW och levererar bl a hösten 1982 en 10 MW:s sjövärmepump till ASEA-Ludvika.

Före ombyggnaden baserades ASEA-Ludvikas värmeförsörjning på 96 % olja och 4 % sopor. Efter ombyggnad av energicentralen ersätts den största delen av oljan med värme från värmepumpen, se fig 1. I nya systemet ingår även en elpanna.

Den sjövärmepump som är under uppförande använder sjövattnet från sjön Väsman som värmekälla även vintertid.

Sjövattnet tas in till värmepumpen och släpps tillbaka till sjön efter det att energi avgivits till förångaren.

Ur både miljösynpunkt samt teknisk/ekonomisk synpunkt används det varma ytvattnet på sommaren och det relativt varma bottenvattnet på vintern, se fig 2. På så sätt utnyttjas sjön sommartid som naturlig solfångare och vintertid som värmelager.

2 VÄSMAN SOM VÄRMEKÄLLA

2.1 Sjön Väsman

Ludvikas centralort samt ASEA ligger i anslutning till Väsman som är en relativt stor och djup sjö.

Huvuddata för Väsman kan sammanfattas enligt:

Total area	35 km ²
Total vattenvolym	410 · 10 ⁶ m ³
Medeldjup	12 m
Maxdjup	< 60 m
Vattenvolym i del I, södra delen	130 · 10 ⁶ m ³
Area i del I	8,5 km ²

2.2 Utnyttjning av Väsman som värmekälla

För att på bästa sätt utnyttja Väsman som värmekälla byggs två intagsledningar. Vid sommarintaget tas varmt ytvatten in. Den grundare viken utnyttjas då som solfångare. På vintern tas vattnet från ca 30 m djup. På så sätt tar man in bottenvatten med normalt 2-3,5 °C.

I båda fallen släpps vattnet ut ca 3 meter under vattenytan. Genom att temperatursänkningen i förångarna är i storleksordningen en grad släpps alltså vattnet ut i ett skikt med liknande temperatur. Ur miljösynpunkt torde detta vara positivt.

Vinterintaget, se fig 2, är placerat i en djupfåra som står i förbindelse med en stor del av sjöns djupare partier. Denna placering gör det möjligt att komma åt det varmare bottenvattnet som erhållit en del av värmeenergin från sjöns varmare botten sediment.

2.3

Väsmans lämplighet som värmekälla

För att fastställa Väsmans lämplighet som värmekälla har mätningar och beräkningar utförts.

Bl a har mätningar utförts för att fastställa vattentemperaturen under vinterperioden. Denna temperatur och värmeinnehållet är avgörande vad avser möjligt energiuttag både tekniskt och miljömässigt.

Årsisotermerna, se fig 3, som uppmätts 1981 visar att botten temperaturen legat över 3 °C hela året. De mätningar som utförts från mars 80 fram till dags datum visar botten temperaturer under vintern från drygt 2,5 °C till 3,5 °C.

Enligt tidigare (1980) bedömningar som utförts av SMHI kommer botten temperaturen att "kraftigt understiga" 2,5 °C en gång var 15:e till var 20:e vinter.

Beräkningar av sjöns södra del har utförts av Statens Naturvårdsverk enligt modellen i fig 4. Avsikten var bl a att beräkna sjöns naturliga temperaturvariationer under den islagda årstiden samt att beräkna inverkan av energiuttag av olika storlekar.

Vissa förutsättningar har medvetet satts så att möjligt energiuttag underskattas. Beräkningarna visar att energi från botten sedimentet ökar vattentemperaturen med 0,25 °C under islagda perioden och naturliga förhållanden. Motsvarande uppmätt resultat 1981 var 0,4 °C.

Vid ett energiuttag på 10 MW:s effekt beräknas en temperaturhöjning (T1) under den islagda årstiden till 0,15 °C.

Med hänsyn till ovanstående samt även nedanstående beräkningar och mätningar anses Väsman lämplig som värmekälla till ASE A-anläggningen.

2.4

Mätningar i Väsman

För kartläggningen av Väsman har utnyttjats även äldre mätningar (SMHI-s) av vattentemperaturer, genomrinning och vattenstånd. Uppföljning av sjön kan också göras utgående från de mätningar som SNV har gjort och gör i Kolbäckens vattensystem, där Väsman innefattas.

Nedan göres en listning av utnyttjade och kommande aktiviteter i Väsman:

- Egna mätningar 1980-03, vattentemperaturen södra delen.
- Egna mätningar, startades hösten 1980 och pågår ännu, kontinuerlig temperaturmätning från yta till botten vid vinterintaget.
- SMHI mätningar 1980-04, vattentemperatur i södra delen.
- SNV mätningar, vintern 80/81,
 - vatten- och sedimenttemperaturer
 - temperatur in- och utflöden
 - upprättande av värmebudget
 - vattenspridning under is
- Flödeskartläggning 1951-1980, jfr fig 5.
- Temperatur i utlopp 1975 - idag.
- Temperatur vid vinterintag och utloppspunkt 1982-1985.
- Vattenspridning från utlopp
- Fauna

Det stora antalet aktiviteter skall ses mot bakgrunden av att detta är den första riktigt stora sjövärmepumpen. Ambitionen har varit att öppet använda resultaten för att respektive myndighet skall kunna göra egna bedömningar.

2.5

Energijämförelse

Vid en energijämförelse användes Väsmans södra del (del I), se fig 6.

Vattenvolym delområde I	$= 1,5 \cdot 10^8 \text{ m}^3$
Medeltemperatur sommar	$\approx 15 \text{ }^\circ\text{C}$
Medeltemperatur vinter	$\approx 2 \text{ }^\circ\text{C}$

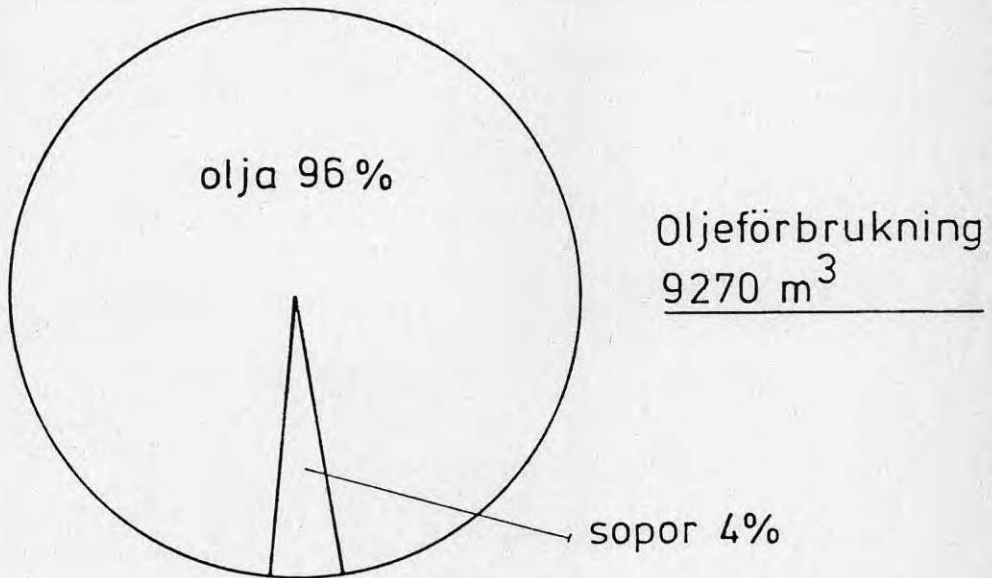
Skillnaden i energiinnehåll blir då $Q_{\text{sjö}} \approx 2 \cdot 10^6 \text{ MWh}$.

Energiuttaget med en 10 MW:s värmepump och $\theta \approx 3$ under 5 vintermånader $= Q_{\text{vp}} = 2 \cdot 10^4 \text{ MWh}$.

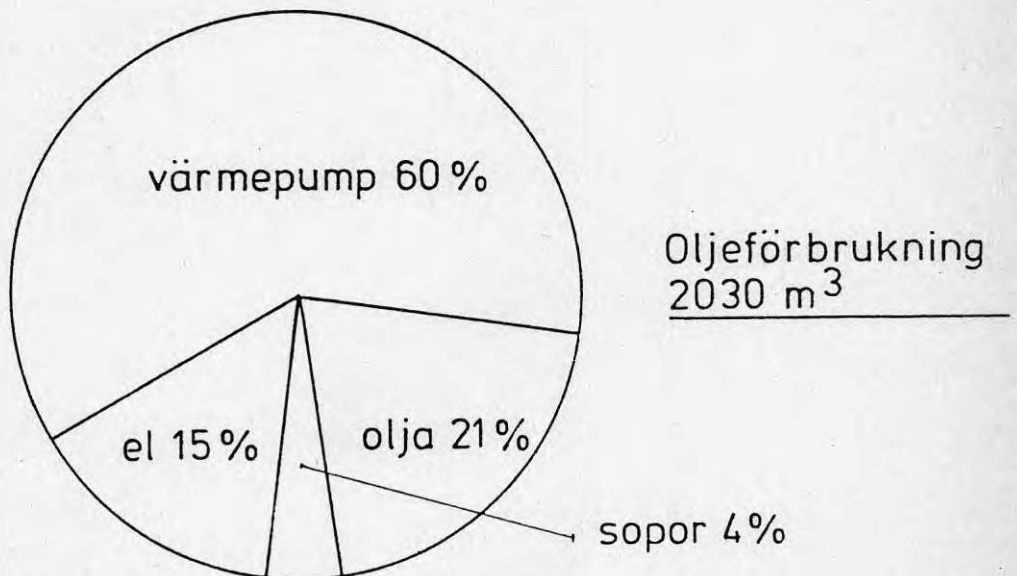
Den naturliga variationen är med enbart ovanstående förutsättningar 100 ggr större än värmepumpens energiuttag vid 5 månader full drift.

Fördelning mellan olika energislag för
ASEA Ludvika

Före ombyggnad

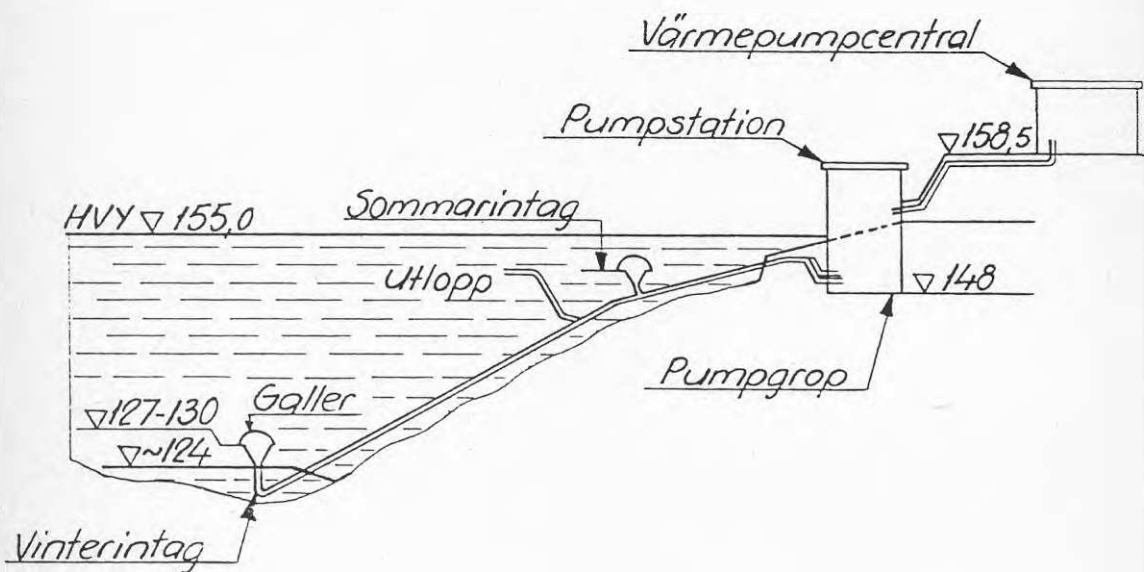


Efter ombyggnad



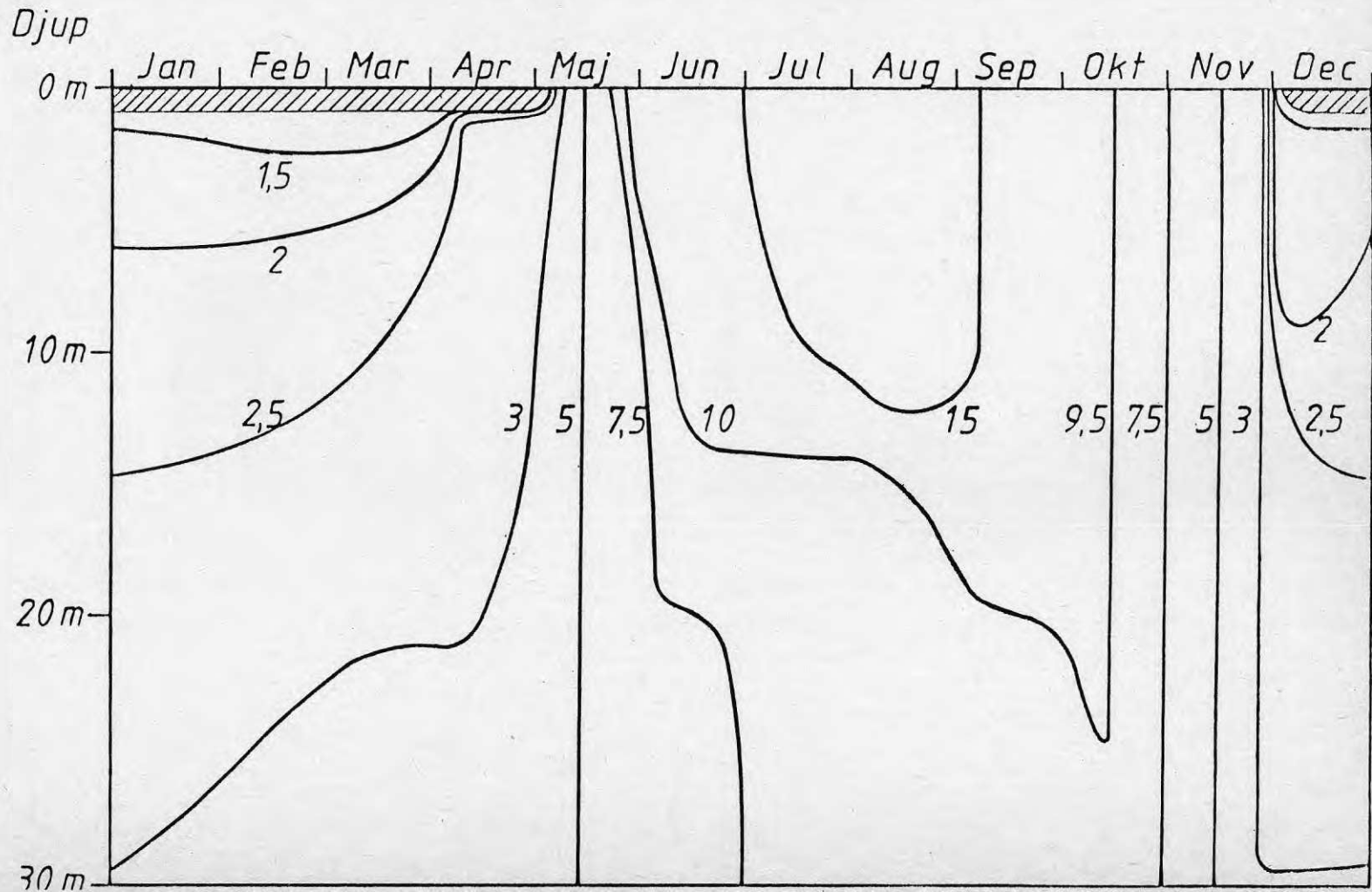
FIGUR 1.

Princip för sjövärmepumpinstallation



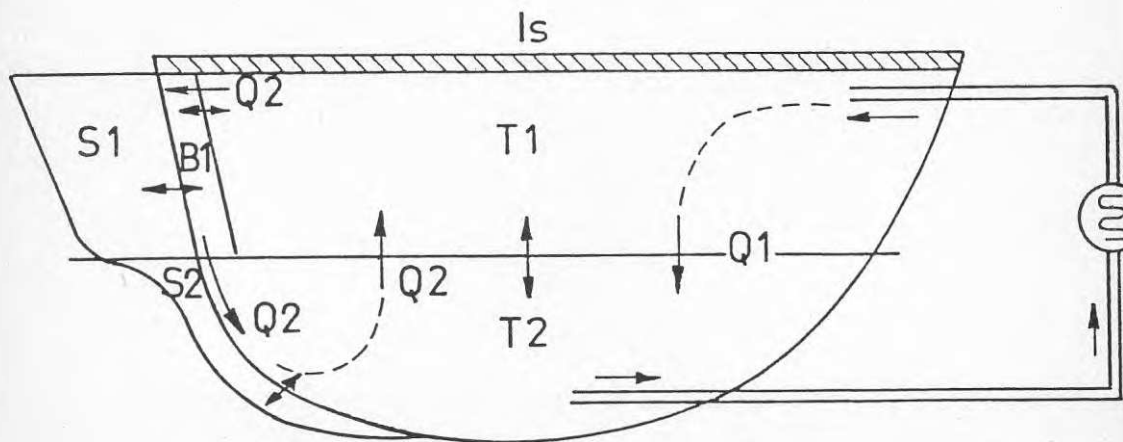
FIGUR 2.

Årsisotemer i Väsman 1981



FIGUR 3.

Beräkningsmodell för sjön Väsman



T1 Temp i skiktet 0–14 m

T2 Temp i skiktet 14–28 m

B1 Temp. i sedimentytan grundare än 14 m

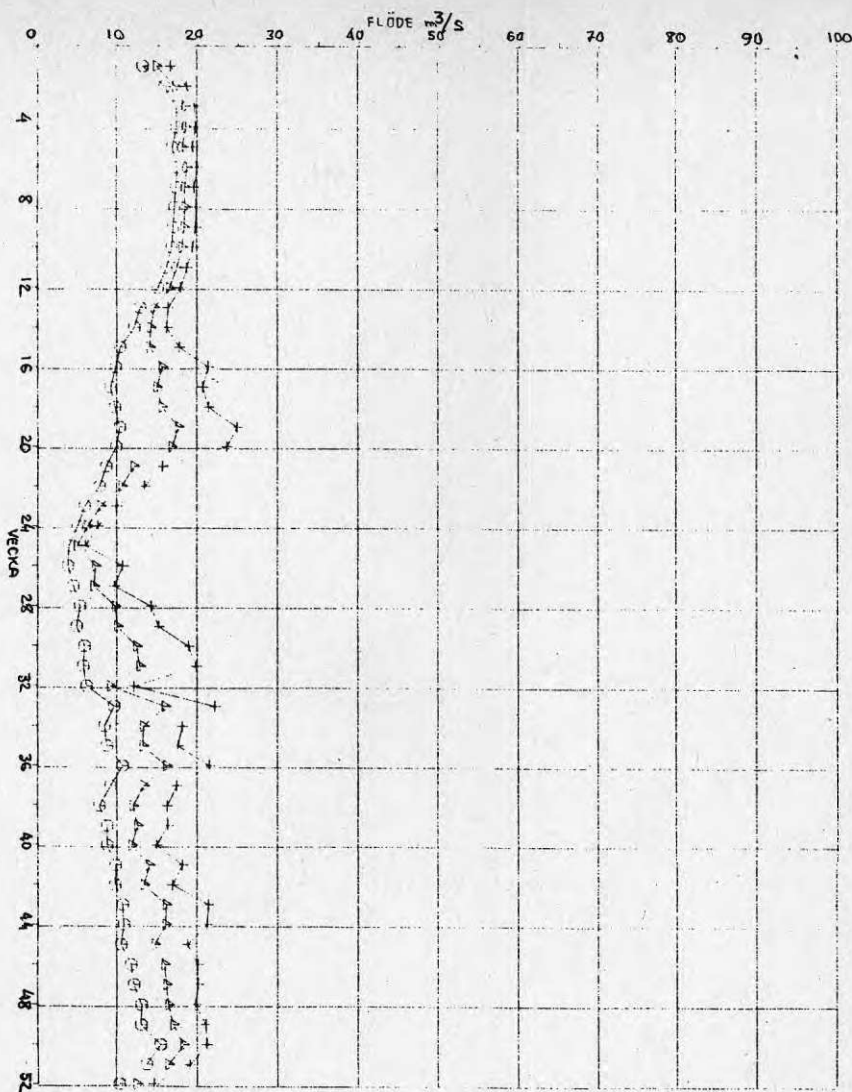
S1 Temp. i sedimenten grundare än 14 m

S2 Temp. i sedimenten 14–28 m

Q1 Pumpad vattenmängd

Q2 Täthetsströmning (naturlig cirkulation)

FIGUR 4.



- + Konfidensintervallets övre gräns
- Medelvärde
- o Konfidensintervallets undre gräns

FIGUR 5.

Avtappning 1951 - 1980
Konfidensgrad 90.0%

DJUPKARTA VÄSMAN

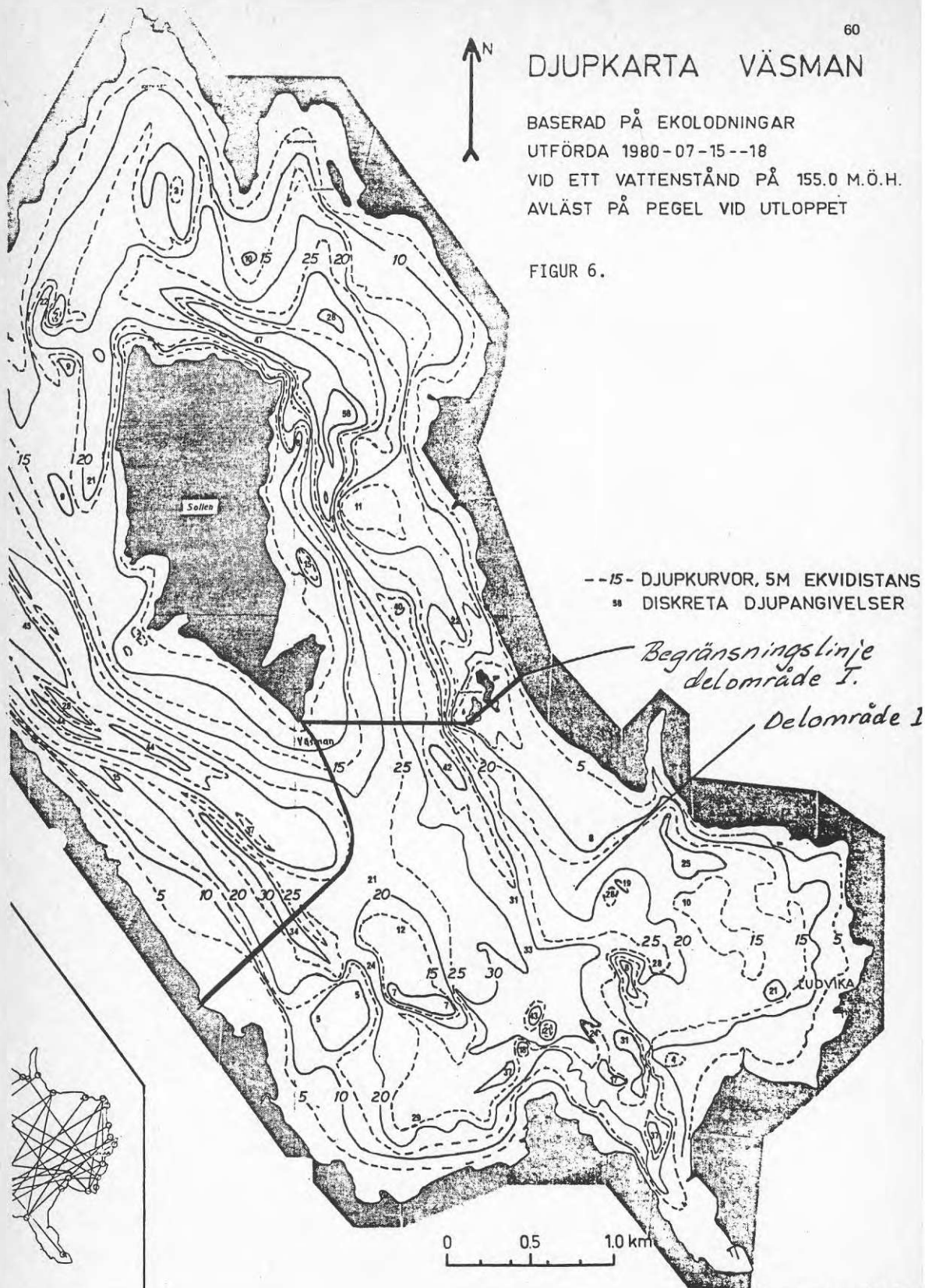
BASERAD PÅ EKOLODNINGAR

UTFÖRDA 1980-07-15--18

VID ETT VATTENSTÅND PÅ 155.0 M.Ö.H.

AVLÄST PÅ PEGEL VID UTLOPPET

FIGUR 6.



Seminarium om sjövärm - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Sjövärm från Väsman
av Lennart Pettersson, Stal Laval Finspång.

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Togs beslut om projektet före senaste stora oljeprishöjningen?

Svar:

Försäljningen gjordes i slutet av 1980.

Fråga från: Torbjörn Svensson, VIAK Göteborg
Vilken är lägsta bedömda bottenvattentemperatur under vintern
under anläggningens livslängd och vilken är den statistiska
fördelningen av bottenvattentemperaturen?

Svar:

Den lägsta bottenvattentemperaturen är beräknad att bli något
lägre än $1,5^{\circ}\text{C}$. Denna låga temperatur förväntas erhållas i
storleksordningen en gång var 15:e till var 20:e år. Hittills
uppmätta bottenvattentemperaturer varierar vintertid från ca $2,5^{\circ}\text{C}$
till $3,5^{\circ}\text{C}$.

Sven-Allan Eklund, Vattenfall

1 ÖVERSIKT

Vattenfall driver för närvarande ett antal projekt, där värme utvinns ur hav och sjö samt botten-sediment. I samtliga fall används värmepumpar för att höja det utvunna värmets temperatur till användbar nivå.

1.1 Nysund

Uppvärmning av en äldre tvåplans herrgårdsbyggnad invid Långsjön nära Mölnbo i Södermanland.

En sjövattningslinga om cirka 500 meter samt en markslinga om cirka 60 m ger med värmepump en avgiven värmeeffekt av omkring 40 kW.

Ungefär 15 m³ olja per år ersättes med värme från värmepumpen.

Anläggningen togs i drift oktober 1980.

1.2 Ekerö

Ett radhusområde om 24 lägenheter värms upp av en värmepump som avger cirka 75 kW värmeeffekt. Värmen tas från en omkring 3 400 m lång bottenför-lagd plastslang. Värmepumpen beräknas ersätta ungefär 60 m³ olja per år.

Anläggningen togs i drift i december 1981.

1.3 Visby

Fjärrvärmenätet, som är under uppbyggnad erhåller värme bl a från en cirka 2 x 4,5 MW värmepump-anläggning, som använder en blandning av avlopps- och havsvatten som värmekälla. Fjärrvärmenätets värmeeffektbehov vid värmecentral(er) beräknas till omkring 80 MW 1986-87. Värmeenergiebehovet uppskattas då till cirka 180 GWh/år, av vilka värmepumpen beräknas leverera 55-75 GWh/år. Variationen i värmepumpens produktion beror på om havsvattnets temperatur är "låg" (kallår) eller "hög" (varmår).

Anläggningen planeras att tas i drift under februari-mars 1983.

1.4 Lidingö

Två värmepump-anläggningar om 3 MW och 10 MW avgi-ven värmeeffekt är under uppförande för Lidingö fjärrvärmenät. Värmekälla är bräckt havsvatten. Fjärrvärmenätets värmeeffektbehov vid värmecentral(er) uppskattas till omkring 75 MW 1986-87 samt värmeenergiebehovet till cirka 200 GWh/år. Värmepumparnas värmeenergi-produktion uppskattas till 85 GWh/år under ett normalår. An-läggningen planeras att vara drifttagen senast april 1983.

1.5 Övrigt

Till här redovisade värmepumpprojekt kommer också Vattenfalls isvärmeprojekt. Detta redovisas i en separat artikel.

Av ovan beskrivna projekt sker ej någon speciell sjövärmeariktad utvärdering av projekt Nysund. I Nysund mäts enbart elenergiförbrukning för värmepumpen samt för tillsatsvärmerna. Projekt Ekerö är under mätning och utvärdering och för projekt Visby och projekt Lidingö pågår för närvarande arbete med framtagande av utvärderings- och mätprogram

2 SJÖVÄRMESYSTEM

2.1 Ekerö

Upptagen värmeeffekt ur vatten och bottensediment av cirka 1,0 å 2,0°C temperatur är mellan 35 och 40 kW. Slangsystemet består av 3 x 3 parallella slingor om totalt cirka 3 400 meter förlagda på ungefär 3 meters djup med ett c/c-avstånd om 1 meter. Slingorna är förankrade vid botten med tyngder.

I samband med slangförläggning placerades ett antal temperaturmätpunkter ut. Temperaturer mäts i såväl vatten som bottensediment samt invid och kring slang.

Vatten- och bottentemperaturen har mätts i aktuellt område, varför hyfsad kännedom om ostörda förhållanden finns.

Mätningar och utvärdering sker i inledande fasen som ett examensarbete vid KTH, Institutionen för mekanisk värmeteorik och kylteknik, av teknolog Björn Lindén.

Upptagen värmeeffekt från sjövärmesystemet har beräknats som avgiven värmeeffekt reducerad med driveffekt för kompressorer och brinepumpar.

En uppskattning av hittills erhållna resultat synes indikera att en mindre del av upptagen värme kommer från bottensedimenten i form av ren värmeledning. Förhållandet värmeeffekt genom värmeledning i relation till total värmeeffekt skattas till 0,2 å 0,3.

2.2 Visby

Upptagen värmeeffekt ur avlopps- och havsvatten är mellan 2 x 2,7 och 2 x 3 MW vid +2°C köldbärartemperatur. Köldbärarsystemet består av två inloppskanaler till en pumpgröp - en kanal för avloppsvatten (0,05 - 0,20 m³/s) och en kanal för havsvatten (0,95 - 0,80 m³/s). I pumpgroppen blandas avlopps- och havsvatten, varefter det pumpas via ett filter till en spridarordning för fördelning av vattnet över förångarna. Efter avkylning rinner vattnet av självtryck ut i havet.

Flöden och temperaturer, dygnsmedelvärden, för avloppsvattnet har erhållits från reningsverket. Havsvattnets temperatur framgår av data erhållna från SMHI. För att försöka bedöma kortslutningstendenser mellan avkylt köldbärarvatten och havsvatten till pumpgropen har studier utförts av SMHI.

Värmeväxlaren som tar emot värmen från köldbäraren är utformad som en vertikal bestrild platta med pumpcirkulation av R12 på köldmediesidan.

Förångarmaterialet utgöres dels av monit dels av SMO 254.

Möjlighet till rengöring av förångarna är förberedd genom att en hypokloritdoseringsutrustning kan anslutas vid eventuellt behov.

2.3 Lidingö

1,8 à 2,0 samt 6,0 à 6,8 MW värme tillförs värmepumparna genom sänkning av värmekällevattnet från +2,5°C till lägst cirka +0,5°C.

Vattnet pumpas från ett sommar- alternativt vinterintag från Lilla Värtan, strilas över förångarna och rinner av självtryck åter ut i Lilla Värtan.

Temperaturer på havsvattnet har erhållits dels från SMHI, dels från VAIK:s bedömning av potential och tillgänglighet av naturliga värmekällor för värmepumpar i Stockholms kommun.

Förångarna är av samma typ som för Visby. Eventuellt kan vertikala rör användas samt köldmediecirkulationen ske med termosifoncirkulation.

3 FIGURER

Bilagda figurer illustrerar - utan speciell hänvisning - den beskrivande texten.

Referenser

EKERÖ:

Samtal och diskussion med delprojektledare Roine Österberg och teknolog Björn Lindén, april 1982.

VISBY:

Värmepump - Visby
Program för anbudsinfordran, teknisk del,
Stockholm juli 1981, Vattenfall

Anbud - värmepump Visby
STAL Refrigeration AB
Norrköping oktober 1981

SMHI - HB Rapport nr 47
Temperaturmätningar vid Visby, B Booman
Spridning av utsläppt vatten, B Vasseur
Norrköping 1981, SMHI

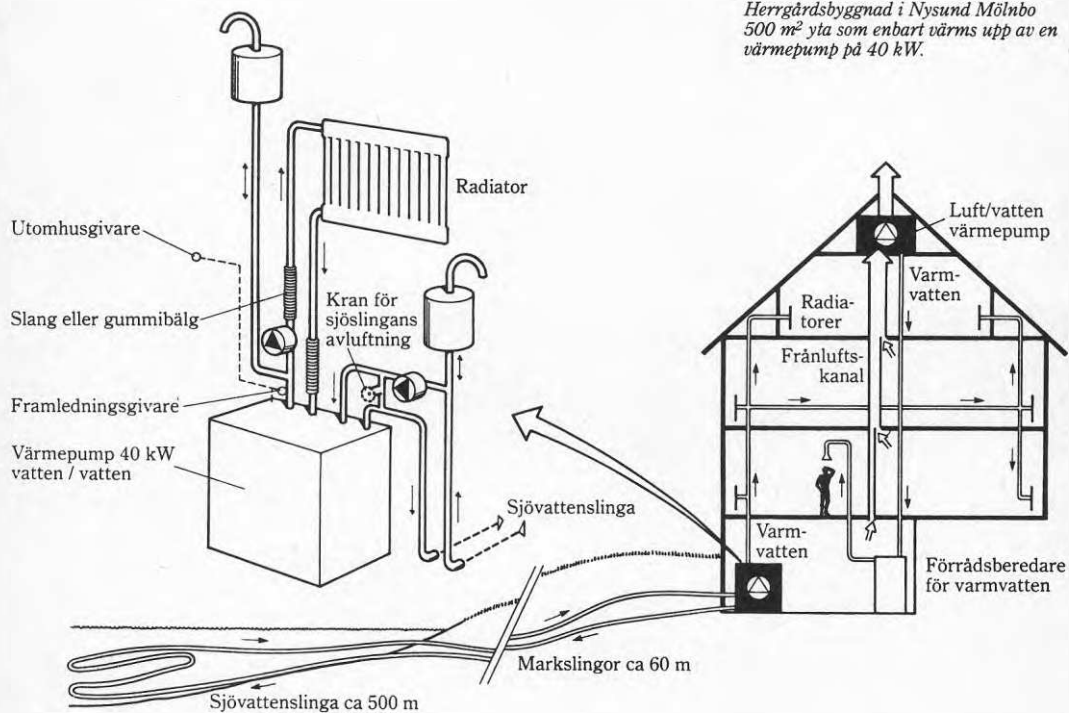
LIDINGÖ:

Värmepump - Lidingö
Program för anbudsinfordran
Stockholm april 1981, Vattenfall

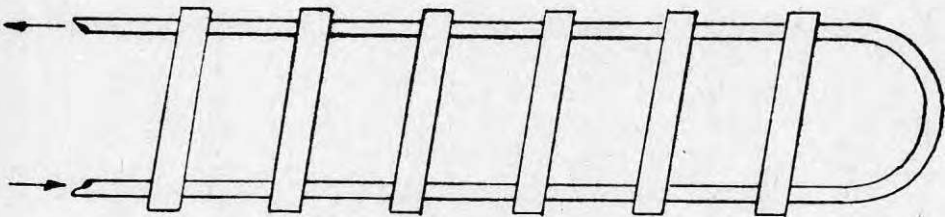
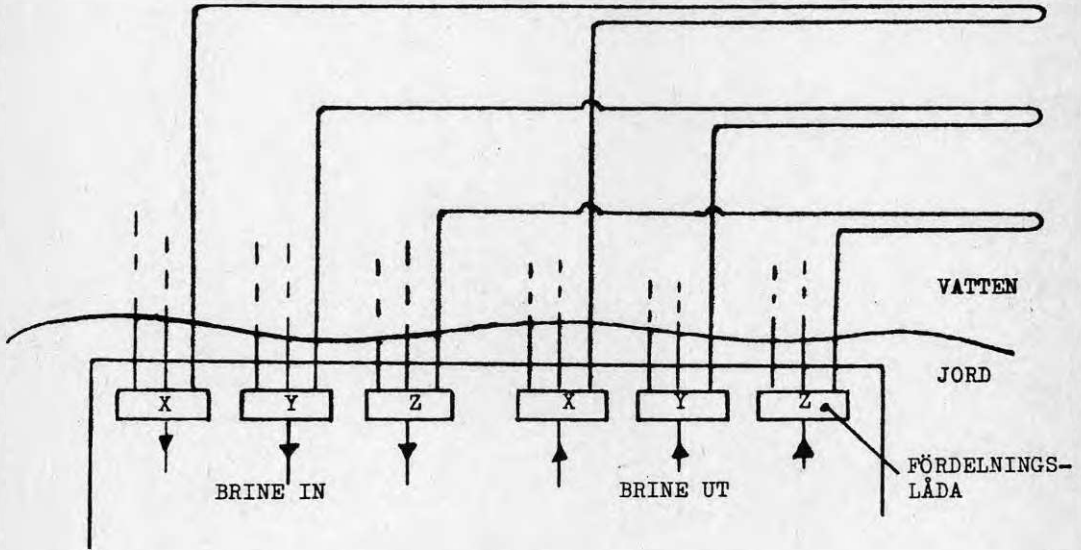
Anbud - Värmepump Lidingö 10 MW
STAL-LAVAL Turbin AB
Finspång juni 1981

Anbud värmepump Lidingö 3 MW
Thermia Energiteknik AB
Lidingö december 1981

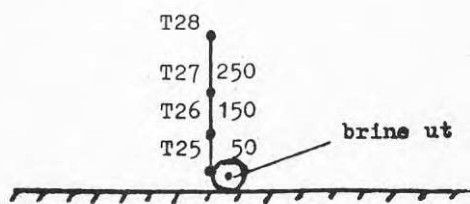
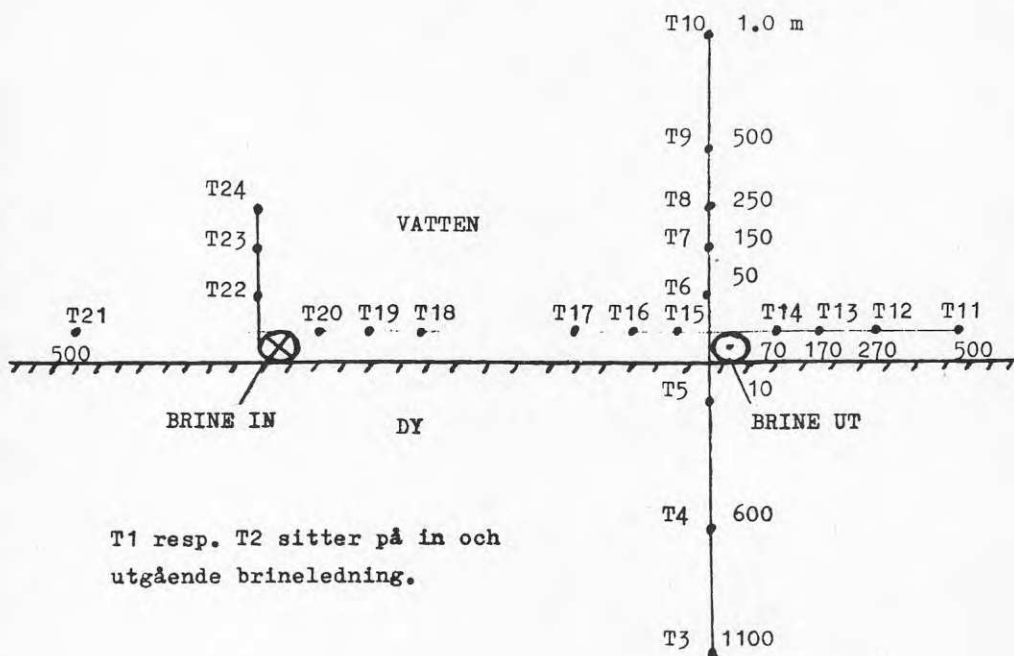
Naturliga värmekällor för värmepumpar inom
Stockholms kommun. Bedömning av potential och
tillgänglighet
Stockholm juni 1981, VIAK



Figur 1. Nysund

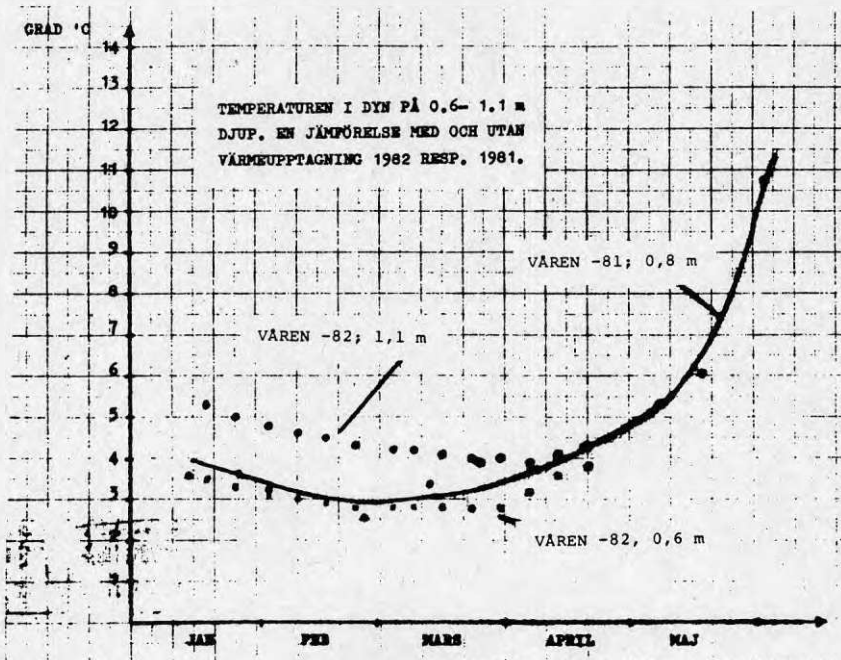
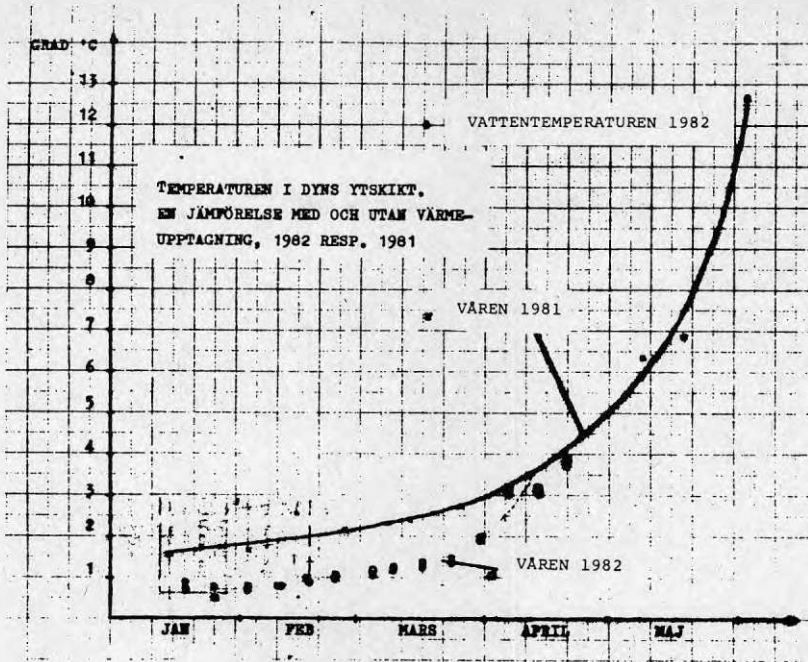


Figur 2. Ekerö

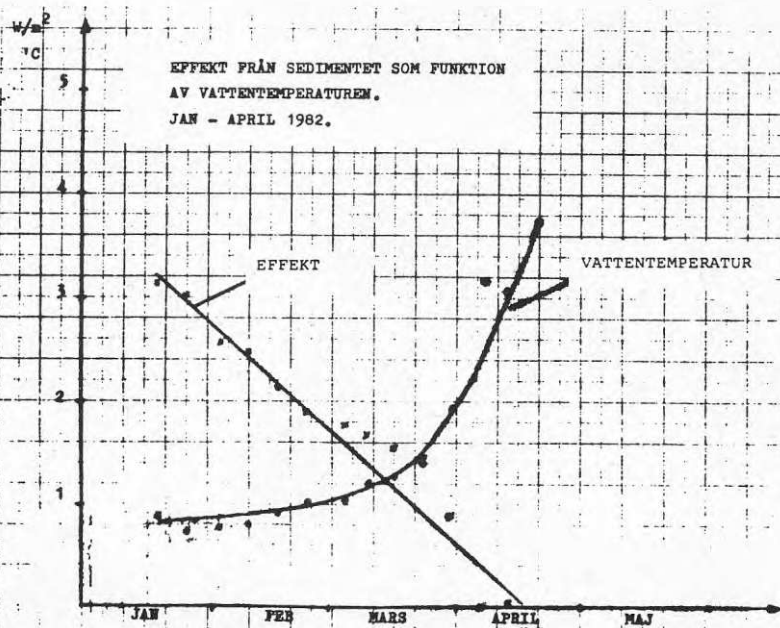
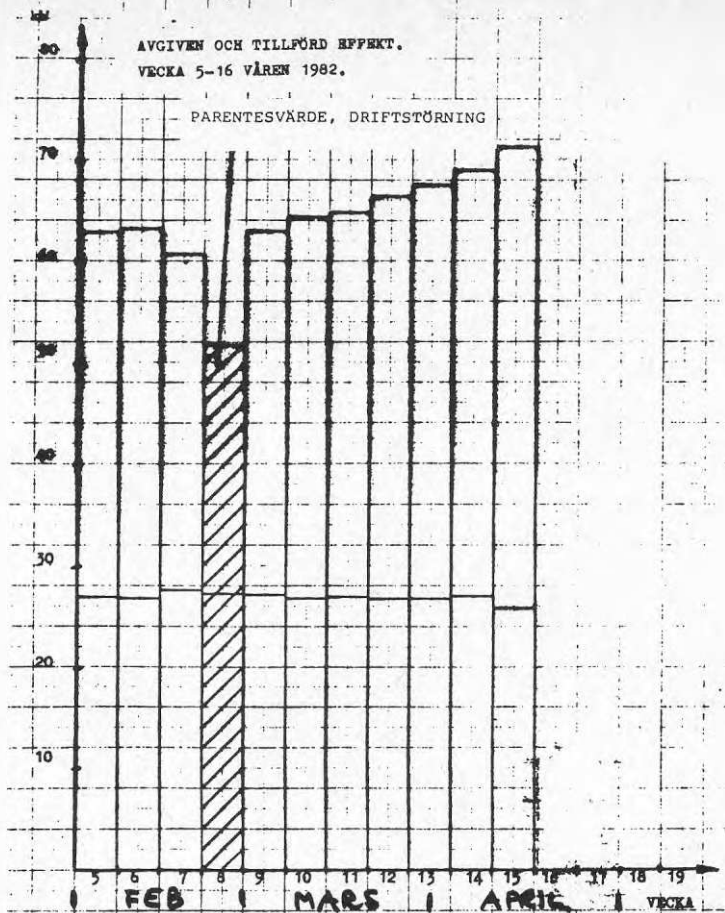


Slinga fems utledning

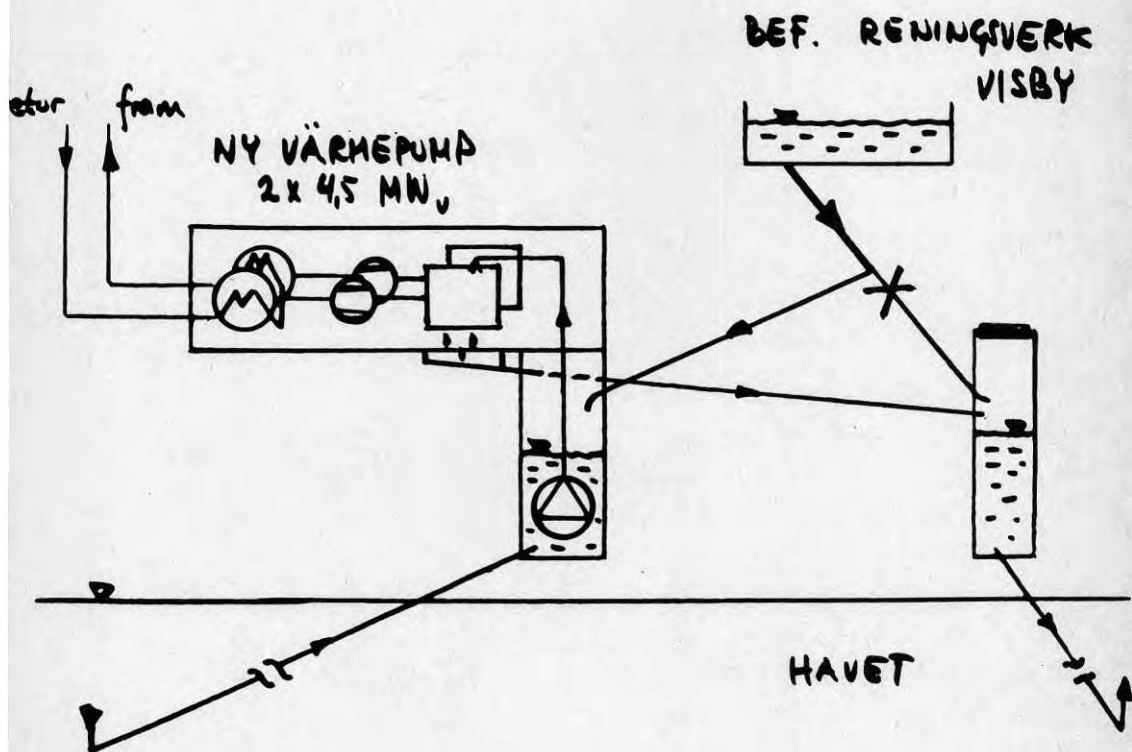
FIGUR 2. forts.



Figur 3. Ekerö



Figur 4. Ekerö



Figur 5. Visby

TEMPERATUR- OCH DYGNISFLÖDE FRÅN VISBY AVLOPPSRENINGSVÄRK

Mätperiod 1/9 1979 - 31/8 1980

Månad	Flöde (m ³ /d)			Temperatur (°C)		
	Max	Min	Medel	Max	Min	Medel
Sept 1979	13 720	7 190	9 370	19	14	16
Oktober	9 463	4 908	7 722	15	9	12,4
November	13 860	4 876	8 371	12	8	10,8
December	13 290	5 310	8 962	11	5	8,2
Januari 1980	9 800	5 180	7 462	8	2	6,2
Februari	9 457	3 574	6 500	9	5	6,6
Mars	12 264	5 295	7 454	9	6	7,0
April	18 264	10 000	13 668	10	7	7,9
Maj	13 678	5 546	9 187	13	9	10,2
Juni	13 961	5 567	8 273	15	11	13,0
Juli	12 943	6 206	8 069	18	14	16,1
Augusti	12 906	6 776	9 320	18	14	16,0

DYGNISVARIATIONER FÖR AVLOPPSVATTENFLÖDE FRÅN VISBY AVLOPPSRENINGSVÄRK

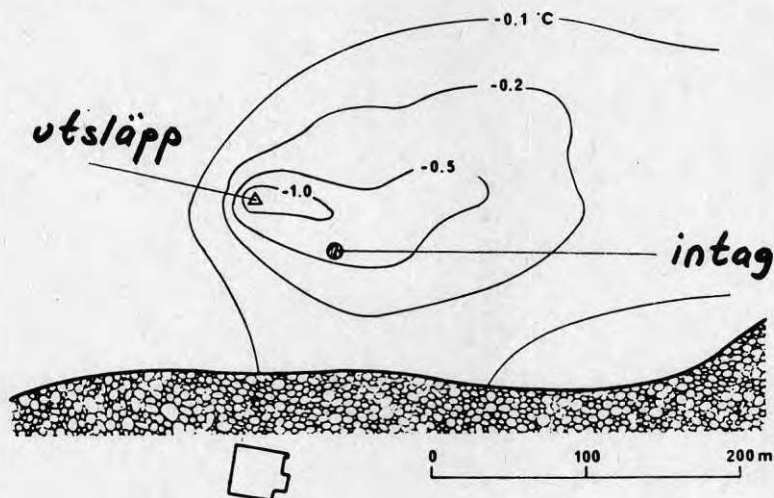
Mätperiod 4/11 1979 - 12/11 1979

Veckodag	Dygnisflöde ¹⁾	Lägst flöde ²⁾	Störst flöde ²⁾
Söndag	4 876 m ³	150 m ³ /h	1 600 m ³ /h
Måndag	11 620 m ³	150 m ³ /h	1 000 m ³ /h
Tisdag	8 081 m ³	175 m ³ /h	1 300 m ³ /h
Onsdag	10 884 m ³	175 m ³ /h	800 m ³ /h
Torsdag	8 341 m ³	150 m ³ /h	600 m ³ /h
Fredag	8 094 m ³	175 m ³ /h	800 m ³ /h
Lördag	6 642 m ³	200 m ³ /h	500 m ³ /h
Söndag	6 089 m ³	175 m ³ /h	500 m ³ /h
Måndag	5 844 m ³	175 m ³ /h	700 m ³ /h

1) Genomsnittsföde, denna månad var 8 371 m³/dygn

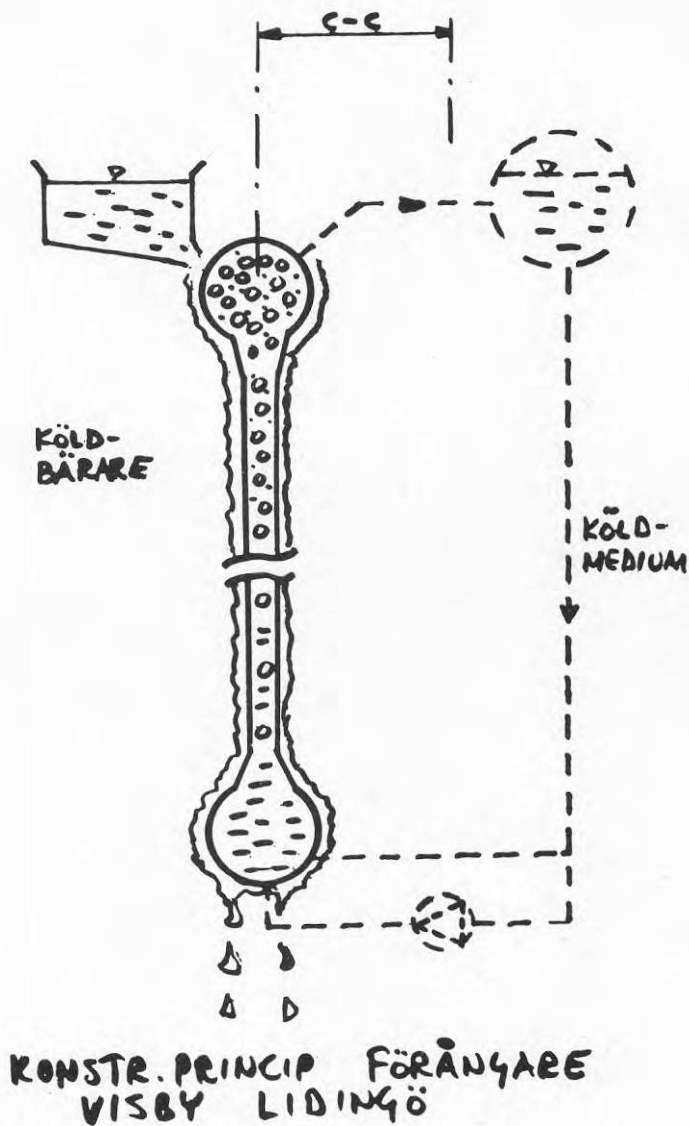
2) Genomsnittsföde under en timme

Figur 6. Visby

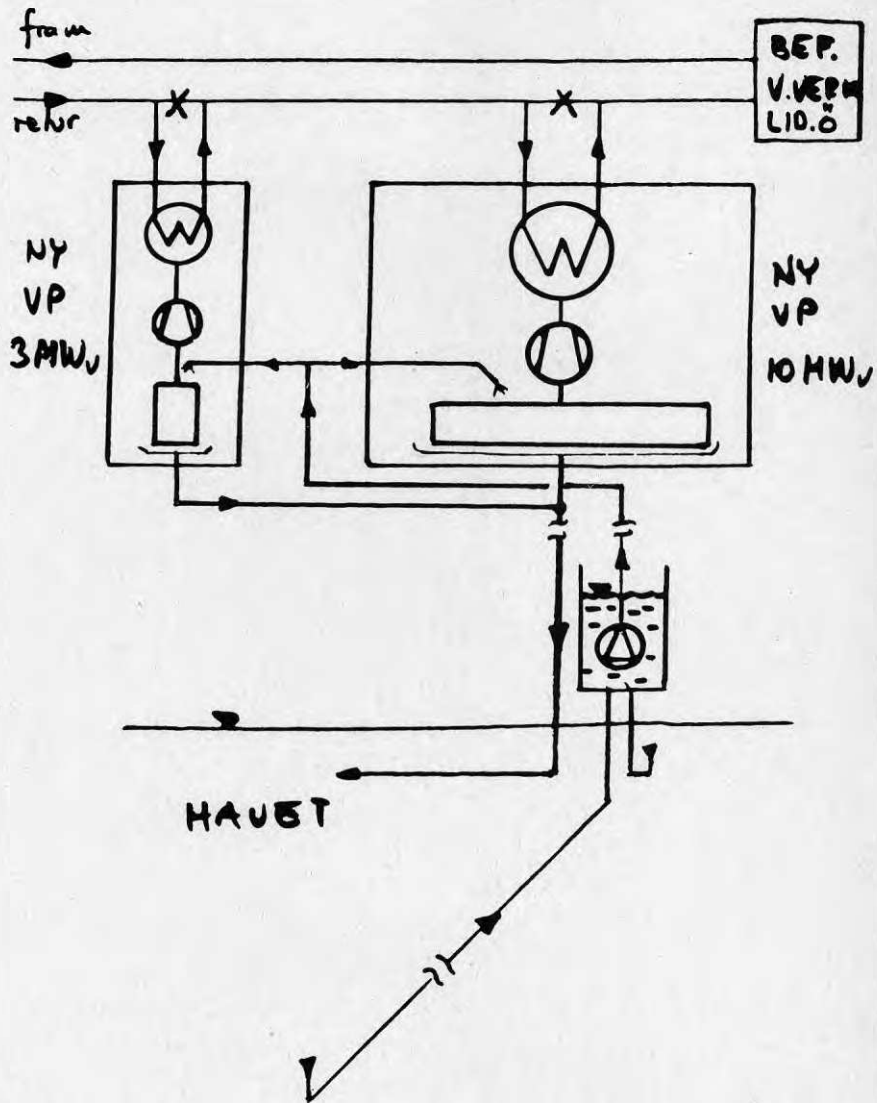


Temperaturdifferenser mellan utspäddt vatten och sjö-
havet vid utsläpp från befintlig tub enligt numer-
iska modellberäkningar (Monte-Carlo-metoden).

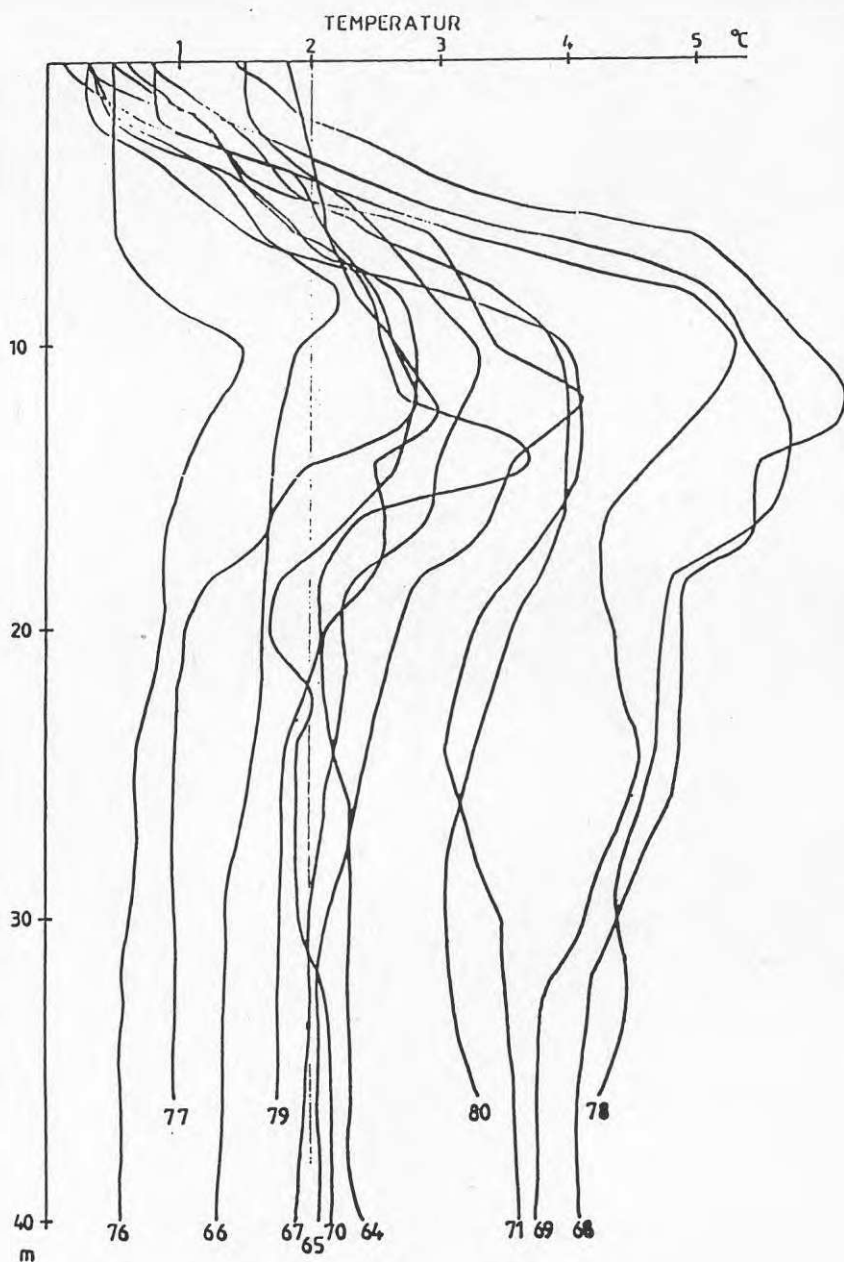
Figur 7. Visby



Figur 8. Visby, Lidingö



Figur 9. Lidingö



TEMPERATURPROFIL VID BLOCKHUSUDDEN-FJÄDERHOLMARNÄ
 VINTERMÄTNINGAR I FEBR. MARS 1964-80

Figur 10. Lidingö

Seminarium om sjövärm - Älvkarleby 5-6 maj 1982.

Frågor beträffande föredraget: Vattenfalls sjövärmeprojekt

av Sven-Allan Eklund

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Varför genomförs två stora projekt istället för ett i taget ?

Svar:

Vid den reella beslutstidpunkten - sommaren 1981 - var det av betydelse att ur demonstrationssynvinkel få till stånd flera anläggningar, bl a i Stockholmstrakten.

Vidare några termiska olikheter:

- . materialval i förångarna
- . inkopplingsätt till fjärrvärmenätet
- . olika kompressortyper

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Skulle Lidingö - och/eller Visbyprojektet genomföras utan forskningsstöd p.g.a. beräknad god lönsamhet ?

Svar:

BFR har hela tiden varit med i diskussioner kring finansieringen av de här relaterade stora värmepumparna. Beslutet om finansieringsstöd från BFR har således vuxit fram under projekteringsarbetets gång, varför frågan om vad som skulle ha skett utan att forskningsstöd från BFR utgått ej kan besvaras.

Det förtjänar att påtalas att lönsamheten är en beräknad lönsamhet. Verklig lönsamhet kan först erhållas efter ett par års drift.

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Finns vattentemperaturmätningar med $0,01^{\circ}\text{C}$ noggrannhet utförda i istäckta älvar.

Svar: Ja, vattentemperaturen mäts regelbundet vid ett flertal kraftstationer m.h.a. s.k. sörpatermometrar vilka har en noggrannhet av ca $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$.

Fråga från: Wilhelm Dietrichson, SNV
Hur stort är vattenflödet och värmeflödet i dag med avloppsvattnet
i förhållande till havsvattenflödet till/från Visbyanläggningen.

Svar:

Totala vattenflödet av avloppsvatten och havsvatten är $1 \text{ m}^3/\text{s}$.
Inbördes fördelning varierar så att:

- . avloppsvatten $0,05 \text{ å } 0,20 \text{ m}^3/\text{s}$
- . havsvatten $0,95 \text{ å } 0,80 \text{ m}^3/\text{s}$

Totala värmeuttaget från det totala vattenflödet enligt ovan är
 $5,5 \text{ å } 6 \text{ MW}$. Eftersom avlopps- och havsvatten blandas - för att ej
få en alltför komplicerad systemlösning - är en fördelning av
värmeuttaget ej meningsfull.

Drifterfarenheter och resultat från Tullverkets värmepumpanläggningar.

Hans Jellbring, Inventex AB

0. Sammanfattning

Tullstationen i Kaunisjoensuu värms huvudsakligen upp med hjälp av en värmepumpanläggning. Stationen är belägen 6 mil norr om polcirkeln vid Muonio älv som är istäckt sex månader per år. Dess vattentemperatur är c:a $+0,05^{\circ}\text{C}$ vintertid. Älven har visat sig kunna fungera som energikälla för en byggnad i en miljö där uttemperaturen ofta faller till -40°C .

Värmepumpanläggningens värmefaktor är i stort sett oberoende av uttemperaturen och för den per år av värmepumpen levererade energin betalar generaltullstyrelsen c:a en tredjedel i form av el till värmepumpens motor och köldbärarens cirkulationspump.

Värmepumpanläggningen i Kaunisjoensuu är utförd på ett sätt som gör den lämpad för forskning beträffande ispåfrysning av slangvärmväxlare och samhörande problem. Den utgör även ett utmärkt forskningsobjekt för jämförande studier beträffande uppvärmning med värmepump, el eller olja. Anläggningen är nämligen försedd med ett tredubbelt energiförsörjningssystem som vardera ensamt kan klara anläggningens uppvärmningsbehov till minst -30°C .

De preliminära resultaten från värmepumpanläggningen i Kaunisjoensuu visar att slangvärmväxlare med fördel kan användas i rinnande vatten med temperaturnivåer ned till $+0,1^{\circ}\text{C}$. Motsvarande temperatur i stillastående sjövattnet torde vara c:a $+0,4^{\circ}\text{C}$. Därmed har insikter om de potentiella möjligheterna för värmväxling mot kalla vattendrag ökat betydligt. Betydelsen av detta inses när man nämner att vattentemperaturen i åar i Mälardalen och söder därom mycket sällan är under $+0,5^{\circ}\text{C}$ vintertid.

1. Bakgrund

Generaltullstyrelsen har varit byggherre för Televerkets och Tullverkets nya anläggningar vid Djurö. Bägge anläggningarna uppvärms huvudsakligen via värmepumpar som hämtar sin energi från den närbelägna fjärden via värmeväxlare av PEL-slang. Anläggningarna var projekterade som rena produktionsanläggningar.

En viss uppföljning gjordes för att bedöma prestanda. Därvid framkom att anläggningarna normalt arbetade med en hög värmefaktor (c:a 3). Generaltullstyrelsen fattade intresse för tekniken och började undersöka om densamma skulle kunna tillämpas vid de framtida planerade tullstationerna längs svensk-finska gränsen. Av intresse var därvid prestanda vid låga vattentemperaturer i likhet med de som redovisas i tabell 1. Resultatet av Tullverkets intresse blev en forskningsanläggning vid Kaunisjousuu tullstation som även skulle kunna användas för normal energiproduktion såvida tillräckligt med energi kunde hämtas från älvvattnet i den närbelägna Muonio älv.

2. Målsättning

Anläggningen i Kaunisjousuu (se fig. 4) har en dubbel målsättning vilken dels utgörs av en forskningsdel och dels en teknisk-ekonomisk bedömning av anläggningen från byggherrens synpunkt.

2.1 Forskningsdelen

Följande delmålsättningar kan urskiljas:

- o Om en anläggning kan byggas och drivas i Kaunisjousuu 6 mil norr om polcirkeln, med Muonio älvs vatten som energikälla kan i stort sett alla svenska vattendrag användas som energikälla för värmepumpanläggningar.
Var finns kapacitetsgränsen under dessa extrema förhållanden?
- o Var går en lämplig gräns för tillåten ispåfrysning på slangarna? Kan man tänka sig säsonglagring av is på slangarna, exempelvis 10-30 % av anläggningens årliga energibehov?
- o Hur behärskar man ojämn ispåfrysning och därmed ojämma lyftkrafter i slangpaketet?
- o Hur förläggs värmeväxlarna för att maximera effektöverföringen från älven och minimera haverihotet från den oreglerade älven?
- o Hur ser den lämpliga systemlösningen ut om ett krav på en medelvärmefaktor av 3,0 ställs?
- o Hur styr man effektuttaget från värmeväxlaren om en viss maximal ispåfrysning tillåts?

2.2 Byggproduktionsdelen

- o Hur stor "teknisk" värmefaktor kan uppnås om alla komponenter utom värmväxlaren ska vara konventionella och tillgängliga för normal upphandling?
- o Kan en värmepumpanläggning upphandlas i en totalentreprenad eller är en generalentreprenad lämpligare?
- o Vilka problem uppstår vid upphandling, konstruktion och byggande av en mindre värmepumpanläggning?
- o Vilken ekonomi kan uppnås när tekniken blivit känd hos berörda parter såsom konsulter, underentreprenörer m.fl.?

3. Preliminära resultat

Emedan anläggningen inte har varit i drift någon längre tid kan inte direkta mätresultat ge prestanda för en hel vintersäsong. Den hittills relativt begränsade drifterfarenheten ger ändå många viktiga resultat, vilka redovisas i punktform nedan:

- o Det finns en total kapacitetsbegränsning för anläggningens energileveranser med nuvarande värmväxlare med en total slanglängd av 1.000 meter. (Se Fig. 4) Kapacitetsbegränsningen beror på alltför stor isackumulering på värmväxlarslangarna. Med nuvarande slangvärmväxlare kan troligen 45-55 % av tullstationens energibehov täckas med hjälp av värmepumpanläggningen.
- o Om värmväxlarnas totala slanglängd ökas till c:a 2.000 meter kan troligen 90-100 % av anläggningens energibehov täckas med värmepumpanläggningen.
- o För den av värmepumpanläggningen levererade energin betalar man c:a en tredjedel. (Se Fig. 6 och Fig. 7)
- o Den producerade energin levereras via ett vattenburet system till radiatorer och luftvärmare. Systemet är ett lågtemperatursystem med en framledningstemperatur av $+51^{\circ}$ vid -36°C utomhus. (Se Fig. 5)
- o Värmepumpen kan leverera baslasten och el eller olja kan väljas för topplasten.

Alternativt kan värmepumpen tvångsköras med en viss intermittensfaktor med el eller olja som komplement. (Se Fig. 5 och Fig. 6)
- o Problemet att styra alla tänkbara kombinationer av värmepump-, el- och oljedrift har lösts enligt blockschemat i Fig. 6. En speciell fördel är att värmepumpens funktion blir helt oberoende av flödesvariationer i radiatorkretsen på grund av termostatventilernas funktion.

- o Driftprestanda för värmepumpanläggningen finns angivna i tabell 7. Hittills har värmepumpanläggningen levererat c:a 13 % av tullstationens årliga energibehov för uppvärmning. Medelpåfrysningen på slangarna har varit c:a 5-6 cm is.
- o Värmeväxlaren måste dels säkras mot den påfrysta isens lyftkraft och dels mot den oreglerade älvens flödespåverkan vid vårfloden. Värmeväxlarnas förankring har klarat bägge dessa krav. Islossningen inträffade 14 maj.

TABELL 1

Temperaturdata från anläggningarna på Djurö (°C)

djup	13/2	23/2	24/2	13/3	20/3	25/4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
-2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,2	2,6
-4	0,7	0,4	0,4	0,1	0,2	1,7
-6	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	1,3
-8	0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	1,3
luft-temp	-3,2	-1,4	0,0	-1,5	+1,8	+5,6

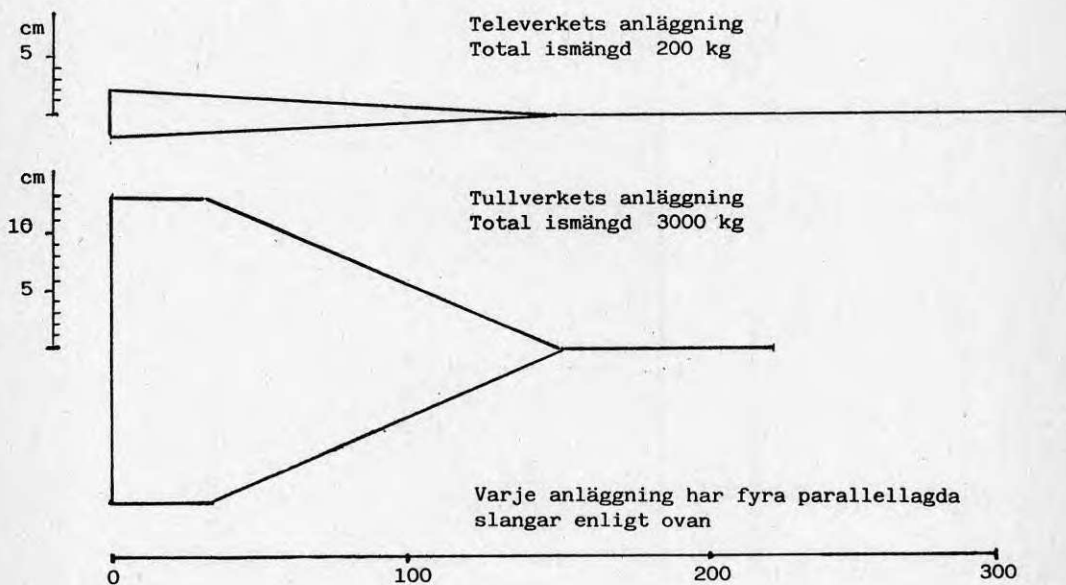
Effektuttag per meter slang (W) vid Djuröanläggningarna

Tabell 2

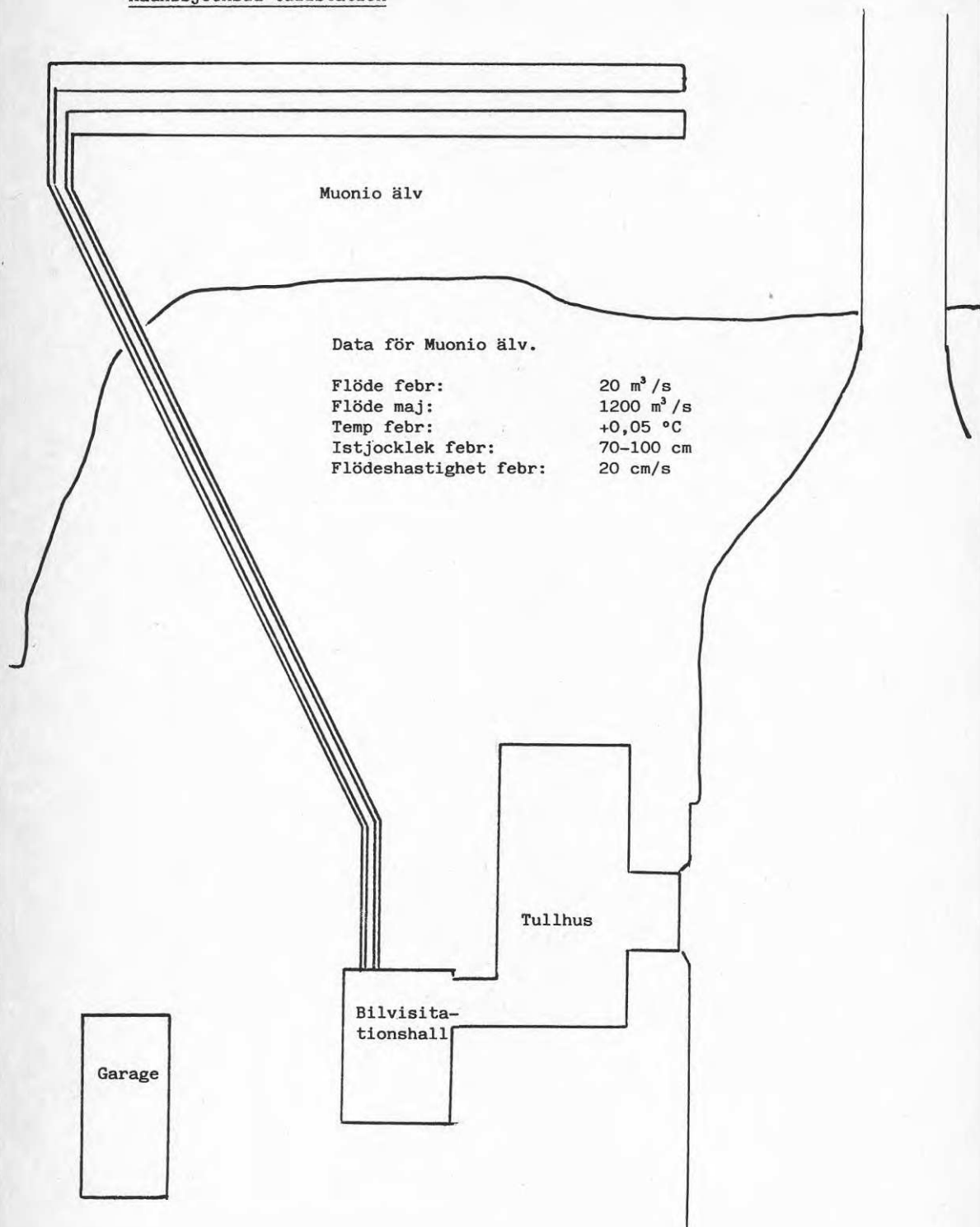
lufttemperatur (°C)	Televerkets anläggning	Tullverkets anläggning
0	4	13
-10	6	17
-20	8	17

Ispåfrysning vid Djuröanläggningarna 81-03-18.

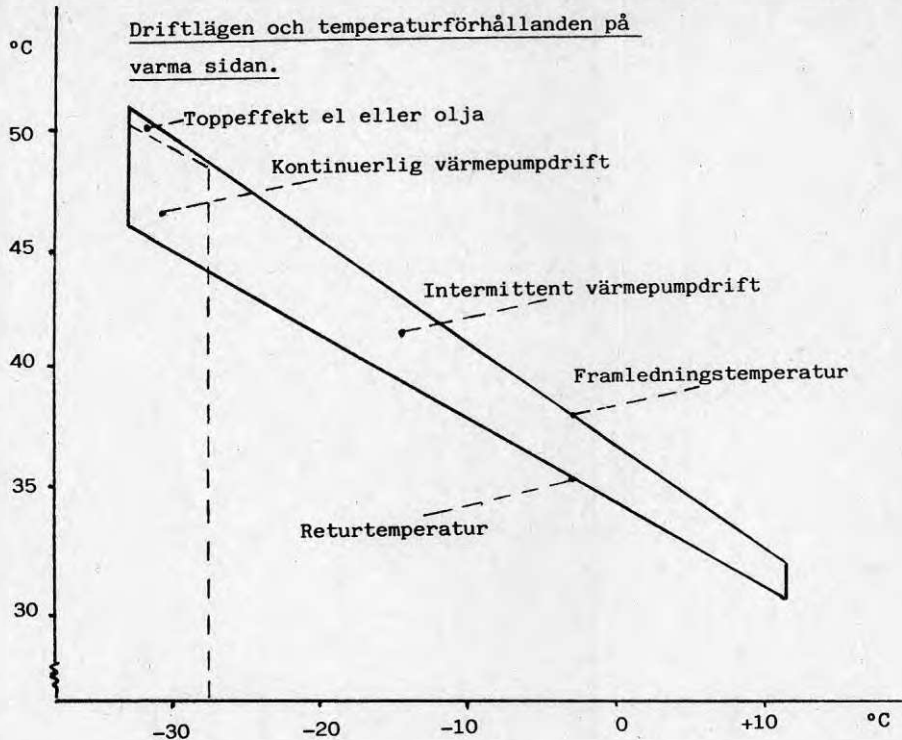
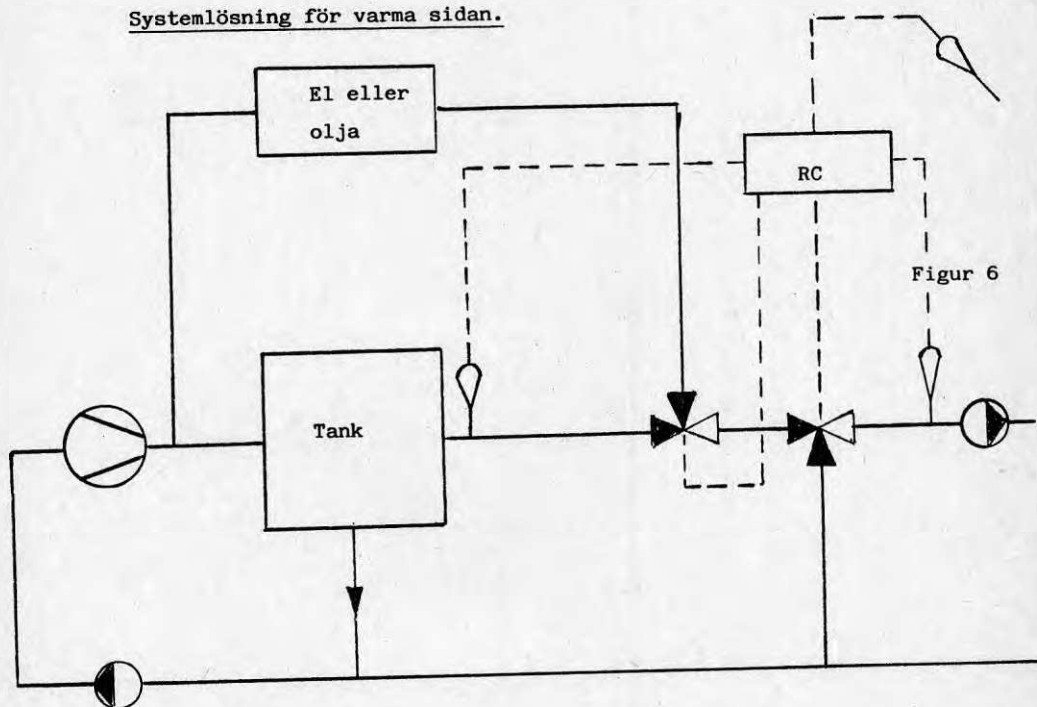
Figur 3



FIGUR 4

Kaunisjoensuu tullstation

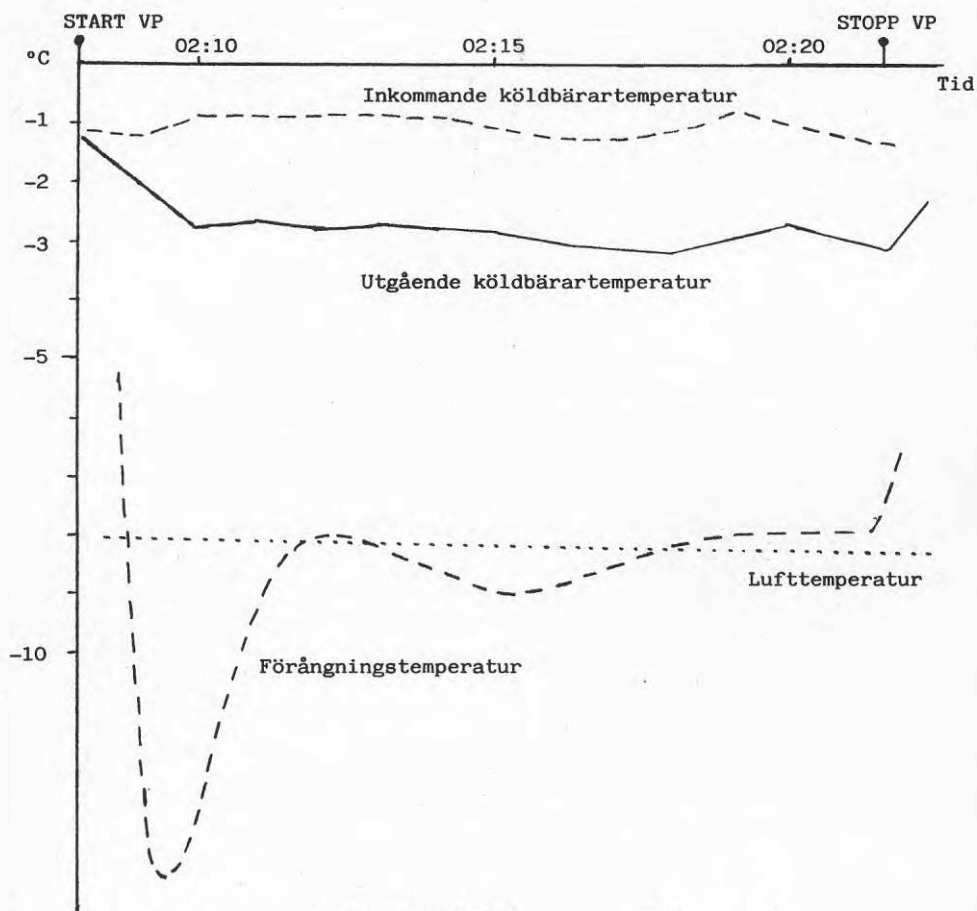
FIGUR 5

Systemlösning för varma sidan.

FIGUR 6

Exempel på köldbärartemperaturer och värmefaktor.

Data är registrerade 82-04-28



Upptagen effekt:	21,1	kW
Motoreffekt:	9,77	kW
Ren värmefaktor:	3,16	
Ekonomisk värmefaktor:	2,98	
Intermittensfaktor för värmepumpen:	46	%

TABELL 7

Driftdata från värmepumpenläggningen vid Kaunisjoensuu tullstation.

	14/4-24/4	24/4-4/5	4/5-14/5	3/3-14/5 exkl 18dagar
Drifttid (timmar)	240	240	240	1270
Värmepumpens gångtid (tim)	72,6	67,0	58,1	395
Intermittensfaktor (%)	30,3	29,0	24,0	31
Energi till motor (kWh)	701	644	548	3620
Energi till cirku- lationspump (kWh)	80	74	64	430
Levererad energi (kWh)	2240	2090	1810	c:a 11600
Levererad medel- effekt (kW)	9,3	8,7	7,5	
Effektupptagning per meter värmväxlar- slang (W)	6,4	6,0	5,3	
Vattentemperatur	+0,05	+0,06	+0,10	
Lufttemperatur	+1,5	c:a 2,5	c:a 5,5	

Under de tre första perioderna ovan har värmepumpen levererat 100% av energibehovet för tullstationens uppvärmning och 0% av energibehovet för tappvarvattnet.

Värmepumpen sattes i drift för första gången 3 mars 1982.

ISVÄRMEPUMPAR

Hjalmar Schibbye

Thermia Energiteknik AB, Lidingö

Genom att utnyttja vattnets isbildningsvärme som värmekälla för värmepumpar vinnas bl.a. följande fördelar.

- en betydligt mindre vattenmängd krävs för att utvinna en given energimängd (se figur 1)
- Värmekällan/vattnets temperatur är praktiskt taget utan betydelse för funktion och driftekonomi.
- För en given värmeeffekt blir anläggningskostnaderna i form av pump och kulverkostnad väsentligt lägre jämfört med om motsvarande effekt skulle erhållits ur sensibelt värme.
- Behov av olika vattenintag för-sommar- och vinterdrift bortfaller.
- Värmepumpen kan förläggas relativt långt bort från sjön eller vattendraget utan att anläggningskostnaden eller pumparbete blir avskräckande.
- Den nerkylda värmekällan, isen, återförs automatiskt till vattenytan där åtevärmning kan ske effektivast genom solvärme och konvektiv värmeförsel.

För att vinna ovanstående fördelar krävs en isvärmepump. En sådan blir med nödvändighet mer komplex än en värmepump som ej utnyttjar fasändringsenergin.

I en isvärmepump skall tre funktioner upprätthållas samtidigt och kontinuerligt nämligen

- värmeupptagning från värmekällan
- värmeavgivning till värmesänkan
- avisning av förångarytan

Genom de stora ismängder som bildas i en isvärmepump, redan 100 kW värme ger c:a 24 m³ is per dygn, ställs stora krav på avisningens effektivitet och tillförlitlighet. Värdefulla erfarenheter har vunnits med den isvärmepump som TETAB levererat till Vattenbyggnadslaboratoriet i Älvkarleby, och som nu har närmare 2000 ackumulerade drifttimmar

men här finns förutsättningar för nya tekniska lösningar.

I en isvärmepump bör så lite energi som möjligt uppoffras för avisningen. Isvärmepumpen i Älvkarleby utnyttjar spillvärme från värmepumpprocessen i form av varmt kondensat för avisningen. Detta är optimalt ur termodynamisk synpunkt men kostar ändå pengar i form av extra förångaryta.

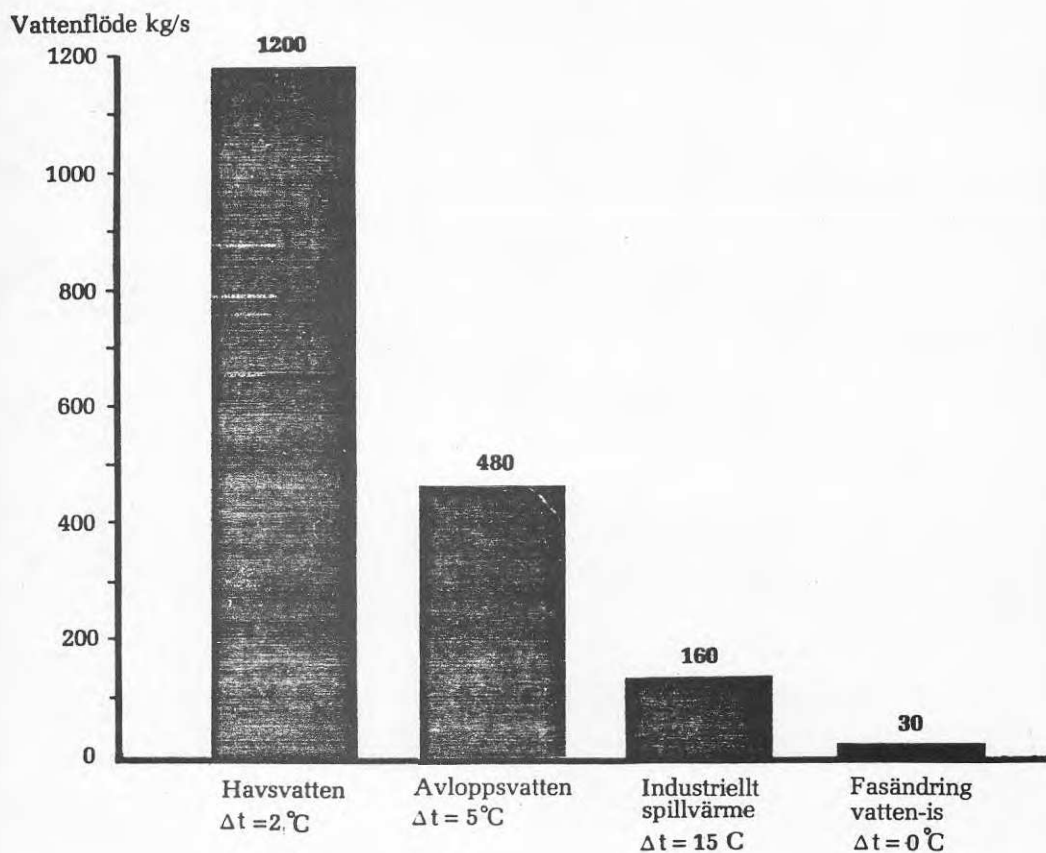
Utformningen av förångarytan till en kostnadseffektiv värmeväxlare är ett annat angeläget utvecklingsprojekt som bör kunna ytterligare förbättra isvärmepumpens ekonomi.

Inpumpning av vatten, fördelning av detta över hela förångarytan, krossning och hantering av isen är ytterligare exempel på områden där ett fortsatt utvecklingsarbete bör kunna ge mer kostnadseffektiva lösningar.

Sammanfattningsvis kan sägas att isvärmepumpen i Älvkarleby bevisat att de problem som är förknippade med isvärmepumpstekniken kan lösas och bemästras.

Isvärmepumpstekniken bör därmed vara ett mycket intressant alternativ till andra värmekällor.

Erforderligt vattenflöde för kyleffekt 10 MW



Seminarium om sjövärme - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Isvärmepumpar

av Hjalmar Schibbye, TETAB

Fråga från: Torbjörn Svensson, VIAK Göteborg
Vilka andra principer än den som TETAB prövat kan användas
för ismaskiner för värmepumpbruk?

Svar:

Vi har undersökt de i marknaden förekommande principerna för
isproduktion. Vi har därvid kommit fram till att endast den
av oss använda principen uppfyller våra fordringar. Det är inte
uteslutet att använda andra principer, t.ex. roterande istrummar.
Dessa principer medför emellertid följdproblem som kräver
speciella lösningar.

Utmatning av krossis i sjö- och älvvatten

Peter Larsen, Älvkarlebylaboratoriet.

Sveriges sjöar och kustvatten kyls under hösten fram till isläggningen varvid vattentemperaturen som regel sänks till värden mellan +4 och 0°C. Temperaturen är i många sjöar med liten genomströmning ca +2°C med en mycket svag, positiv temperaturgradient ner till stora djup. I våra älvar är vattentemperaturen nära fryspunkten under större delen av vintern. Turbulensgraden är även vid ganska låga vattenhastigheter tillräcklig för att förhindra att en temperaturskiktning skall uppstå. Älven kan betraktas som ett system av vatten i kontakt med smältande is för vilket jämviktstemperaturen är noll °C. Sedimentvärme och värme från friktionen i strömningen höjer temperaturen till några få hundradelar av en grad.

Värmeförsörjning baserad på värmepump med sjövatten som värme-källa måste dimensioneras för små temperatursteg på förångarens varma sida. Detta innebär dels att förångarytan blir stor, dels att vattenflödet blir stort i förhållande till dimensionerande effekt. Om man som exempel utgår från en värmeproduktion på 10 MW, värmefaktor 3 och 1.5 K temperaturfall fordras ett vattenflöde på något över 1000 l/s.

Om i stället isbildningsvärmets utnyttjas för värmeupptagningen blir det vattenflöde, som behöver frysas, endast ca 2 % eller ca 20 l/s för samma värmeproduktion. Tekniken att utnyttja isbildningsvärme erbjuder emellertid en del problem, bl.a. att den producerade isen måste transporteras bort. Med den ovan antagna värmeproduktionen blir isvolymen under 5 månader ca 300 000 m³ fast volym.

Isproduktionen innebär två delproblem: Hantering och transport av isen samt deponering.

Transport av is från värmepumpanläggning

Borttransporten av is från en värmepumpanläggning kan principiellt ske antingen som mekanisk transport - lastbil, transportband etc - eller som hydraulisk transport. Transportvolymen blir dock stor, redan en så liten anläggning som den i Vattenbyggnadslaboratoriet i Älvkarleby, 130 kW, producerar ca 25 m³ fast is per dygn. Efter förmalning sväller volymen till kanske 75 m³ eller 7 à 10 lastbilslass per dygn. En kontinuerlig borttransport synes nödvändig utom möjligen för helt små anläggningar.

Hydraulisk transport anordnas så, att förmald is på lämpligt sätt blandas i ett vattenflöde, som avleds till recipienten. Om förutsättningarna är lämpliga kan borttransporten ske i en ränna med fri vattenyta. Detta torde ur driftsynpunkt vara ett tillförlitligt system. Den söndermalda isen kan också pumpas som en "slurry" genom en rörledning till recipienten. Denna metod ställer krav på isens söndermalning och kräver speciella anordningar för isens inmatning i pumphuset.

Erfarenheter av den senare metoden har erhållits vid Vattenbyggnadslaboratoriet i Älvkarleby. Isproduktionen uppgår till ca 1 m³ fast is per timme. Den malda isen lämnar emellertid iskrossen "portionsvis" varvid isvolymflödet kan uppgå till ca 2 l/s (7,2 m³/h).

Den krossade isen matas från en öppen ränna, blandad med vatten, till en tratt - se fig 1 - som är placerad i en bassäng. Eftersom det internt cirkulerade flödet är större än det flöde, som utväxlas med älven, avleds en del vatten från tratten ut till omgivande vatten i bassängen. Detta sker via spalter i trattens mantel. Isen hindras från att gå ut genom spalterna genom ett skört innanför mantelplåten.

Genom att is/vattenblandningen matas in tangentiellt till tratten bringas vattnet i denna rotera varvid en virvel uppstår som utbildar sig till en sänkningstratt centrerad över det

rör i trattens botten, som leder is/vattenblandningen till pumpen. Denna är en avloppsvattenpump som placerats intill tratten på botten av bassängen. Från pumpen matas "slurryn" via en ca 40 m lång plastledning \varnothing 75 mm till Dalälven, där ledningen mynnar på ca 3 m djup. Ledningen är förlagd på frostfritt djup. Volymflödet är ca 4 l/s.

När anläggningen tagits i drift uppstod då och då stopp i utmatningen med påföljd att vid vissa tillfällen stora ismängder ansamlades innan kalamiteten observerades. Det var från början oklart vad som orsakade stoppen. Bl.a. byttes pumpen ut, från vanlig centrifugalpump till avloppsvattenpump med större dimensioner i pumpens vattenväg. Så småningom stod det emellertid klart att stoppen berodde på att enstaka, mycket sällsynt förekommande isstycken hade större kantlängd än rördiametern. Eftersom is/vattenblandningen är nollgradig, dvs ingen smältning sker, var stopp naturligtvis ofrånkomligt.

Iskrossen konstruerades om så att "styckefallet" blev lämpligt och sedan dess har inget stopp förekommit under hittills ca 700 drifttimmar. Isstyckena har en tjocklek som uppgår till plattjockleken hos den producerade isen, dvs upp till ca 10 mm, och en kantlängd, som inte torde överstiga 20 mm.

Anläggningen dimensionerades för ett volymförhållande vatten/is på 10 varvid en god säkerhetsmarginal ansågs innehållas. Som nämnts är vattenflödet ca 4 l/s och isflödet från iskrossen kan uppgå till 2 l/s. Vid dessa förhållanden erhålls dock en utjämnande effekt i tratten. Det torde vara realistiskt att dimensionera för ett vatten/is förhållande på 5. Några exakta mätningar har inte utförts.

För 10 MW-anläggningen, som togs som exempel, blir isflödet drygt 20 l/s och "slurryflödet" ca 100 l/s som kan jämföras med drygt 1000 l/s vid ett vattenflöde där temperaturen sänks med 1.5°C.

Kvittblivning av is

Ett enkelt sätt att bli kvitt isen är att som i Älvkarleby mata ut den i en älv med stor vattenföring och nära till havet. Enda förutsättning, som då behöver vara uppfyllt, är att vattenhastigheten är hög nog att transportera bort isen. Även om en del forskningsresultat finns redovisade i litteraturen vet man inte säkert hur hög vattenhastighet som fordras. Man antar dock att tröskelvärdet ligger inom intervallet 0.6 till 1 m/s. Michel [1] anger på basis av ganska omfattande observationer i La Grande-floden: Man kan således dra slutsatsen att hastigheten vid deponering av issörja är nära 3 ft/s (≈ 0.9 m/s) i La Grande. Uzuner [2] anger, att ökningen av mäktigheten av deponerad is kan förmodas ske genom intern kollaps i ismassan snarare än genom transport av isstycken under den ansamlade isen.

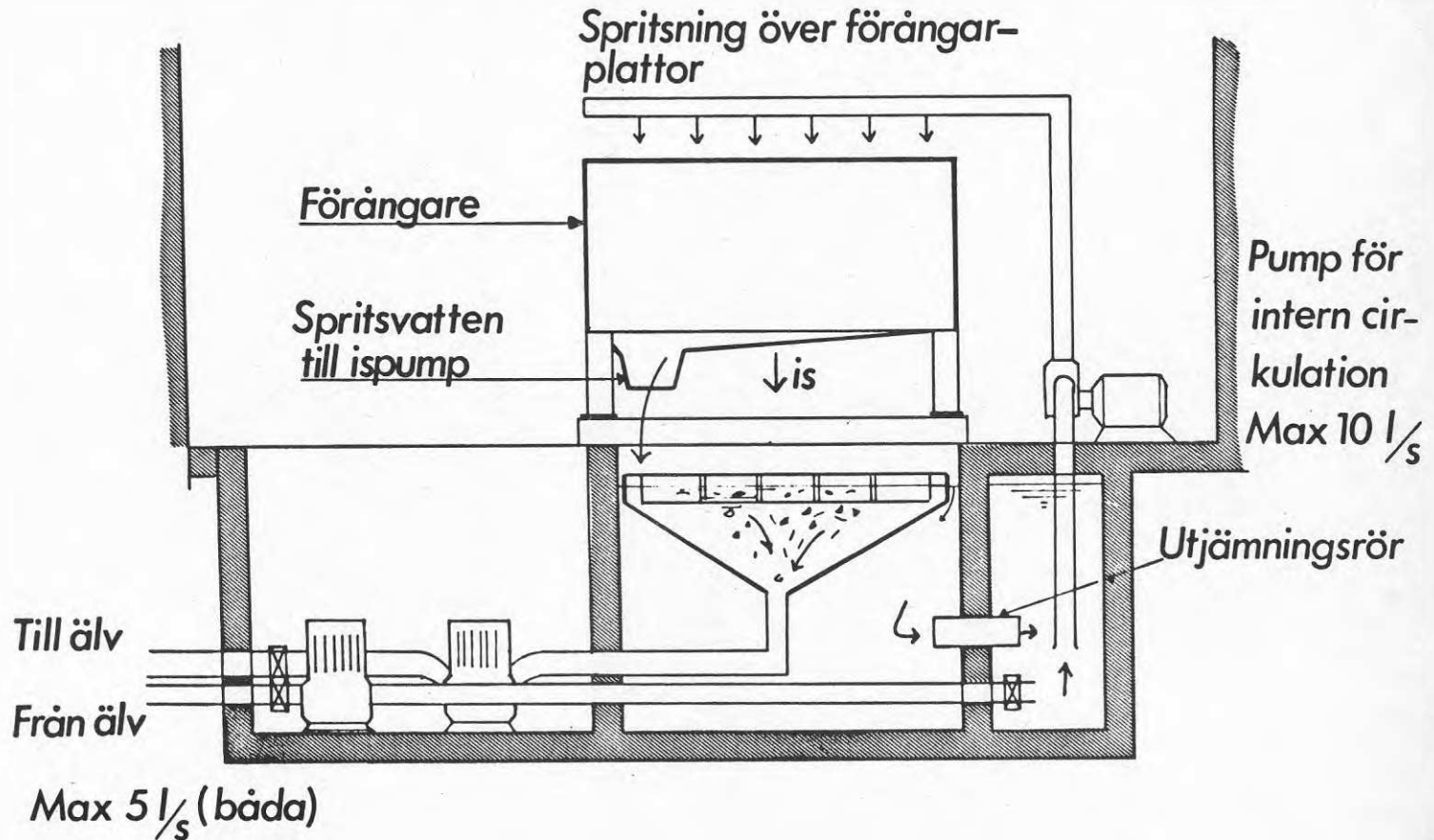
Redan vid förhållandevis små effekter blir isvolymen som produceras under en vinter stor. Om porositeten ansätts till 0.5 blir isvolymen från Älvkarlebyanläggningen bortåt 6000 m^3 vid full effekt under månaderna december t.o.m. mars. Vid en 10 MW-anläggning blir volymen beräknad på motsvarande sätt bortåt $500\,000 \text{ m}^3$. Det är helt klart att sådana ismängder kan skapa problem i ett mindre vattendrag om inte en kontinuerlig borttransport sker till en mycket stor magasinsvolym. Någon nämnvärd smältning av isen kommer inte att ske.

Utmatning av is/vattenflöde i en sjö har bl.a. behandlats av Larsen och Larsson [3], som redovisar en teoretisk studie. Resultatet av denna är bl.a. att även vid låga temperaturer i sjövattnet - 2° har använts i studien - är förutsättningar för handen att successivt smälta även stora ismängder. En nödvändig betingelse är naturligtvis att sjön är så stor att den erforderliga värmemängden finns.

Referenser:

- [1] Michel, B: "Ice Accumulations at Freeze-up or Break-up" Proc. IAHR Symp. on Ice Problems, Luleå 1978.
- [2] Uzuner, MS: "Stability of Ice Blocks Beneath an Ice Cover" Proc. IAHR Symp. on Ice Problems, Hanover, NH USA 1975.
- [3] Larsen, P, Larsson, M: "Sjövatten som recipient för värmepumpproducerad is". Vattenbyggnadslaboratoriet, Älvkarleby 1981.

SYSTEM FÖR ÄLVVATTEN-PRINCIP



FIGUR 1

Seminarium om sjövärme - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Utmatning av krossis i sjö- och älvvatten.

av Peter Larsen, Vattenfall Älvkarlebylaboratoriet

Fråga: Har isvärmepumpen vid Älvkarlebylaboratoriet fungerat olika vid skillnader i temperatur på ingående vatten, t.ex. $+0,01^{\circ}\text{C}$ resp. $+0,05^{\circ}\text{C}$?

Svar:

Vi har inte underlag för att besvara den frågan. Vissa problem vid avisningen tillskrevs på känn den låga vattentemperaturen i ett tidigt skede. Sedan senaste förbättringar gjorts på anläggningen har temperaturen varit högre än $0,01^{\circ}\text{C}$.

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Vilket lägsta blandningsförhållande is/vatten kan på sikt förväntas bli uppnått?

Svar:

Sannolikt bör man kunna nå ett blandningsförhållande vatten/is på 2 ä 3.

Bernt Bäckström
Göteborg

Seminarium om sjövärmesystem - Älvkarleby 820505/06

VÄRMEPUMPAR I SJÖVÄRMESYSTEM - SYSTEMFRAGOR

Inledning

Avsikten är att genom några enkla exempel visa på hur värmekällans resp värmesänkans "kvalitet" påverkar ett värmepumpsystems drift-ekonomi. En fördel med sjövattnen som värmekälla för värmepumpen bör vara att värmepumpen kan hållas i drift med acceptabla driftförhållanden även under den kallaste delen av året. Jämförelse görs här med uteluft som värmekälla.

Förutsättningar

För att göra en enkel men ändå verklighetstrogen jämförelse har följande förutsättningar valts:

max effektbehov	10 MWv
värmepump	3.5 MWv
värmepreis	200 kr/MWh
elpris	200 kr/MWh

Övriga förutsättningar framgår av bifogade varaktighetsdiagram för effekt och temperaturer. Utetemperaturer gäller ungefärligen för ett normalår i Göteborg.

Det har förutsatts att uteluftvärmepumpen stängs av helt då utelufttemperaturen understiger ca -5°C medan sjövärmepumpen hålls i drift med konstanta och tämligen goda driftförhållanden under hela året.

Eleffektbehovet för de två fallen har överslagsvis beräknats och framgår också av varaktighetsdiagrammen, diagram 1 och 2.

Resultat

Med ovanstående förutsättningar erhålls följande resultat för de två anläggningstyperna.

Uteluft

Värme från värmepump	17570 MWh à 200:- = 3514 kkr/år
El	8600 MWh à 200:- = 1720 kkr/år
Besparing	= 1794 kkr/år
Årsvärmefaktor	= 2.0

Sjövärme

Värme från värmepump	19260 MWh à 200:- = 3850 kkr/år
El	8150 MWh à 200:- = 1630 kkr/år
Besparing	= 2220 kkr/år
Årsvärmefaktor	= 2.4

Skillnad i besparing $2220 - 1794 = 426$ kkr/år, eller säg ca 400 kkr/år.

Här bortses helt från övriga eventuella skillnader i driftskostnad dvs skötsel och underhåll m m.

Resultatet innebär att driftskostnadsminskningen genom en bra sjövärmekälla möjligen kan öka med ca 20% jämfört med uteluft. Sjövärmepumpen kan exempelvis få kosta ca 600/kW (nominellt från värmepump) om man antar en annuitetsfaktor på ca 20%/år.

Om anläggningarna med uteluft respektive "sjövärme" som värmekälla antas ha samma anläggningskostnad så får sjövärmearläggningen i stället en pay-off-tid, som är ca 20% kortare än uteluftanläggningens.

Om värmepumparna värderas ur oljeersättningssynpunkt så ger exemplet ovan att sjövärmepumpen spar knappt 10% mer olja än uteluftvärmepumpen.

Det är således inte fråga om några revolutionerande skillnader. Här skall också påpekas att värmefaktorn, som antagits för sjövärmepumpen, möjligen kan anses något optimistisk. Sjunger denna så försämras lönsamheten givetvis i samma takt.

Tillgängligheten har här också antagits vara 100%. Uteluftanläggningen har en "naturlig" avställningsperiod vid låga utetemperaturer då möjligen viss planerad service kan ske.

Driftskostnaderna påverkas givetvis också av andra faktorer, som här utelämnats. Sålunda kan resultaten förändras betydligt om s k differentierade eltaxor införs.

Anpassning till värmesänkan

I sammanhanget kan det vara av intresse att kortfattat belysa vilken betydelse en bättre anpassning av värmesänkans temperaturkrav kan ha. Följande enkla beräkning kan göras för uteluftanläggningen.

I exemplen ovan har förutsatts en kondenseringstemperatur på 80-75°C. Om denna kunde sänkas och ligga ca 10°C över radiatorframledningstemperaturen så skulle en uteluftvärmepump kunna få en årsvärmefaktor på minst ca 2.5 även om lokal eftervärmning av tappvarmvattnet medräknas.

Då erhålls:

Värme	17500 MWh/år	ä	200:-	=	3500 kkr/år
El	7000 MWh/år	ä	200:-	=	1400 kkr/år
Besparing				=	2100 kkr/år

Denna ändring ökar således besparingen från ca 1800 kkr/år till ca 2100 kkr/år eller med ca 1/6.

Nämnda temperaturanpassning är givetvis lika angelägen med sjövärme som värmekälla.

Exemplet har här tagits med för att visa på att systemutformningen på den varma sidan kan vara lika angelägen som sökandet efter sofistikerade lösningar av problemet värmekälla. Mitt intryck är att detta hittills alltför ofta försummats.

Varje värmekällas totala kostnadsbild, tillgänglighet och förekomst dvs den "totala potentialen" måste värderas på ett mer seriöst sätt än som ofta sker.

Slutord

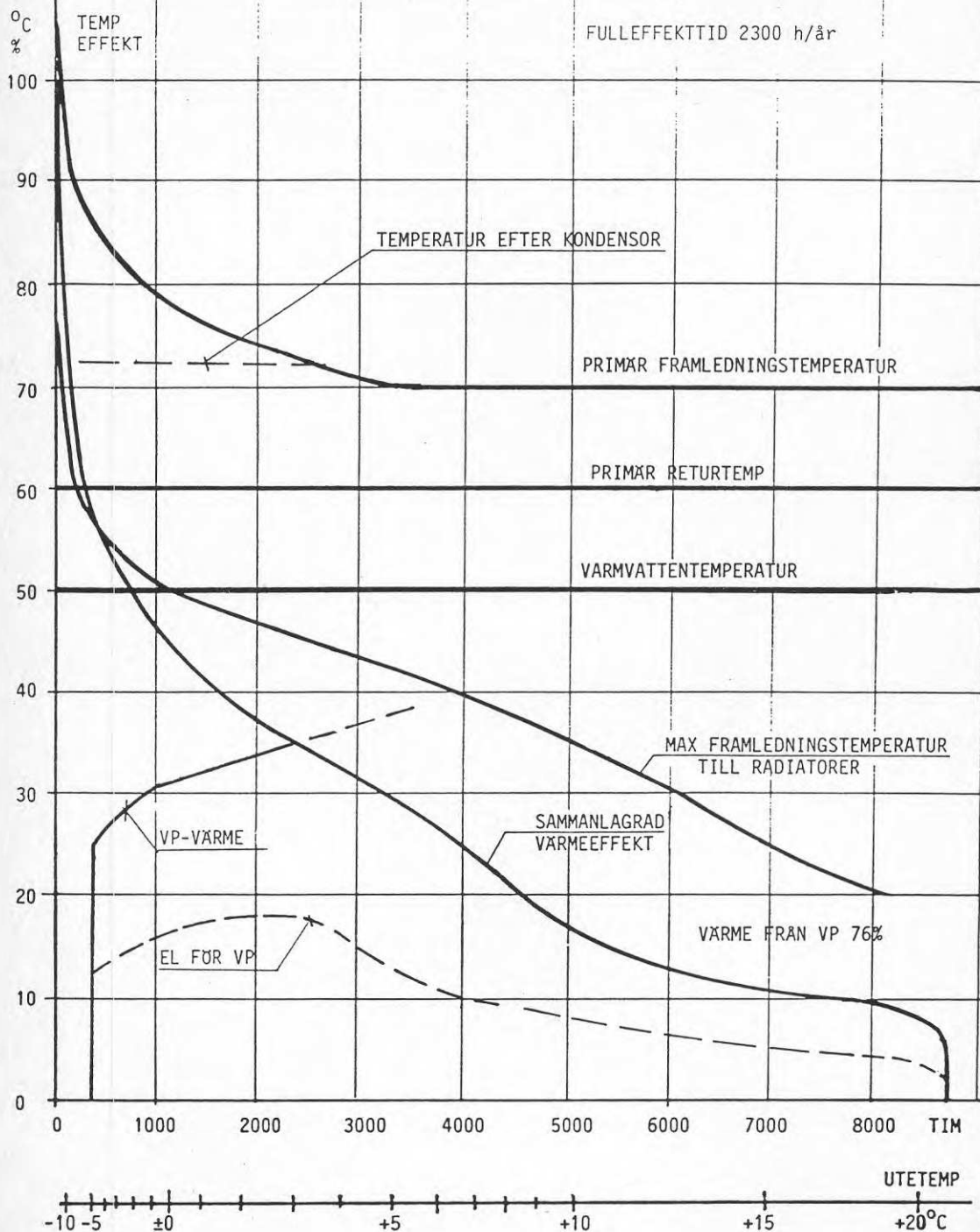
De ovan givna exemplen får givetvis inte tillmätas alltför stor allmängiltighet men torde ändå visa

- att en värmepumpvärmekällas "kvalitet" måste värderas med hänsyn till totalekonomi och potential
- att skillnaden mellan "sjövärme" och uteluft som värmekälla för en värmepump är måttlig
- att systemutformningen på den varma sidan är väl så viktig som på den kalla.

VÄRMEPUMPANLÄGGNING

PRIMÄR- OCH SEKUNDÄRTEMPERATURER
I VÄRMEDISTRIBUTIONSSYSTEM MED VARIABLET FLÖDE
VARAKTIGHETSDIAGRAM

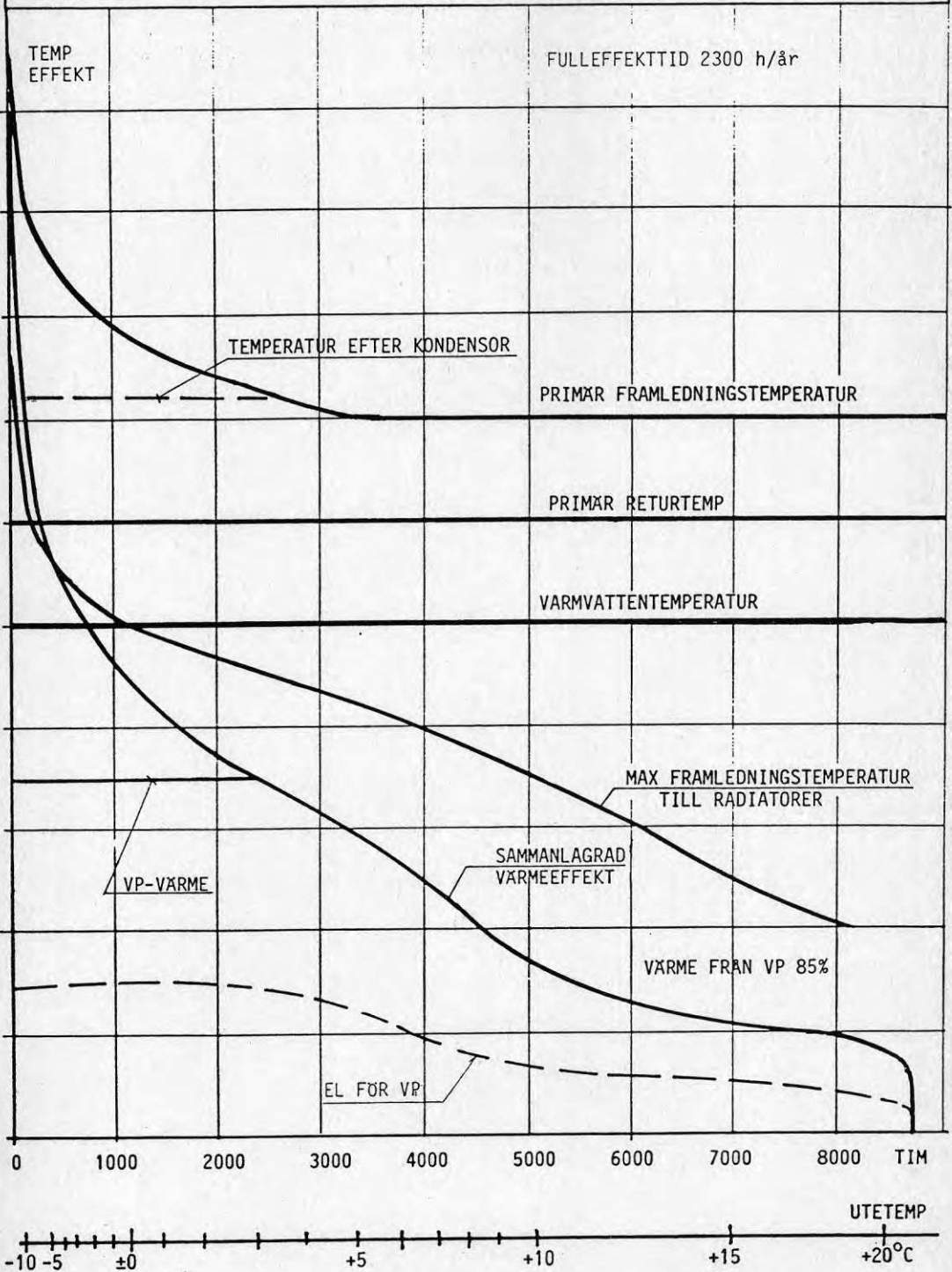
Bernt Bäckström
Maj 1982



VÄRMEPUMPANLÄGGNING

PRIMÄR- OCH SEKUNDÄRTEMPERATURER
I VÄRMEDISTRIBUTIONSSYSTEM MED VARIABELT FLÖDE
VARAKTIGHETSDIAGRAM

Bernt Bäckström
Maj 1982



Temperaturdata från sjöar, älvar och kustvatten.
Underlag för utredningar och möjligt värmeuttag

Sammandrag

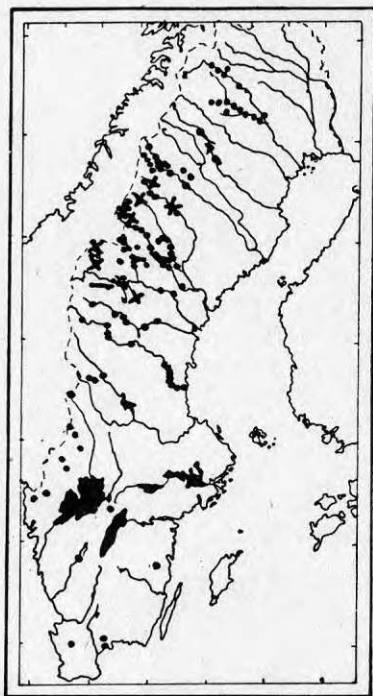
Det behövs temperaturdata för att bedöma om vattnet i en älv, sjö eller havsvik kan utnyttjas som värmekälla med hjälp av en värmepump. Vid SMHI har temperaturer mätts i många olika sammanhang. Var dessa mätningar skett presenteras översiktligt. Även andra källor till data berörs.

Hur bör man behandla temperaturdata för att kunna utnyttja dem? Rena rådata är inte speciellt hanterliga. Det behövs något begrepp som kan användas för dimensionering av värmepumpar och för bedömning av en värmekällas lämplighet. Några olika exempel på att redovisa data presenteras. Vad gör man då data saknas eller är otillräckliga. Några olika möjligheter diskuteras.

I samband med studier av isförhållanden på uppdrag av vattendomstolar startade SMHIs temperaturombserverationer i sjöar och vattendrag. I många fall fortgår observationerna ännu. Med tiden har såväl ett sjötemperaturnät som ett älvtemperaturnät uppstått. Utmed kusten har tyvärr inget motsvarande observationsnät skapats, utan där ledde sakkunniguppdragen - främst avseende vattenomsättning och avloppsvattenspridning - till omfattande mätningar under en begränsad tidsperiod, i vissa fall uppgående till ca tio år. Temperaturombserverationer har i de flesta fall ingått i mätinsatserna. De olika uppdragen har nu en sådan geografisk täckning att data från dem borde vara användbara i samband med nyttjande av kustvattnen som värmekälla. Utmed kusten finns dessutom några observationsnät dels PMK-nätets kust- och utsjöstationer dels ett nät för yttemperaturombserverationer.

Sjötemperaturnätet

SMHI har mätt temperaturen från yta till botten i ett antal sjöar två gånger per år dels under vinter - januari-februari- dels under sommar - juli-augusti. På kartan i figur 1. visas de sjöar där temperaturer uppmätts under minst fem vintrar. Från några sjöar finns data som visar några hela årscyklar. Dessa sjöar är på kartan markerade med ett kryss.

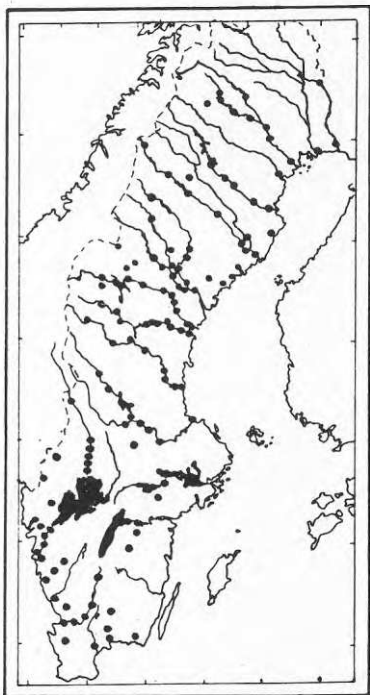


Figur 1
Sjötemperaturnätet

Ett stort arbete har inletts på SMHI som avser uppbyggnaden av ett sjöarkiv, till vilket olika slag av uppgifter skall samlas bl.a. sjöareal, sjödjup, volym och läge. På sikt skall även mätdata om sjöarna kunna nås via detta arkiv. För närvarande koordinatsätts ca 50 000 sjöar i Sverige. I stort sett har hitintills halva Sverige täckts in. De sjöar som kommer in i registret är de vars yta överstiger ca 0.01 km². Mätdata införes i registret i samband med att data skall utnyttjas i någon form av projekt.

Älvtemperaturnätet

Älvtemperaturer har mätts sedan åtskilliga år och för närvarande kan data i regel erhållas från serier av femton till trettio års omfattning. Mätningarna har skett med varierande frekvens från en gång i veckan upp till tre gånger per dag. På kartan i figur 2. visas älvtemperaturnätets observationsplatser.

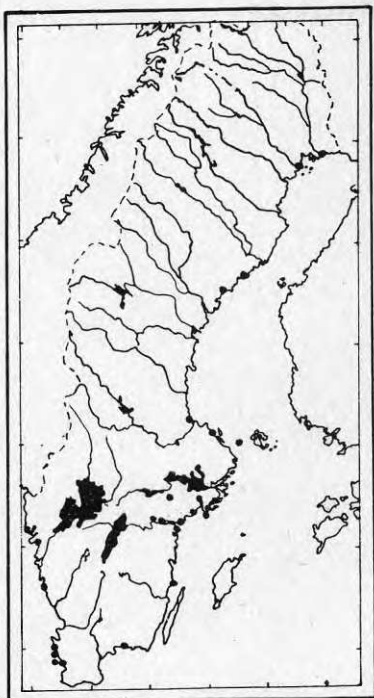


Figur 2.
Älvtemperaturnätet

Mätningarna göres i strömmande väl omblandat vatten oftast i anslutning till vattenkraftverk.

Kustvattenuppdrag med temperaturdata

Temperaturdata från olika kustavsnitt är mycket ojämnt fördelade i både tid och rum. På kartan i figur 3. är de platser utmärkta där mätningar utförts med lite större omfattning.

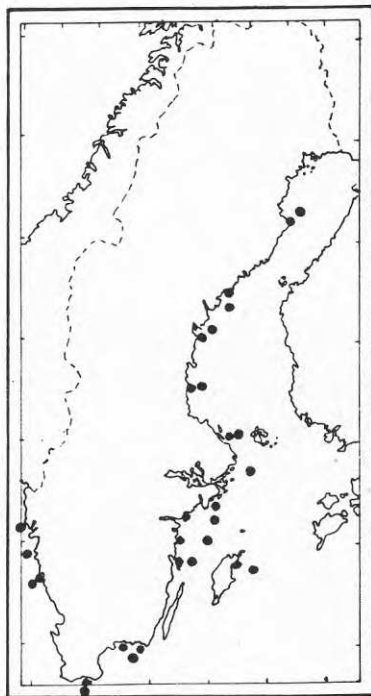


Figur 3.
Lägen för kustvattenuppdrag.

Mätningar har där utförts med varierande intensitet från observationer var tionde minut till några observationer per år. Vanligen kan dock årskurvor konstrueras för några år. När det gäller variationer på kortare tidsskalor så är troligen mätningarna med registrerande instrument de mest omfattande i hela landet. I allmänhet överensstämmer dock sällan mätplatserna med platser som kan vara intressanta för värmepumpar. De utgör trots detta ett stort jämförelsematerial. I detta sammanhang torde dock de regelbundna mätningar som i någon form brukar ingå i dessa uppdrag vara intressanta. Mätningar har ofta utförts veckovis eller månadsvis av någon lokal observatör på orten. Därmed har för många platser tre till tio år långa temperaturserier åstadkommits.

PMK-nätet

Mätningar har genomförts vid ett antal stationer längs den svenska kusten, såväl kustnära stationer som utsjöstationer i ett tiotal år. Naturvårdsverket bekostar verksamheten, som numera ingår i program för övervakning av miljökvalitet (PMK). Verksamheten sker i samarbete mellan SMHI och Fiskeristyrelsen. Stationernas lägen framgår av kartan i figur 4.



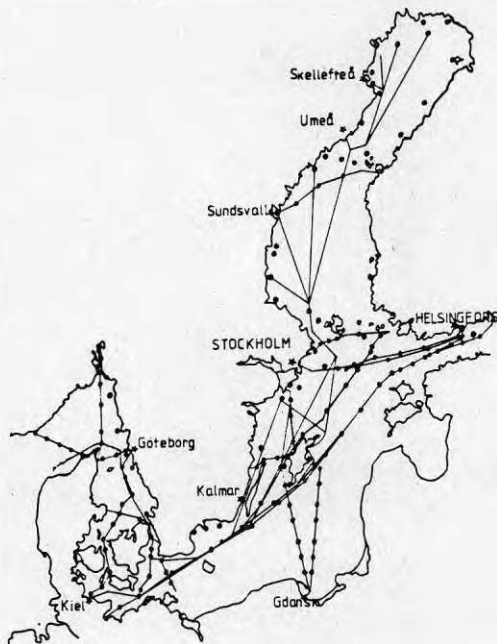
Figur 4.
PMK-nätet

Dessa mätningar utgör till en del ersättning för de observationer som tidigare utfördes vid de svenska fyrskeppen. Mätdata från dessa och nuvarande PMK-nätet kan användas för att åstadkomma jämförelsematerial för en plats som kan vara av intresse för att bedöma som värmekälla till en värmepump.

Ytvattentemperaturnätet

Nätet upprättades ursprungligen för att följa avkylningen i havet och utgöra underlag för isläggningsprognoser. Med tiden har verksamheten utvidgats och numera kommer temperaturdata in dagligen från olika stationer

både fasta och rörliga. Mätningar utföres vid fyrplatser, lotsstationer, på fartyg i reguljär trafik och på handelsfartyg. Mätresultaten presenteras i form av en ytvattentemperaturkarta som utkommer två gånger i veckan. För närvarande finns data från tio till femton år bakåt i tiden. Dessa mätdata kan många gånger användas som jämförelsematerial. I figur 5. visas stationerna i nätet i form av punkter och linjer. Linjerna representerar de vanliga fartygsrutterna längs vilka ytvattentemperaturer inrapporteras till SMHI.



Figur 5.

Observationsnät för ytvattentemperatur

Övriga källor till data

Temperaturmätningar har utförts av många olika institutioner och företag i samband med undersökningar i vatten i många sammanhang. Tillgången och åtkomligheten hos dessa temperaturdata varierar. Ofta finns de samlade under projektrubriker som kan vara svåra att komma åt. I allmänhet erfordras kunskaper om vilka projekt som förekommit för att leta fram önskade uppgifter. Detta gäller generellt alla institutioner varav SMHI ej utgör något undanotag. Temperaturdata insamlas i regel i samband med miljövårdsprogram av olika slag. Dessa program drivs av länsstyrelser, vattenvårdsförbund, skogsindustrier och andra industrier med utsläpp i vatten. Vattenkvalitetskontroller medför också att vattentemperaturer mäts. Mätfrekvens och omfattning varierar mycket från mätningar

vid yta och botten någon eller några gånger per år till kanske mätningar varje månad i ett lokalt nät med många många mätpunkter och med god täckning i djupled. Exempel på institutioner där man kan finna temperaturdata är:

Fiskeristyrelsen
 Naturvårdsverket
 Forskningsinstitutioner
 Konsultföretag
 Vattenverk
 Avloppsreningsverk
 Kommuner (Gatukontor och hälsovårdsnämnd)
 Länsstyrelser
 Fiskenämnader
 Vattenvårdsförbund
 Industrier

Behandling av data.

Vilka temperaturdata är intressanta och hur skall de presenteras? Man kan behandla data på många olika sätt men frågan är i vilken form skall de presenteras för att vara direkt användbara. Temperaturdata kan presenteras som:

Årskurvor under många olika år
 Medelvärden och variation
 Några extrema års temperaturförlopp
 Statistisk fördelning. Sannolikheter för olika temperaturer
 Jämförelser med nya mätningar och äldre serier
 Tidrymder då temperaturen överstiger viss temp.
 Temperaturprofiler för olika årstider och år.
 Lägsta observerade temperatur för olika perioder under året.

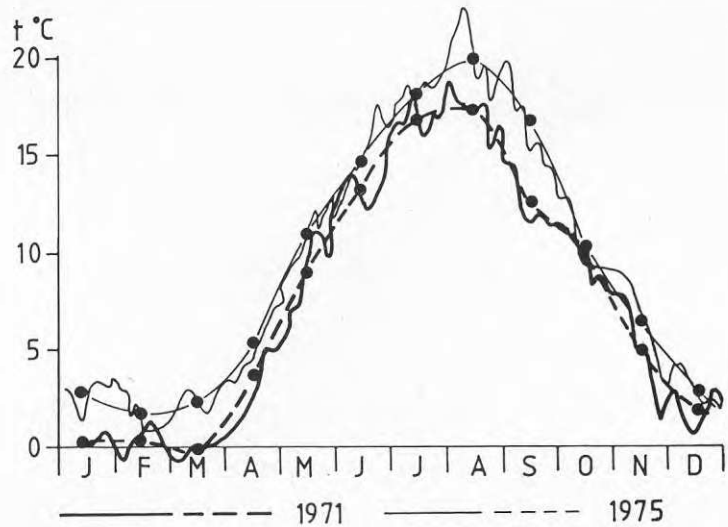
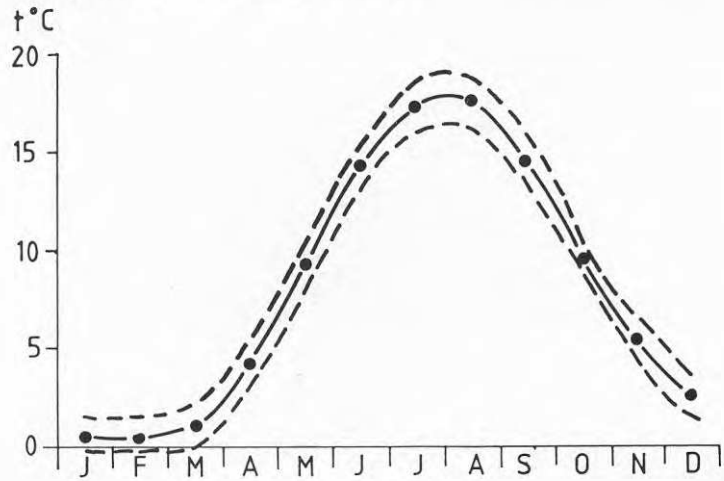
Exempel på några av dessa visas i ett antal figurer i slutet av detta arbete. Man kan också gå vidare och kombinera volym och temperaturuppgifter till värmeinhåll i en sjö eller vik. Isläggningsförhållanden kan det även vara av intresse att ha under kontroll ty tidpunkten för isläggningen är av betydelse för hur mycket värme som blir kvar i en sjö efter avkylningen.

Vad gör man om data saknas?

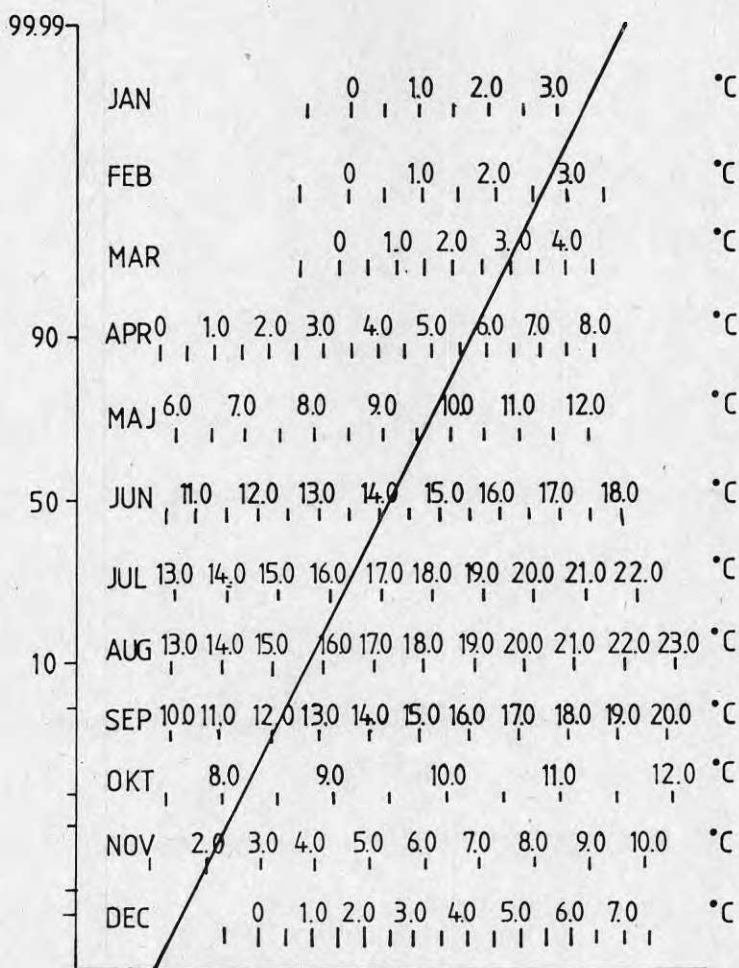
Det mest självklara svaret på frågan är att man naturligtvis sätter i gång att mäta för att få något bedömningsunderlag. Men detta är inte tillräckligt ty variationerna mellan olika år är så stora att man skulle behöva mäta under tiotals år för att få det underlag man behöver. Istället kan man jämföra med mätningar på andra platser eller använda sig av kända förhållanden om isläggning och islossning för att göra grova bedömningar. Det bästa sättet vore förstas att man kunde beräkna temperaturförhållandena från uppgifter som man har från lång tid tillbaka. Väderuppgifter är något som finns på

SMHI sedan lång tid tillbaka. Med en metod att utnyttja dessa skulle man kunna åstadkomma den statistik som vore önskvärd för att bedöma olika värmekällors lämplighet. Inom kort kommer ett arbete att inledas för att ta fram en sådan metod med hjälp av matematiska modeller.

LOTSSTATIONEN VID KALMAR YTVATTENTEMPERATUR

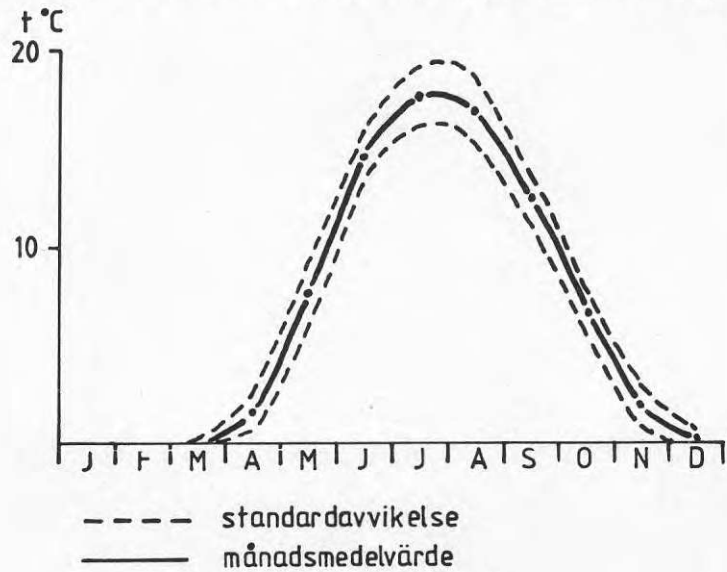


Sannolikhet för olika medeltemperaturer månadsvis

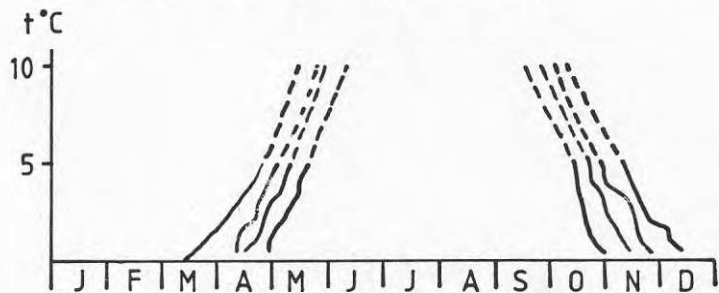


Exempel: Sannolikheten att medeltemperaturen i mars är under ca 0.5°C är 50%. Sannolikheten för att marsmedeltemperaturen understiger ca 2°C är 90% och därmed överstiger den 2°C i genomsnitt ett år av tio.

DEJEFORS KRV MÅNADSMEDELVÄRDE

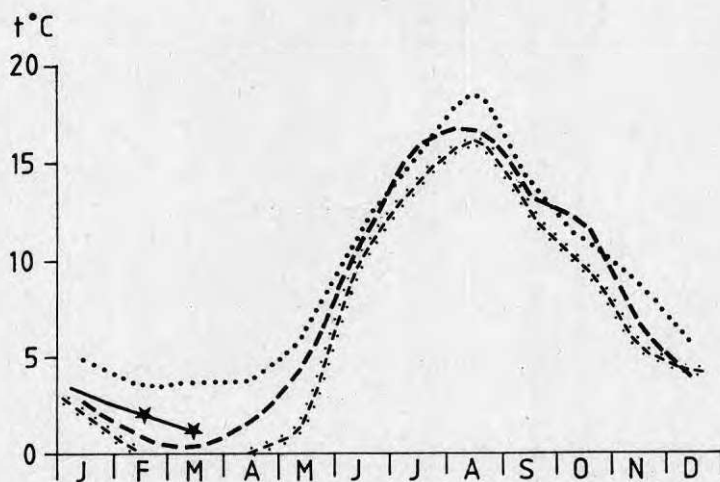
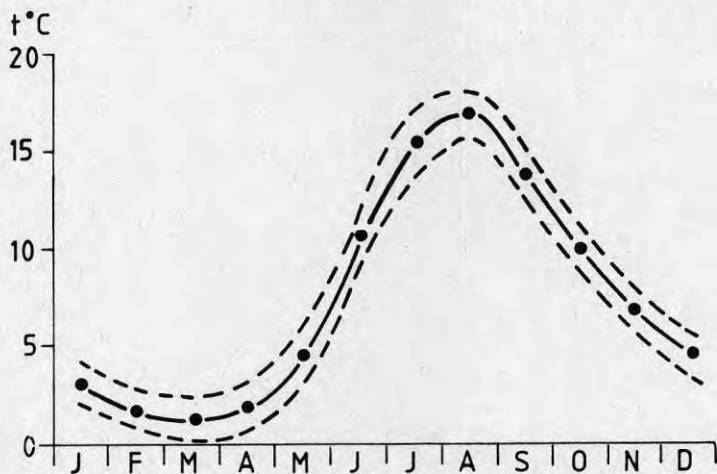


TIDPUNKTER DÅ TEMPERATUREN ÖVERSTIGER t°C
 — 0% — 33% — 66% — 100%



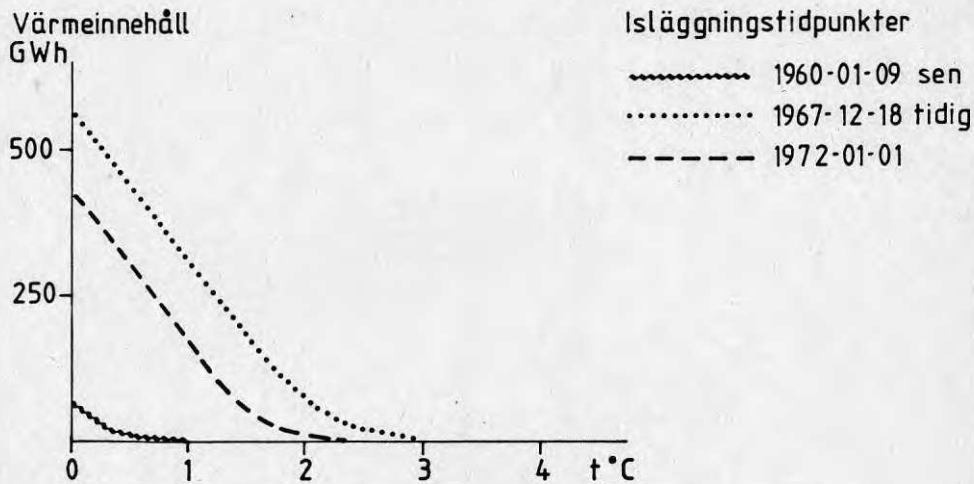
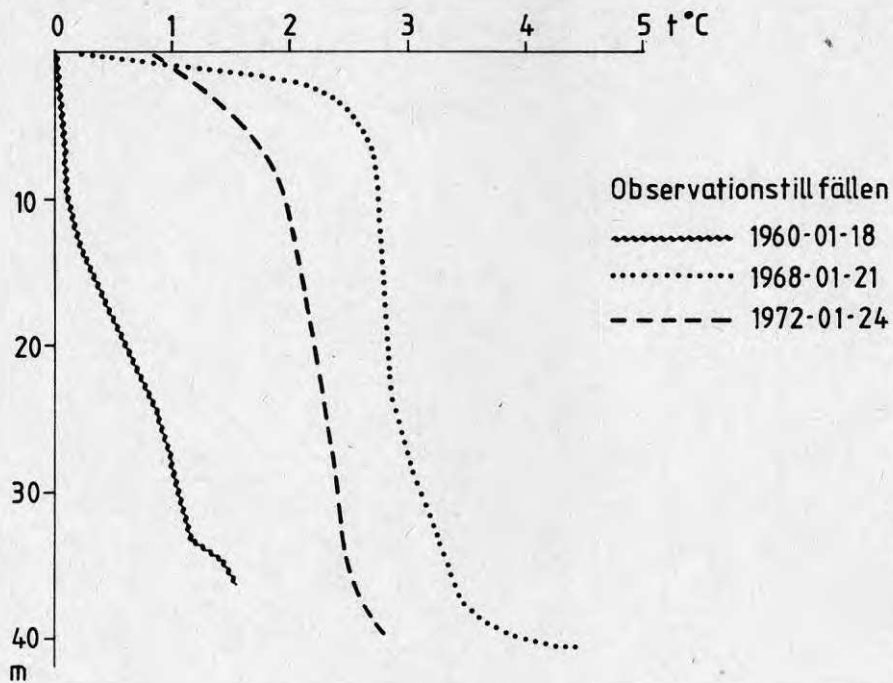
STENKYRKEHUK

YTVATTENTEMPERATUR 1968-1980



+++++ 1970 1975 - - - - 1980 ——— 1981
 * Visby 1981

Isläggnings betydelse för en sjös värmeinhåll exempel: Åsunden



Frågor till SMHI:

- 1) Kan isläggning styras?
- 2) Kan sjöar isoleras på annat sätt?

Svar_1: Isläggningsen styrs främst av följande tre faktorer: ytvattentemperaturen, omblandningen i vattnet och värmeflödet från vattenytan till atmosfären. En sjö som är helt omgiven av "skyddande" skog och höjder påverkas inte lika mycket av vindstressen som en helt öppen sjö. Det medför att omblandningen i vattnet relativt sett är mindre för en skyddad sjö jämfört med en öppen. Avkylningen/isläggningsen går därmed snabbare i en skyddad sjö. Eventuellt kan man hjälpa isläggningsen genom att, vid skogsavverkning, lämna kvar skog närmast sjön. Man kan även tänka sig att lägga ut länsar för att minska omblandningen i ytskiktet.

Genomströmmande vatten kan dämpas upp "ovan" sjön över ett stort grunt område och därmed avkyla det dämnda vattnet snabbare än sjön. Då sjön närmar sig isläggning tappar man det avkylda vattnet ut över sjön för att bilda ett tunt lättare kallt skikt. Då isläggning förväntas stoppas avtappningen och därigenom hindras även blandningen i det övre skiktet som nu snabbt kan isläggas.

Med hjälp av någon lättflyktig vätska, med lägre fryspunkt än vatten, kan en mycket stark densitetsgradient skapas i ytskiktet. Vid kraftig avkylning och låg temperatur når denna vätska snabbt en temperatur som är lägre än vattnets fryspunkt och därmed sker isbildning i gränsytan mellan vattnet och den lättflyktiga vätskan.

Svar_2: Om man kan skapa en konstgjord stark skiktning begränsas vindomrörningen och därmed även bottenlagrets avkylning. En tänkbar lösning är att tillföra en sjös botten-skikt så mycket salt att en stabil skiktning skapas. Vindens verkan kommer emellertid att gradvis blanda om sjön men med tillräckliga mängder kan detta ta avsevärd tid. Denna metod innebär dock att sjöns normala funktion störs och kanske blir helt död.

POTENTIAL FÖR UTTAG AV VÄRME UR YTVATTEN I STOCKHOLMS-REGIONEN

Av tekn.dr. Torbjörn Svensson
Institutionen för vattenbyggnad CTH och
VIAK AB, Göteborg

Stockholm har genom sitt läge vid Mälarens utlopp i Östersjön mycket stora vattenområden som kan lämpas för värmeuttag, fig. 1. På uppdrag av AB Svarthålsforsen har VIAK AB översiktligt värderat hur stora värmeuttag som är möjliga att göra inom området, främst ur rent teknisk synpunkt. Under den isfria delen av året är uttagsmöjligheterna i praktiken inte begränsade, varför enbart förhållandena under vintern behandlats.

1. Hydrologi och temperatur i Mälaren

Ö. Mälaren består av ett antal sammanhängande fjärdar förbundna med sund. Ett antal trösklar belägna på mellan 10 och 20 meters djup avgränsar djupbassängerna från varandra medan de ytliga vattenlagren har fri kontakt. De större djupbassängerna utgöres av Riddarfjärden, Klubbenområdet mellan Kungshatt och St. Essingen samt, framför allt, Lövstafjärden, Lambarfjärden, Mörbyfjärden som utgör ett sammanhängande djupbäcken med 50-60 m djup, fig. 1. De senare fjärdarna innehåller de i särklass största vattenvolymerna inom området.

Övriga sötvattensjöar inom Stockholms kommun har en areal som är mindre än 20% av Mälaramrådena. Utfödet från Mälaren bestäms av Mälarens reglering. Under vintermånaderna dec.-mars varierar medelvattenföringen mellan 176-205 m³/s och i april uppgår den till 284 m³/s. Variationen mellan olika år är emellertid stor. Trots Mälarens reglering förekommer vissa år situationer med högre vattenstånd i Saltsjön än i Ö. Mälaren. Detta resulterar i begränsad saltvatteninströmning genom läckage förbi dammen i Norrström.

Temperaturförhållandena i Ö. Mälaren under året illustreras i fig. 2, som visar förhållandena i mätpunkten Klubben under år 1976. Den kritiska perioden mellan det att vattentemperaturen sjunkit till +4°C och isläggningen avgör hur stor värmemängd som finns kvar i vattnet vid början av vintern. Sen isläggning och kraftiga vindar bidrar till en låg temperatur och därmed litet värmeinnehåll, medan tidig isläggning och svaga vindar bidrar till att stora värmemängder finns kvar i vattnet vid isläggningen.

Sjöns temperatur och värmeinnehåll är i regel som lägst vid isläggningen. Värmeavgivning från bottensedimenten bidrar till att succesivt höja temperaturen något under vinterns lopp.

Temperaturvariationerna mellan olika år är relativt stora, vilket framgår av figur 3, som visar samtliga

uppmätta temperaturprofiler vid Klubben i februari - mars 1963 - 1979. Genomgående för dessa är att temperaturen är ganska homogen i de översta 10 metrarna för att sedan öka succesivt mot botten. Vidare går ej temperaturen ned till $\pm 0^{\circ}\text{C}$ vid ytan (isens underkant), vilket är normalt i mera stillastående sjöar. Detta tyder på att det sker en omblandning genom turbulens i det övre skiktet.

Från tillgängliga mätningar kan följande slutsatser dras om vintertemperaturen inom olika delar av Ö. Mälaren.

- . Temperaturerna inom relativt grunda (<20 m) områden såsom Riddarfjärden och Ulvsundasjön är lägre än $+1.5^{\circ}\text{C}$ och kan gå ned till 0.5°C eller lägre. Uppvärmningen från sedimenten torde komma angränsande, djupare områden till del eller avges till isen genom vertikal omblandning i de smala sunden i området.
 - . I djupbäckenet vid Klubben är temperaturen på 20-30 m i allmänhet $2 - 3^{\circ}\text{C}$ med en medeltemperatur av 2.6°C . Lägre temperatur än 1.5°C har uppmätts vid två av nitton tillfällena (11%). Temperaturen vid Mälärhöjdsbadet avspeglar i stort förhållandena vid Klubben.
 - . Högre temperatur än $+4^{\circ}\text{C}$ har uppmätts vid ett tillfälle 1970. Denna betingas av ett inbrott av salt och varmt vatten som tillfälligt bildat ett stagnant bottenskikt. Saltvatteninbrott har också förekommit i samband med mera normala temperaturer (1974) och det kan inte uteslutas att sådana kan medföra även att bottenskiktet får en extremt låg temperatur om inströmning sker vid en olycklig tidpunkt.
 - . Fiskarfjärden, som är avgränsad från Klubbenområdet med en tröskel på 15 m djup, har en temperatur som oftast understiger 2°C . En direkt jämförelse mellan de båda områdena visar att under tröskelnivån är temperaturen på samma djup $0.5 - 1.0^{\circ}\text{C}$ lägre i Fiskarfjärden.
 - . I den djupaste av fjärdarna, Lambarfjärden, varierar temperaturen mellan $0.8 - 3.5^{\circ}\text{C}$ på 20 - 40 m djup och $1.5 - 3.5^{\circ}\text{C}$ på 50 - 60 m djup. I direkt jämförelse med Klubben synes spridningen i vintertemperatur vara något större och medelvärdet något lägre i Lambarfjärden. Antalet mättillfällen är emellertid för litet för att kunna dra några säkra slutsatser.
3. Uttagspotentialen i Ö. Mälaren och övriga insjöar

För att beräkna den uttagbara värmemängden under vintern utgår man från "starttemperaturen" vid isläggningen, vilken måste bestämmas genom mätningar eller på

annat sätt. Den succesiva temperaturutvecklingen kan därefter beräknas med en värmebudget. Denna illustreras i figur 4 och innehåller följande termer:

+ Q_{till}	Värmetillförsel med genomströmmande vatten
- $Q_{från}$	Värmebortförsel med genomströmmande vatten
$\pm Q_{utb}$	Värmeutbyte med angränsande delområden; kan vara positiv eller negativ.
+ Q_{sed}	Värmetillförsel från uppvärmda botten-sediment
- Q_{is}	Värmeförlust till isen
- Q_{blandn}	Värmeförlust i blandningsområden; t.ex. isfria områden, sund med höga strömhastigheter m.m.
- Q_{vp}	Värmeuttag med värmepump
- $Q_{\Delta T}$	Värmeförlust genom sänkning av vattentemperaturen

Relationerna mellan de olika termerna växlar mellan olika områden och påverkas även av värmeuttaget självt genom temperatursänkning. Så t.ex. minskar förlusttermerna Q_{is} , Q_{blandn} och $Q_{från}$ om temperaturen sänks, och tillskottstermen Q_{sed} ökar. Utbytestermen Q_{utb} kan också ändras genom sänkning av temperaturen. Ändringen kan i detta fall vara såväl positiv som negativ.

Största uttagbara värmemängd kan bestämmas med värmebudgeten för hela den islagda tiden med villkoret att vattentemperaturen ej får bli lägre än ett lägsta värde T_{min} . Detta värde kan begränsas såväl av tekniska faktorer som av risk för ekologisk påverkan.

En generell modell har utarbetats för att överslagsmässigt beräkna uttagspotentialen (energimängd) i sjöar under vintern. Denna modell bygger på följande förutsättningar:

- Förluster p.g.a. genomströmning, vattenutbyte och värmeledning till isen eller luften är försumbara.
- Sjöns form antas vara en upp- och nedvänd kon.
- Värmetillgången utgöres av temperaturen i vattnet vid isläggnings och värmeledningen från sedimenten.
- Allt vattnet antas kunna kylas till en temperatur av $+0.5^{\circ}\text{C}$. Denna är satt med hänsyn till kylmöjligheter i strilförångare.

Ett exempel, som torde vara representativt för Ö. Mälaren under ett medelår visas i figur 5. Temperaturen på stort djup antas uppgå till $+2.5^{\circ}\text{C}$ och den utnyttbara delen av sedimentvärmes antas vara 15 kWh/m^2 vid vattentemperaturen minskande till noll på 30 m djup. Vattnet antas kunna kylas ned till $+0.5^{\circ}\text{C}$. Diagrammet ger den tillgängliga värmemängden som funktion av sjöns eller delområdets maximidjup H . Exemplet visar att värmeinnehål-

let i sedimenten dominerar för $H < 30$ m och vattnets värmeinhåll dominerar i djupare områden. Värmetillgången per ytenhet varierar mycket litet kring värdet 15 kWh/m^2 för grundare sjöar än 25 m. För djupare sjöar ökar uttagspotentialen med djupet.

Med utgångspunkt från figur 5 har den uttagbara värmemängden under vintern (dec. - mitten av april) uppskattats till totalt c:a 1.000 GWh under ett medelår. Av dessa faller c:a 500 GWh på området Lambar-Lövstafjärden och c:a 200 GWh på Klubbenområdet.

Den avgivna värmemängden blir minst 50% större (värmefaktor 3). Därtill kommer den värme som kan levereras under vår, sommar och höst, då värmekällan inte är begränsande.

4. Hydrologi och temperatur i Innerskärgården

Stockholms innerskärgård utgör förbindelsen mellan Mälaren och ytterskärgården. Inom Stockholms kommun ligger endast Saltsjön och Lilla Värtan men av hydrodynamiska skäl är det lämpligt att i detta sammanhang ta i beaktande hela området mellan Slussen, Norrström och Oxdjupet, Waxholm, se figur 1.

Området uppdelas i Stora Segelleden, den direkta förbindelsen mellan Saltsjön och Oxdjupet samt Lilla och Stora Värtan och Askrikefjärden, vilka omger Lidingö. Stora Segelleden utgör i stort sett ett sammanhängande djupområde på mellan 30 och 50 m djup. Vid Oxdjupet finns en tröskel på 20 m djup, vilken avgränsar djupvattnet från direkt kontakt med ytterskärgården. Sundens vid Waxholm har ett tröskeldjup av endast 8 m. Fjärdarna runt Lidingö har i allmänhet 20 - 30 m djup längs djuprännan. Trösklar finns dock både i Lilla Värtan med 16 m djup och i Askrikefjärden med 14 m djup. Inom Stora Värtan finns stora arealer med mindre än 10 m djup.

Vattenomsättningen, och därmed värmeomsättningen, i skärgården skiljer sig radikalt från den i Mälaren och andra insjöar. Innerskärgården utgör ett blandningsområde mellan sötvatten från Mälaren och saltvatten från Östersjön. Blandningen resulterar i en kraftig salt haltsskiktning med lättare, mindre salt vatten i ett 5 - 10 m tjockt yttskikt och därunder ett saltare skikt av Östersjökaraktär. Mellan dessa båda skikt finns ett skarpt salthalts-, och därmed densitetssprångskikt.

Genom salthaltsskiktningen förhindras den termiska konvektion, som i sötvatten ger höst- och våromblandning ända ned till botten, att tränga djupare än 5 - 10 m. av samma anledning förhindras värmeflödet från sedimenten på små djup att tillföras de djupare delarna utan kvarstannar i de ytliga vattenlagren. Värmeomsättningen i djupvattnet styrs därför i huvudsak av det horisontella vattenutbytet samt till någon del av diffusion

genom språngskiktet. Diffusionen är dock mycket svag p.g.a. den kraftiga densitetsskiktningen.

Vattenomsättningen är komplicerad och består av fyra nettoströmkomponenter som drivs av sötvattenutflödet från Mälaren samt av utsläppen av avloppsvatten från Henriksdal och Käppala, figur 6.

Överst finns ett utsötat skikt av mälurvatten utblandat med en viss del saltvatten. Detta skikt strömmar ut mot havet. Därunder finns en motriktad kompensationsström som blandas in i ytströmmen och bidrar till att höja dess salthalt. Den tredje strömmen är betingad av avloppsutsläppen från Henriksdal och Käppala och strömmar utåt. Avloppsvattnet utsläpps på 30 resp 40 m djup, varifrån det p.g.a. sin lägre densitet stiger uppåt under inblandning av vatten från omgivningen. Det så utspädda avloppsvattnet inlagras i språngskiktets underkant, där det breder ut sig och strömmar bort horisontellt. Den fjärde och understa strömmen, slutligen, utgöres av en ingåtgående kompensationsström som ersätter det vatten som inblandats i avloppsstrålarna.

Temperaturutvecklingen skiljer sig markant från den i Mälaren. Sommaruppvärmningen t.ex. tränger endast ned 10 - 15 m p.g.a. den starka salthaltsskiktningen. De största skillnaderna återfinns emellertid i djupvattnet och i språngskiktet. Under vintern är temperaturen högst i språngskiktet, på 5 - 15 m djup, figur 7. I månads-skiftet februari - mars är medeltemperaturen inom språngskiktet 3.2°C i L. Värtan och avtar något längre ut i skärgården. Därunder är temperaturen relativt konstant ned till botten med en medeltemperatur i febr.-mars av 2.6°C. Temperaturskillnaderna mellan olika år är stora, större än i Mälaren.

Temperaturen i djupvattnet är som högst under senare delen av hösten, nov. - dec., och sjunker sedan successivt under vintern. Minimum uppnås först i maj - juni. Orsaken till detta är den inströmning av östersjövattnet, som sker över tröskeln vid Oxdjupet, vilken successivt ersätter djupvattnet. Det tar emellertid minst en till två månader för detta vatten att strömma in till Stockholm, varför vi här får en kraftig fäsförskjutning av temperaturen.

5. Uttagspotential i Innerskärgården

Förutsättningarna för värmeuttag är under de flesta vintrar mycket gynnsamma genom att temperaturen i djupvattnet och i språngskiktet är god fram till dess att ytvattnet börjar värmas upp.

Om vi jämför med värmebudgeten i figur 4 finner vi att de viktigaste värmeflödena under vintern blir de horisontella transporterna Q_{in} , Q_{ut} och utbytestermen Q_{utb} . Kännedom om vattenomsättning och blandning under vintern blir således av största betydelse för att bedöma värmeuttagspotentialen.

I princip är det möjligt att utnyttja större delen av värmeinnehållet genom att fördela vattenintag och utsläpp så att vattnet får passera värmepumpar före utströmning ur området.

Värmeinnehållet i febr. - mars under ett "normalår" vid temperatursänkning till resp. 0°C, 0.5°C och 1.0°C ges i nedanstående tabell.

	Temperatursänkning till			
	0.0°C	0.5°C	1.0°C	
Språngskiktet	2120	1790	1460	GWh
Djupvattnet	1740	1400	1070	GWh
Totalt värmeinnehåll	3860	3190	2530	GWh

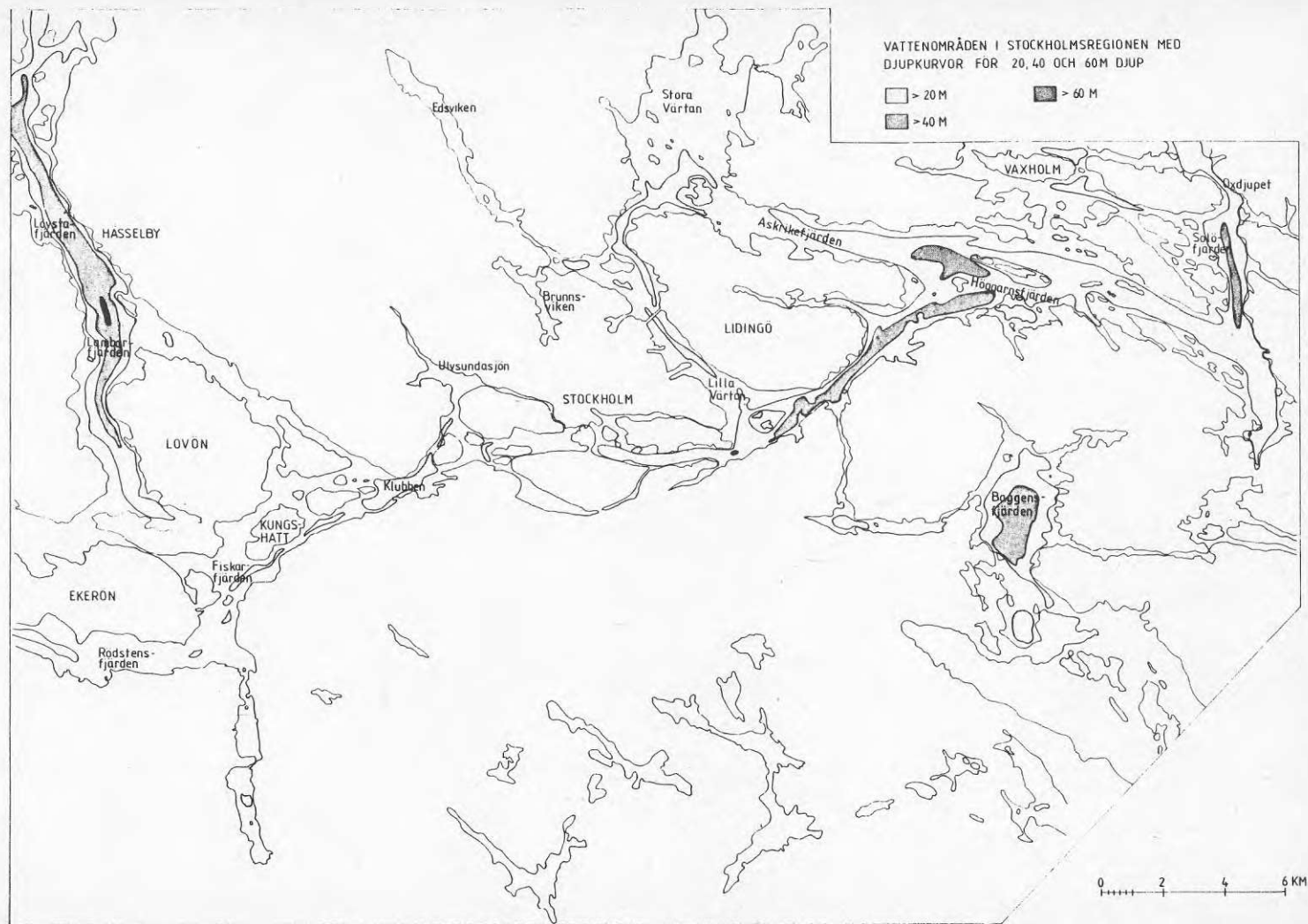
Denna beräkning baseras på temperaturprofiler för Fjäderholmarna vid L. Värtans mynning och överskattar värmeinnehållet något med hänsyn till att temperaturen avtar utåt i systemet. De redovisade värdena torde dock vara representativa något tidigare under vintern, då temperaturen i regel är högre. Det är inte orimligt att anta att värmeinnehållet vid årsskiftet är upp till 50% högre än i febr. - mars, och ännu något högre tidigare under vintern.

Inom de grundare delarna av skärgårdsområdet är temperaturen låg och man är här hänvisad till indirekta värmeupptagare av typ kylslangar på botten eller motsvarande. Värmeflödet från sedimenten kan här tas som mått på tillgänglig värmemängd. Inom området öster om Höggarn torde detta uppgå till i storleksordningen 200 - 300 GWh.

Sammanfattningsvis kan man under ett medelår ta ut maximalt c:a 3.000 GWh under perioden från årsskiftet till mitten av april, förutsatt att vattnet kan kylas till +0.5°C.

I likhet med vad som sagts om värmeuttag i Mälaren gäller att den avgivna värmen är minst 50% större än den upptagna samt att värmekällan inte är begränsande under sommar, vår och höst.

Fig 1 Vattenområden i Stockholmsregionen



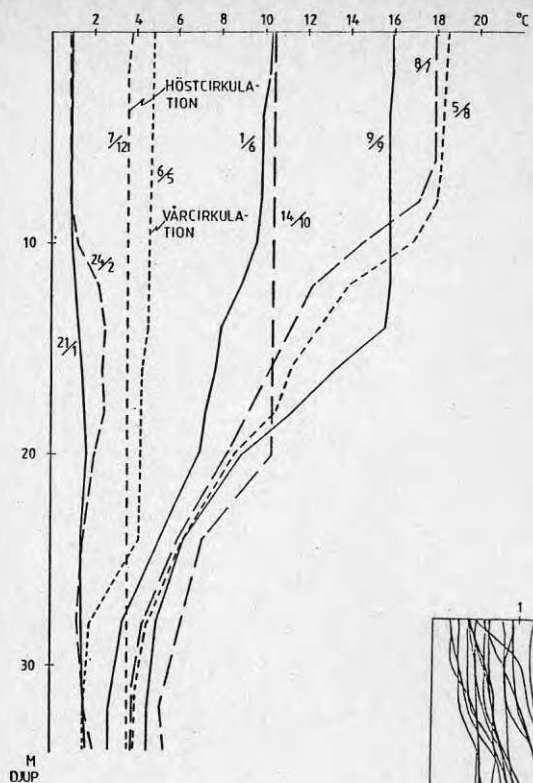


Fig 2
Temperaturprofiler
vid Klubben 1976

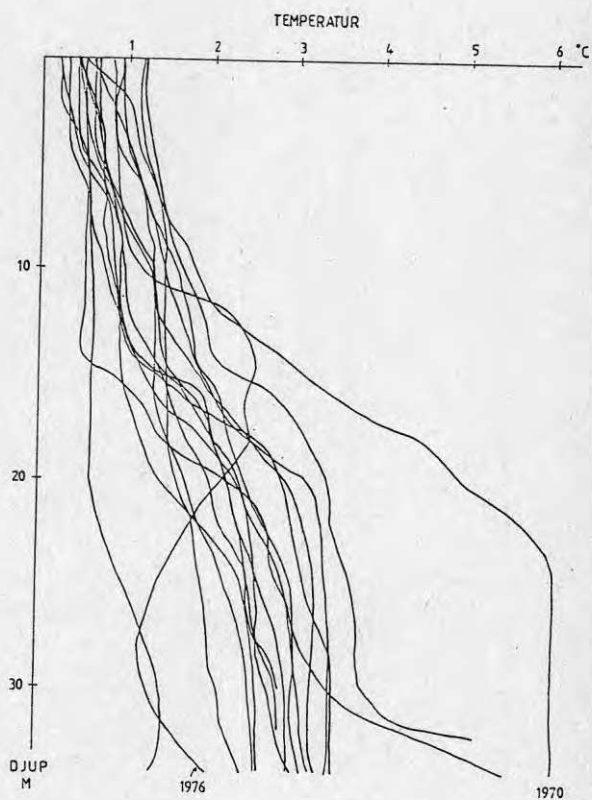


Fig 3 Temperaturprofiler vid Klubben.
Vintermätningar i febr.-mars
1963-1979

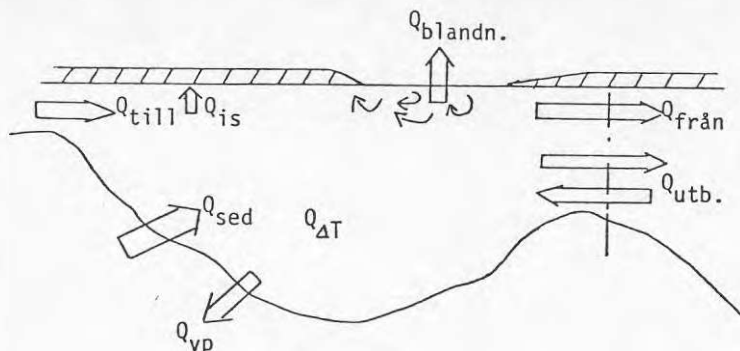


Fig 4 Värmebudget för ett ytvattenområde under vintern.
Pilarna avser värmeflöden.

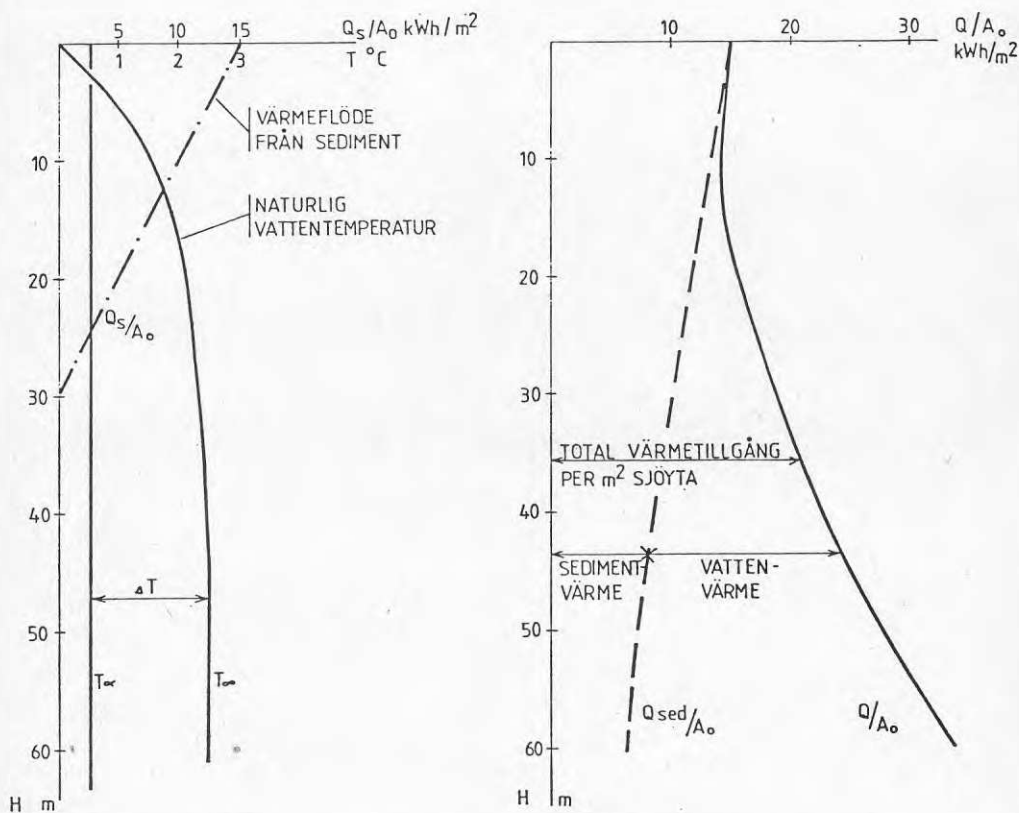


Fig 5 Beräknad tillgänglig värmemängd under vintern för sjöar med maximidjupet H . Beräkningarna förutsätter kylning till $+0,5^{\circ}\text{C}$ och det värmeflöde från sediment resp. den vattentemperatur som ges i det vänstra diagrammet. I det högra diagrammet visas beräknad värmemängd per m^2 sjöyta, samt uppdelning därav på sedimentvärme och sjövattnens värme.

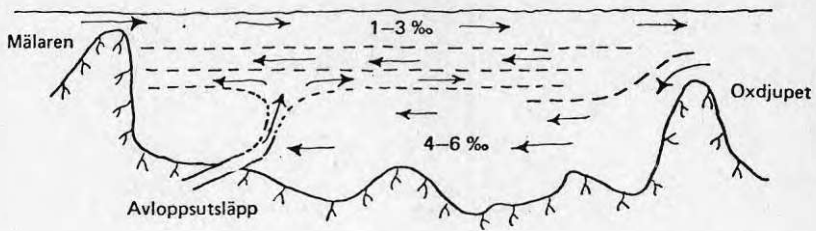


Fig 6 Vattenomsättning i Stockholms innersjärgård. Vattenflödena är ca $300 \text{ m}^3/\text{s}$ i ytskiktet och $100\text{-}150 \text{ m}^3/\text{s}$ i övriga skikt.

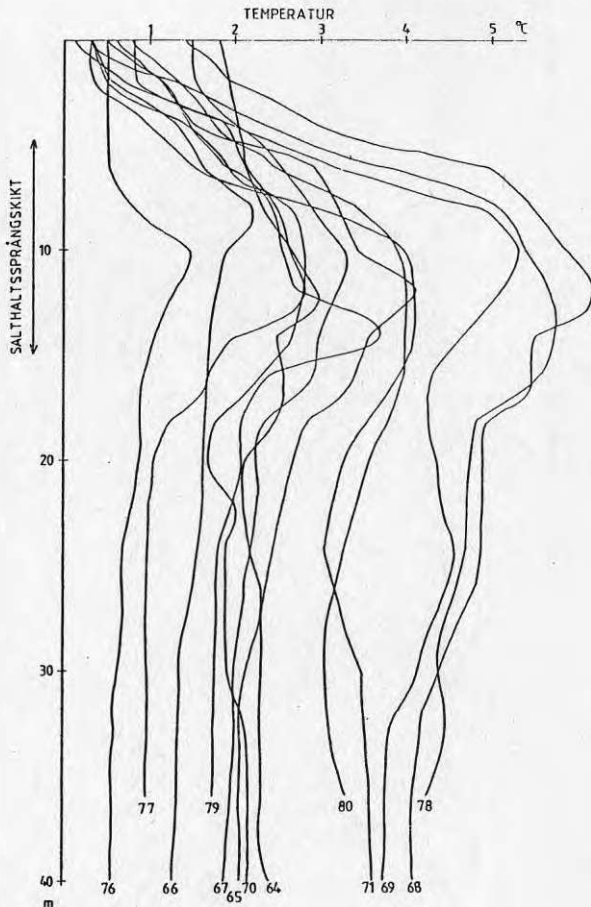


Fig 7 Temperaturprofiler vid Blockhusudden-Fjäderholmarna. Vintermätningar i febr-mars 1964-1980.

Seminarium om sjövärm - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Potential för värmeuttag från ytvatten i Stockholmsregionen

av Torbjörn Svensson

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Potentialen borde beskrivas som en funktion av vattentemperaturen. Varför har man infört en begränsning vid just $+0,5^{\circ}\text{C}$?

Svar:

Begränsningen till $+0,5^{\circ}\text{C}$ är i första hand införd med tanke på öppna system med strilförångare, vilka dimensioneras för en utgående temperatur av $+0,5^{\circ}\text{C}$. I utredningen finns dock även andra fall med högre och lägre temperaturer belysta.

Ändrade cirkulationsförhållanden i islagda sjöar vid värmeuttag

Lars Bengtsson, WREL

SYNOPSIS

I detta inlägg behandlas först cirkulations- och temperaturförhållanden i islagda sjöar. Därefter diskuteras hur dessa förhållanden ändras vid värmeuttag. Härvid skiljs på öppna och slutna system.

Effekter av öppna värmeuttagssystem kan någorlunda väl överblickas eftersom man då själv styr vattnets rörelse. Ett temperatursprångskikt kommer som regel att utbildas ganska nära ytan.

Effekter av slutna system är svårare att uttala sig om. Man kan självklart förvänta sig en nedkylning men också en homogenisering av bottenvattnets temperatur från botten och några meter uppåt.

PROBLEMSTÄLLNING

Värme inlagras under sommarhalvåret i sjöars ytvatten och botten-sediment. Denna värme kan utvinnas med hjälp av värmepumpsystem. Under själva sommarhalvåret är förutsättningarna för uttag gynnsamma. Då värme tas från ytvattnet blir vattenytans temperatur lägre än den temperatur som den skulle haft vid normal jämvikt med atmosfären. Därvid minskar utstrålningen. Vattenytan tillförs då ett relativt opåverkade förhållanden nettotillskott av värme från atmosfären. Den praktiska följderna av ett kontinuerligt värmeuttag blir att vattenytans temperatur sänks någon grad i förhållande till naturliga förhållanden, men ytvattentemperaturen intar ett nytt

jämviktsförhållande gentemot atmosfären. Det är alltså inte så att vattentemperaturen hela tiden reduceras.

Sötvatten har sitt densitetsmaximum vid 4°C. Under vintern finns därför det varmaste sjövattnet vid botten. Vid värmeuttag sänker man temperaturen på detta vatten. Någon komensation i form av nettovärmetillskott från atmosfären kan inte erhållas. Under vintern måste alltså ett eventuellt värmeuttag från en sjö baseras på den värmemängd som vid vinterns början finns i sjöns vattenmassa och dess bottensediment. Så länge värmeuttag görs måste värmeinnehållet i en sjöns vattenmassa och bottensediment hela tiden reduceras. Det förutsätts då och i den fortsatta diskussionen att en sjö isläggs vintertid endera naturligt eller på grund av ett stort värmeuttag.

Värmeuttag kan ske via öppna system, som innebär att vatten pumpas direkt till en värmepumps förångare. Under vintertid bör detta innebära att relativt varmt bottenvatten pumpas till en värmepump och därefter släpps ut som nollgradigt vatten nära vattenytan.

Värme kan också utvinnas med hjälp av slutna system. I kylslingor cirkulerar ett medium som tar upp värme från vattnet eller, om kylslingorna är nedgrävda i sedimenten, från bottensedimenten. Under vintertid bör detta innebära att bottenvattnet blir kallare och därmed lättare. Det bör alltså stiga uppåt och ersättas med omgivande vatten.

Vattnet i en islagd sjö är omvänt skiktat. Vid värmeuttag från bottenvattnet induceras därför en strömning. I detta inlägg görs ett försök att bestämma hur vattencirkulation och temperaturförhållanden påverkas vid värmeuttag i istäckta sjöar. Uttag från öppna och slutna system särskiljs.

NATURLIGA TEMPERATUR- OCH CIRKULATIONSFÖRHÅLLANDEN UNDER IS

Sedan isen växt till sig är en sjö ganska väl skyddad mot värmeförluster till atmosfären. Även ett litet värmefflöde från bottensedimenten värmer då under vinterns lopp upp sjövattnet något.

Föreligger ingen genomströmning av kallt älvvatten kan vid tidig isläggning på hösten vattnets temperatur under senvintern till och med vara nära 4°C från botten ända upp till nära isytan.

I sjöar med stor genomströmning inlagras älvvattnet under vintern mellan isytan och en nivå som bestäms främst av geometrin vid älvens inlopp men delvis också av temperaturskiktningförhållandena i sjön. Ett språngskikt utbildas. Under detta förblir vattnet ganska opåverkat av den genomströmmande älven. Bottenvattnet kan i stället värmas upp under vintern genom värmeavgivningen från botten-sedimenten.

Resultat från en temperaturmätning från Prästholmslet i Råne älv visas i Figur 1. Värmeinnehållet motsvarade cirka 3°C över 5 m djup eller cirka 18 kWh/m^3 . Fördelat över 6 månader motsvarar detta ett effektuttag på drygt 4 W/m^2 .

Värmeavgivningen från botten-sedimenten är vintertid i svenska sjöar cirka $1\text{-}3 \text{ W/m}^2$. Värme-flödet avtar under vinterns lopp. Om en sjö skall tjäna som enda källa för uppvärmning av ett villaområde och om sjöns yta är lika stor som bostadsområdets yta behöver värmeuttaget från sjön över året vara så pass stort som 4 W/m^2 . Hela

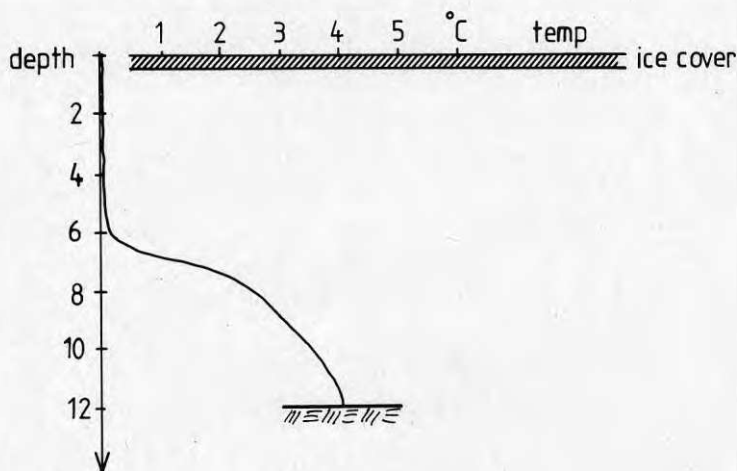


Fig. 1. Temperaturprofil i Prästholmslet, 1 april 1977.

vinterns behov behöver naturligtvis inte utvinnas under själva vintern. Utvunnen värme från sjövatten nära vattenytan kan lagras från sommar- till vintertid i t ex någon form av berglager.

I en istäckt sjö genereras strömmar av tillflöden och dessutom av sådan värmertilförsel som ger upphov till konvektionsströmmar. När vatten med temperatur nära fryspunkten uppvärms blir det tyngre. Det sjunker då nedåt och tränger undan kallare bottenvatten. Då detta vatten blir varmare blir det också tyngre och rinner därför längs botten mot sjöns djupdelar. Beroende på en sjös storlek och morfometri kan flera konvektionsceller uppstå.

Då en älv strömmar genom en islagd sjö kan man utifrån en ganska enkel analys ge värden på det djup över vilket genomströmningen äger rum och bestämma hur mycket sjövatten som dras med det genomströmmande älvvattnet. Problemet har i Skandinavien analyserats av Stigebrandt (1978) och Larsson (1979). Larssons mätningar och teoretiska analys visar att språngskiktet sänks under vinterns lopp men efter cirka 2 månader ställer in sig på en viss nivå. Analysen har utvecklats något av Bengtsson (1982).

Värmeavgivning från bottensediment inducerar strömmar genom att bottenvatten värms upp också i andra delar av sjön än de allra djupaste. Det så uppvärmda vattnet blir härvid tyngre och rinner längs botten mot de djupaste delarna av sjön, där annat vatten tvingas uppåt. Numeriska simuleringar tyder på att de sålunda inducerade strömmarna lateralt sjön Velens knappt 1 km breda bäcken är cirka $1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Mätningar visar att det i longitudinell riktning i denna cirka 7 km långa sjö finns markerade temperaturgradienter, vilket tyder på att konvektionsströmningen är långsam och att konvektionscellerna har begränsad utsträckning.

Det är mycket svårt att direkt mäta de konvektiva strömmarna i en sjö. Mätningar av vertikala hastigheter förknippade med konvektionsströmmar i en istäckt sjö har redovisats av Likens och Ragotzkie (1965). De uppmätta vertikala hastigheterna var av storleksordningen $10^{-6} - 10^{-7}$ m/s. Om den horisontella utbredningen av en konvektions-

cell är 100 gånger den vertikala skulle detta motsvara horisontella hastigheter på $10^{-4} - 10^{-5}$ m/s, dvs cirka 1-10 m/dygn. Thandertz, L. (NGUU muntligt vid IHP-möte 1981) har funnit att färg utsläppt i diskreta punkter i grunda sjöar av storlek någon km^2 hinner sprida sig över sjöarnas hela vattenmassa inom loppet av någon månad. Om färgen sprids med konvektiva strömmar skulle strömhastigheten motsvara ett tiotal m/dygn.

I ett försök att analytiskt utvärdera den av sedimentvärmefflödet inducerade strömningen antog Bengtsson (1982) att en tunn densitetsström utbildas och rinner längs botten mot de djupare delarna av en sjö. Han fann då att densitetsströmmens hastighet kunde ges av uttrycket

$$v = (WL)^{1/3} (\rho c_p)^{-1/3} (\alpha g)^{1/3} \quad (1)$$

där v = densitetsströmmens hastighet, W = värmefflödet från sedimenten, L = den sträcka densitetsströmmen rör sig över, ρ = vattnets densitet, c_p = vattens specifika värmekapacitet, α = vattnets termiska volymsutvidgningskoefficient, g = tyngdaccelerationen.

Relevanta värden kan vara $W = 2 \text{ W/m}^2$, $L = 500 \text{ m}$, $\alpha = 2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Inför dessa värden i ekv (1) erhålles hastigheten 3.5 mm/s eller 300 m/dygn, vilket är upp mot en 10-potens högre än vad den tidigare diskussionen ledde fram till. I själva verket bör också ett densitetsströmsantagande ge för höga såväl strömmar som temperaturdifferenser. Det uppkommer nämligen i praktiken inte en enda stor konvektionscell utan det bildas en rad mindre celler och virvlar.

Fortsätter man, trots vad som ovan sagts, diskussionen om densitetsströmningen så ger en ren dimensionsbetraktelse att vertikalhastigheten måste vara

$$w \sim (h/L) (\alpha g W / \rho c_p)^{1/3} \quad (2)$$

där h = djup eller den vertikala utsträckning som konvektionsströmningen har. Med värden enligt tidigare exempel erhålles vertikalhastigheter av storleksordningen m/dygn. I analogi med vad som sades

om den horisontella hastigheten är det rimligt att anta att den vertikala hastigheten är lägre i ett praktiskt fall än vad beräkningarna här visat. Vad som är av intresse är emellertid hur sjöns storlek och hur värmeflödet från sedimenten påverkar konvektionsströmmarna. Med hjälp av ekv (1) och (2) borde man kvalitativt kunna göra förutsägelser om effekter av framför allt ändrade sedimentvärmeförhållanden.

Den konvektiva hastighetsskalan vid renodlad flytkraftsgenererad konvektiv strömning med densitetsunderskottskällan vid den lägsta nivån är

$$w_* = (\alpha g W_d h / \rho c_p)^{1/3} \quad (3)$$

där w_* = den konvektiva vertikala hastighetsskalan och W_d = ett värmeflöde som motsvarar ett densitetsunderskott. Uttrycket är ju mycket likt ekv (1) och (2). Man kan visa att hastighetsskalan är proportionell mot vertikalhastigheten vid utgångsnivån (källans nivå).

Sammanfattningsvis kan man säga att värmeflödet från sedimenten genererar strömmar så att vatten rör sig längs botten mot en sjös djupdelar. Denna horisontalhastighet beror av sjöns dimension och av värmeflödets storlek. Horisontalhastigheten är minst av storleken 10 m/dygn. Storleken på den kompenserande vertikalströmmen är svårare att uttala sig om. I detta avsnitt har framförts vissa ideer, vilka kommer att diskuteras i kapitel längre fram om inverkan av värmeuttag på cirkulationsmönstret.

VÄRMEUTTAG UR SJÖAR MED STOR GENOMSTRÖMNING

Sjöar med stor genomströmning är som visats i Figur 1 markerat skiktade under vintern. Vid värmeuttag med öppna system pumpas bottenvatten sedan dessa värmeinhåll utnyttjats ut i sjöns yt-skikt. Eftersom det redan finns en genomströmning i ytskiktet är det enkelt att anlägga ett utsläpp från värmepumpen så att turbulensförhållandena i ytskiktet knappast alls avviker från de naturliga. Så länge ett språngskikt är stabilt borde det helt enkelt förflyttas nedåt som som skisserats i Figur 2. Språngskiktets nedträng-

ningen kan uttryckas enligt

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{Q_p}{A} = \frac{W_p}{\rho c_p T_p} \quad (4)$$

där D = språngskiktets djup, t = tid, Q_p = vattenflöde till värmepump, A = sjöns area.

För effektuttaget 4 W/m^2 och temperaturreduktionen $2,5^\circ\text{C}$ blir nedträngningshastigheten 1 m/månad .

Efter det att ett språngskikt förflyttats tillräckligt långt ner, säg från 5 till 8 meter, är det svårare att uttala sig om dess fortsatta utveckling. En större area av epilimnion är exponerad för värmetilflöde från bottensediment. Större delen av detta värmeflöde blandas troligen in i epilimnionvattnet och förs ut ur sjön med älvflödet. Om strömhastigheten i epilimnion är mycket låg kan man

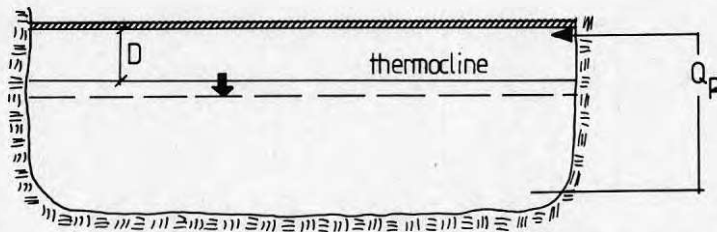


Fig. 2. Förenklad beskrivning av värmeuttag genom pumpning av vattenflödet Q_p i ett öppet värmepumpsystem. Språngskiktet förflyttas nedåt.

emellertid tänka sig att av sedimenten delvis uppvärmt vatten förs genom språngskiktet och därvid bidrar till att hålla upp språngskiktets nivå. Detta innebär också att temperaturgradienten över språngskiktet minskar.

Vid öppna system styr man själv ett visst flöde och det är därför möjligt att i viss utsträckning också styra temperaturförhållanden i den riktning man önskar. Effekten av värmeuttag med slutna system är svårare att bedöma, enär strömningen i sjön genereras indirekt genom värmeuttag och av detta förorsakat densitetsunderskott. För en genomströmningssjö med skarpt markerat språngskikt torde dock en enkel analys kunna föra ganska långt. Förhållandena i hypolimnion påverkas ju mycket litet av en genomströmmande älv och eventuella värmeflöden till epilimnion bör föras bort av älvvattnet. Vid värmeuttag vid botten uppstår ett densitetsunderskott och en uppåtgående strömning genereras. Denna ström ger i sin tur upphov till nedåtgående kompensationsströmmar. Det är därför rimligt att räkna med att allt vatten under språngskiktet blir homotermt. I en genomströmningssjö är språngskiktet så skarpt att inte ens ganska starka konvektionsströmmar torde kunna påverka det. Endast hypolimnionvattnet torde alltså påverkas av ett värmeuttag. Temperaturen i hypolimnion avtar vid värmeuttag enligt

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{W_p - W}{\rho c_p D_2} \quad (5)$$

där T_2 = temperatur i hypolimnion, D_2 = medeldjup - utbredning av hypolimnion, W_p = effektuttag per ytenhet, W = värmeflöde från sedimenten.

Som exempel väljs en 10 m djup sjö med ett språngskikt på nivån 5 m. Bottenvattnet antages vara 3°C. Effektuttaget sätts till 3 W/m². Värmeflödet från sedimenten är 1 W/m². Efter 4 månader har temperaturen i hypolimnion reducerats till 2,0°C.

VÄRMEUTTAG UR SJÖAR UTAN GENOMSTRÖMNING

I en sjö utan genomströmning finns vintertid normalt inget markerat språngskikt utom möjligen mycket nära isytan. Vattentemperaturen ökar ganska jämnt mot botten. När man pumpar upp relativt varmt bottenvatten och släpper ut detta nedkylt nära isytan blir inverkan av detta förfarande större i en sjö utan än i en med genomströmning beroende dels på att man vid utsläppet genererar en omblandning som inte som vid fallet med en inträngande älv redan finns, och dels på att ytvattnet inte som i en genomströmningssjö är homotermt nollgradigt.

Det nedkylda bottenvattnet bör tillföras ytvattnet på ett sådant sätt att skiktningförhållanden inte störs mer än önskvärt. Eftersom det utsläppta vattnet är nära 0°C bör utsläppet ske nära ytan, så att man i varje fall undviker omblandning på grund av flytkrafter. Enklast är väl att ordna ett utsläpp på ett grunt område. Därvid simuleras ju utsläpp från en älv och utsläppets rörelsemängd kan dissipera genom friktion mot botten.

I ett öppet system sugs bottenvatten mot ett intag. Strömningen borde kunna beskrivas som en potentialströmning. Vattnet närmast det djup som uttaget sker på påverkas, men vattnet högre upp påverkas inte av själva insugningen, eftersom några konvektiva strömmar inte genereras. Däremot sker ju vid ideala friktionsfria in- och utloppsförhållanden hela tiden en "förflyttning nedåt av temperaturprofilen", eftersom vatten pumpas från botten till ytskiktet.

Stora utsläpp av nära nollgradigt vatten i ytan av en istäckt sjö måste medföra att ett språngskikt utbildas och att detta språngskikt förflyttas nedåt efterhand som allt mer nollgradigt vatten släpps ut nära ytan. Utsläppsvattnet flyter ut under isytan och tillväxer efterhand i tjocklek. Ett språngskikt utbildas över hela sjön då utsläppet påverkar hela vattenmassan ner till nedersta omblandningsnivån vid utsläppet. Denna nivå kan man bestämma genom att förlägga utsläppet på önskat sätt. Tiden som erfordras för att ett språngskikt skall utbildas på denna nivå beror av omblandningsförhållandena vid utsläppet.

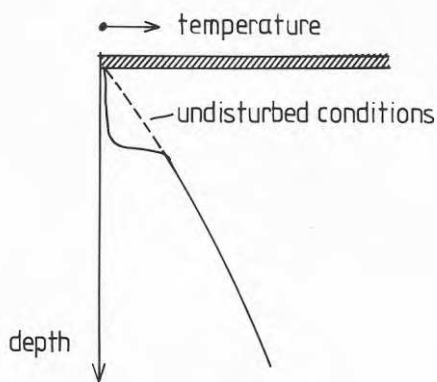


Fig. 3. Förenklade temperaturförhållanden i en sjö utan genomströmning när värme tas ut med ett öppet system.

Temperaturprofilen i en sjö borde vid värmeuttag med öppet system i princip ändras så som visas i Figur 3. Språngskiktet förflyttas nedåt.

Man kan inte generellt uttala sig om vilka konvektionsströmmar som uppstår då man skapar densitetsunderskott i en istäckt sjö utan genomströmning men med mot botten ökande temperatur. För en noggrann analys behöver man göra simuleringar med en tillförlitlig numerisk modell för olika sorters sjöar. Det är dock i viss mån möjligt att genom en jämförande analys med inverkan av sedimentvärmeavgivning dra vissa slutsatser också om hur kylning av bottenvattnet påverkar cirkulations- och temperaturförhållandena i en sjö.

Det visades tidigare att de av sedimentvärmefflödet skapade strömhastigheterna i en sjö var proportionella mot sedimentvärmefflödet upphöjt till $1/3$. Det sedimentuppvärmda vattnet rör sig mot en sjös centrala delar. Om den area över vilken uppåtgående strömmar utbildas är $1/5$ av den area över vilken vattnet rinner längs botten kan man se sedimentvärmefflödet på $1-3 \text{ W/m}^2$ som ett fiktivt effektuttag på $5-15 \text{ W/m}^2$ över sjöns djupdelar. Tänker man sig till detta ett lika stort effektuttag via ett värmepumpsystem, så blir den densitetsunderskottsskapande effekten fördubblad. Den vertikala hastigheten ökar emellertid endast med en faktor 1,3. Om man enbart

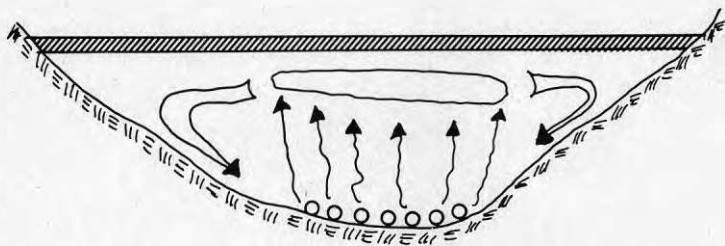


Fig. 4. Mycket tätt placerade kylslingor förorsakar en uppåtgående strömrörelse över ett stort område.

beaktar ökningen av densitetsunderskottsbidrag till bottenvattnet påverkas alltså inte cirkulationsförhållandena och därmed inte heller temperaturförhållandena, fränsett sänkning av bottenvattnets temperatur, i någon större utsträckning av att bottenvattnet kyles. Just den ovan skisserade situationen med en i sjöcentrum över en stor yta uppåtriktad rörelse, så som visas i Figur 4 och som i princip är en förstärkt sedimentvärmeflödesinducerad cirkulation, kan uppstå om kylslingorna på sjöbotten placeras mycket nära varandra.

Normalt får man dock räkna med att det ovanför varje kylslinga uppstår en plym och att det sker återcirkulation mellan plymerna. Hela vattenmassan i sjön bör oavsett hur kylslingorna placeras bli ganska homoterm. Den mera storskaliga strömningen utanför vattenmassan i den centrala delen av en sjö verkar i utjämnande riktning på de termiska förhållandena i sjön. Överförenklat kan man anta att den naturliga temperaturprofilen helt enkelt "skärs av" så som visas i Figur 5. Den energi som tas ut motsvaras då av temperaturreduktionen under tiden från isläggning över djupet från botten till omblandningsnivån plus det bidrag som erhålles från sedimentvärmem.

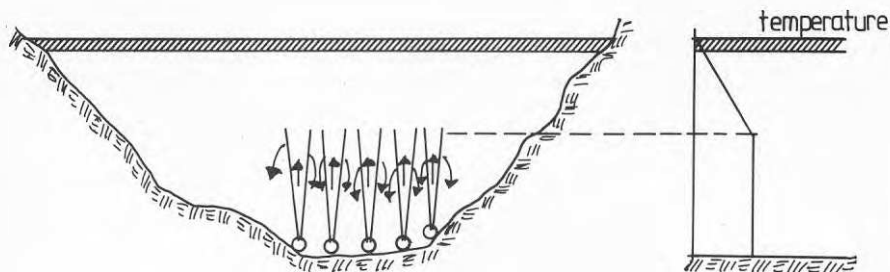


Fig. 5. Strömmönster i ett system av polymer orsakade av kylslingor på botten av en sjö. Förväntad temperaturprofil vid värmeuttag med slutet system i sjö utan genomströmning.

Följande samband skulle alltså grovt gälla

$$W_p t - Wt = \rho c_p \int_{z^1}^D (T_0(z) - T(z)) dz \quad (6)$$

där W_p = värmeuttag per tids- och ytenhet, W = sedimentvärmefflöde, t = tid, D = djup, z = vertikal koordinat riktad nedåt, z^1 = "omblandningsnivå", $T_0(z)$ = temperaturprofil vid isläggning, $T(z)$ = temperaturprofil vid tiden t .

Som exempel väljs en 6 m djup sjö med vid isläggning mot botten linjärt ökande temperatur till 3°C . Värmefflödet från sedimenten är 1 W/m^2 och effektuttaget med värmepump 3 W/m^2 . Den nivå upp till vilken vattnet blir helt homotermt kan då med hjälp av ekv (6) beräknas till 3 och 1,6 m efter 2 respektive 4 månader. Bottenvattnets temperatur efter motsvarande tider blir 1,5 respektive $0,8^{\circ}\text{C}$. Efter 4 månader närmar sig alltså hela sjöns vattenmassa 0°C temperatur.

SLUTSATSER

Det har i detta inlägg visats att konsekvensen av måttliga värmeuttag ur sjöar är begränsad i varje fall för sjöar med stor genomströmning. Vid värmeuttag med öppna system kan man i viss utsträckning styra temperaturförhållandena i en sjö i den riktning man själv önskar. För slutna värmepumpsystem i små sjöar erfordras bättre kunskaper om cirkulationsförhållanden under is innan några vittgående slutsatser om konsekvenser av eller ens de mera generella tekniska möjligheterna för värmeuttag vintertid kan dras.

De grova beräkningar som gjorts här har visat att vid öppna värmeuttagssystem utbildas ett språngskikt som under vinterns lopp rör sig nedåt. Vid slutna system nedkyls bottenvattnet samtidigt som det homogeniseras.

REFERENSER

- Bengtsson, L. (1982) Inverkan av värmeuttag på temperatur- och cirkulationsförhållanden i istäckta sjöar. - Tidskriften Vatten nr 1-1982, s. 3-16.
- Larsson, R. (1979) Temperaturskiktning i istäckta sjöar. - TULEA 1980:05, WREL, publ. Serie A nr 36.
- Likens, G.E. & R.A. Ragotzkie (1965) Vertical Water Motions in a Small Ice-Covered Lake. - J. Geophys. Res. 70 (10), pp. 2333-2344.
- Stigebrandt, A. (1978) Dynamics of an Ice-Covered Lake with Through-Flow. - Nord. Hydrol. 9(3), pp. 219-244.

Seminarium om sjövärm - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Ändrade cirkulationsförhållanden i islagda sjöar vid värmeuttag

av Lars Bengtsson, Högskolan Luleå

Fråga från: Torbjörn Svensson, VIAK Göteborg
Uttag med öppet system i icke-genomströmningssjö. Ger inte detta en språngskiktssänkning pss som i genomströmningssjöar?

Svar:

Jo, i princip. Förhållandena just kring språngskiktet blir emellertid lite annorlunda. Föreligger inte någon genomträngning borde inte språngskiktet påverkas genom medrivning.

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Hur stora är naturliga vindinducerade spridningshastigheter i en sjö utan genomströmning?

Svar:

Jag hänvisar till min refererade artikel i tidskriften Vatten 1982/1. Den strömningsrörelse som man kan tänka sig är en seiche-rörelse. En vind tvingar vattenytan att snedställa sig varvid också isen kommer att luta relativt ett absolut horisontalplan. Även om en sjö är så lång som 10 km blir uppstuvningen kanske endast 1 mm. Då vinden slutar blåsa strävar vattenytan efter att återta sitt horisontalläge. Vattenmassa förflyttas då. De härvid involverade vattenhastigheterna blir någon mm/sek, men en partikel rör sig i en viss riktning med denna hastighet endast någon minut varefter partikeln rör sig i motsatt riktning. P.g.a. friktion mot is och botten dämpas denna fram- och tillbakarörelse snabbt kanske efter mindre än 1 timme. Den horisontella strömhastigheten, V , blir

$$V \sim W^2 \frac{L}{h} \frac{1}{(gh)^{\frac{1}{2}}}$$

där W = vindhastighet, L = sjöns längd, h = djup, g = tyngdacceleration. Proportionalitetsfaktorn är cirka 10^{-6} . Strömmen vänder efter halva svängningsperioden. Svängningsperioden är ju

$$T = 2L/(g)^{\frac{1}{2}}$$

För t.ex. $W = 10$ m/sek, $L = 10$ km, $h = 10$ m blir $v \approx 0,01$ m/sek och $T = 2000$ sek = $\frac{1}{2}$ timme. Innan strömmen vänder har alltså en partikel rört sig cirka 10 m. Vid friktionsfria förhållanden står den och svänger fram och tillbaka över 10 m sträckan. I verkligheten dör strömmen fort ut, kanske så fort att partikeln inte rör sig tillbaka. Ju större friktionen är desto större blir spridningen men alltså bara under en ganska kort tid.

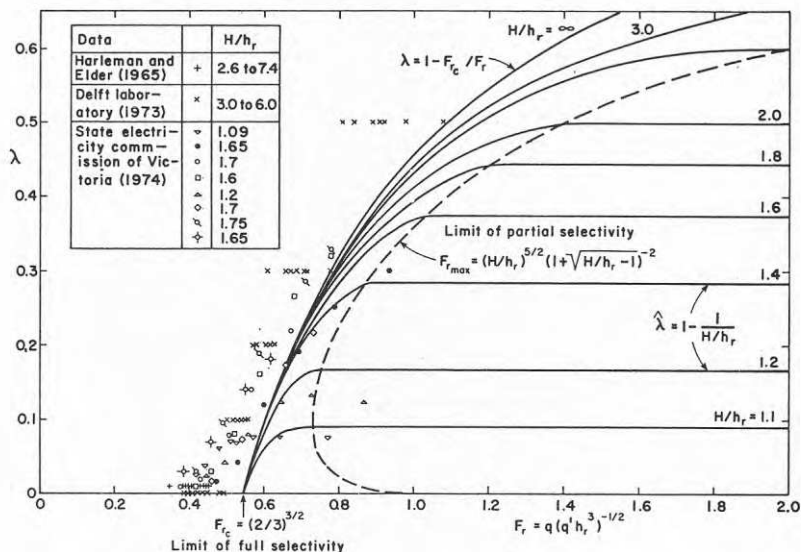
LOKAL RECIRKULATION MELLAN INTAG OCH UTSLÄPP VID SJÖVÄRME-ANLÄGGNINGAR

Bengt Vasseur, Vattenfall, Älvkarlebylaboratoriet

I normala fall bör det gå att undvika problem med recirkulation vid en sjövärmepump om recirkulationsbedömningar görs på ett tidigt stadium i planeringen. Vid undersökningen bör man särskilt studera utformningen av intag och utsläpp, placeringen av dessa samt förhållandena i recipienten.

Vattenintag från en sjö sker vanligen via en kanal vid stranden för ytintag eller via en sprängd tunnel eller en längs botten utlagd tub vid djupintag. För att sjövärmepumpen skall få den mest effektiva användningen måste framför allt vintertid vattnet tas från rätt nivå, sk "selective withdrawal".

Det är möjligt att använda enkla formler vid uppskattningen av hur mycket vatten som fås från varje lager om sjöns densitetsförhållande approximativt kan liknas vid två homogena lager med ett skarpt språngskikt emellan. Jirka (1979) t ex studerade "selective withdrawal" i en tvärskiktad kanal. Han jämförde sina teorier med experiment av andra och fann en god överensstämmelse, se figur 1.



Figur 1. "Selective withdrawal" i en kanal. Jämförelse med experiment (Jirka 1979).

$$\lambda = \frac{q_1}{q}$$

q_1 = flöde per längdenhet från övre lagret

q = totalt flöde per längdenhet

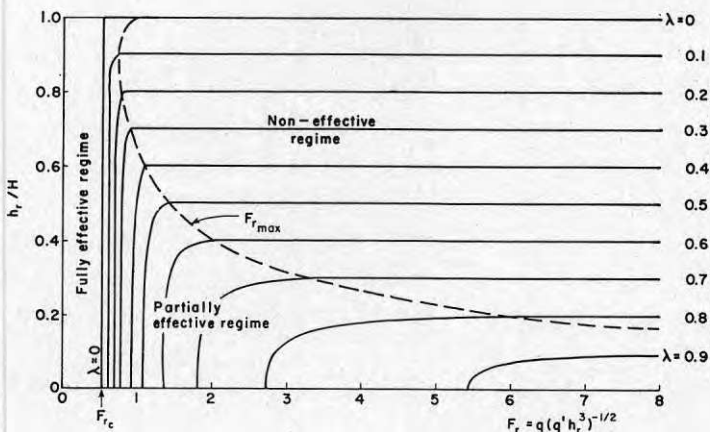
H = vattendjup i kanalen

h_r = undre lagrets tjocklek då inget flöde förekommer i kanalen

$$g' = \frac{\Delta\rho}{\rho}$$

$\Delta\rho$ = densitetsskillnad mellan lagren

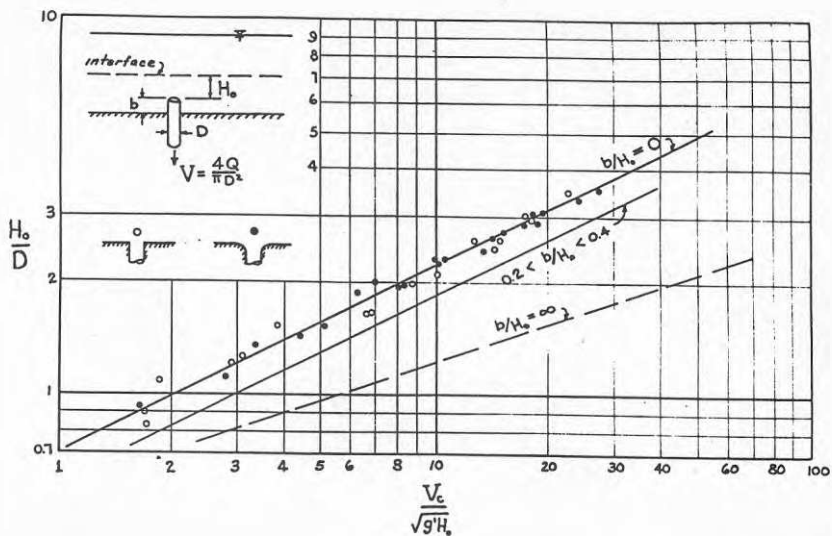
Ur sina relativt enkla teorier baserade på Bernoullis ekvation skapade Jirka ett effektivitetsdiagram som är ett värdefullt planeringsverktyg eftersom det är lätt att gå in i det och konstatera hur selektivt ett planerat intag tar vatten från det undre lagret.



Figur 2. Effektivitetsdiagram för en kanal (Jirka, 1979)

Observera att det finns ett maximalt flöde, q_{max} , som enbart tar vatten från undre lagret. Enligt figur 2 är detta oberoende av intagets höjd så länge som det understiger ett visst kritiskt djup ($\frac{2}{3}h_r$). Dessutom är q_{max} oberoende av kontraktionskoefficienten, dvs om intaget har rundade kanter eller ej. Figuren visar också att relativt små förändringar i densiteten eller i lagrens tjocklek kan orsaka stora förändringar i intagets selektivitet.

Oftast är emellertid det varma vattnet på så stort djup vintertid att den här typen av intag inte är praktiskt möjligt. Intaget placeras då vid botten en bit ut från stranden. Då är det bättre, att använda resultaten från experiment med axisymmetriska bottenintag, som Harleman, Morgan och Purple (1959) redovisat. De använde sig av samma grundläggande resonemang som Jirka och fann att även här var det maximala flödet oberoende av intagets dimensioner och av kontraktionskoefficienten.



Figur 3. Maximal intagshastighet för ett axisymmetriskt bottenintag. Experimenten är utförda med olika konstruktionskoefficienter och höjd ovan botten. (Harleman, Morgan och Purple, 1959).

Dessa experiment gällde två homogena lager åtskilda av ett tunt, markant språngskikt. Så ser det tyvärr sällan ut i våra sjöar. Mer realistiska kan därför ibland de studier vara, som Brooks och Koh (1969) gjorde med linjär densitetsökning. Undersökningar i en kanal visade att maximalt flöde för selektivt intag inom djupet h ges av:

$$q_{\max} = 0.28 gE h^2$$

där

$$E = - \frac{1}{\rho_0} \frac{d\rho}{dz} = \text{konstant}$$

Utgående från samma enkla grundläggande ekvationer, som i ovan citerade undersökningar, erhöll Brooks och Koh ett något högre teoretiskt värde (0.32) på konstanten. Skillnaden är inte större än att man kan konstatera att dessa enkla teorier ger användbara tumregler vid bedömningen av intagens effektivitet.

Även situationer med två homogena lager åtskilda av ett mer realistiskt språngskikt med stor vertikal utbredning har studerats till en del. Jirka och Katavola (1979), som utförde en sådan studie, placerade tyvärr det runda intaget i en vertikal vägg högt ovanför botten, en placering som nog sällan kommer att förekomma i våra fall. Trots det är deras resultat av ett visst värde.

På önskelistan står alltså experiment med axisymmetriska intag placerade vid och något ovanför botten, dvs som i Harleman, Morgan och Purples experiment, men med olika slags vertikala skiktningar. Effekten av intagsöppningens höjd och kontraktionskoefficient kan behöva kontrolleras för säkerhets skull.

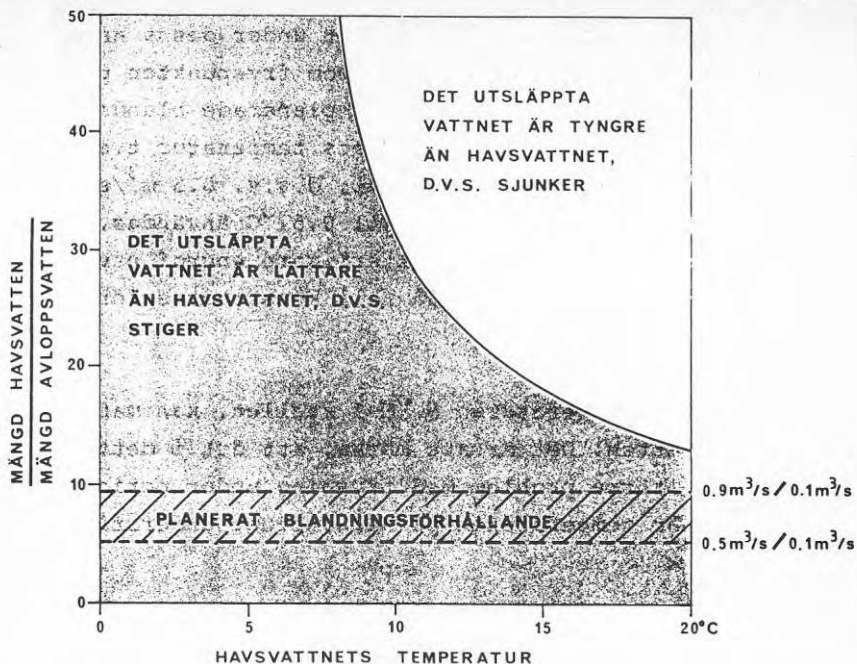
Också utsläpp sker ju både vid ytan och på större djup. Vid värmeuttag ur sjöar vintertid vill man naturligtvis undvika en nedblandning av kallt vatten i de varma djupområden varifrån vattnet tas. Därför är ytutsläpp intressantast i detta fall.

I likhet med problemen kring "selective withdrawal" har ett flertal teoretiska och experimentella studier gjorts för jetstrålar. En av de mest användbara modellerna utarbetades av Prych (1972). Han utnyttjade det faktum att skillnaden i temperatur och strömstyrka mellan en fri jetstråle och omgivande vatten efter ett kort initialskele är normalfördelat i sid- och djupled. Härmed kunde han via integration förenkla modellen avsevärt. Senare har Shirazi och Davis (1974) samt Vasseur (1979) förbättrat modellen ytterligare bl a med hjälp av laboratorie- och fältdata.

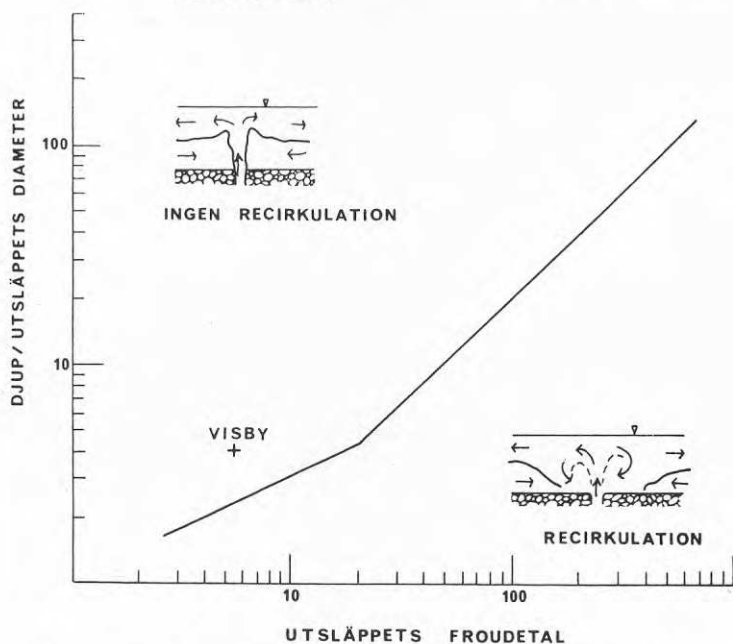
Dessa sk integralmodeller är enkla att handha och billiga att använda men har tyvärr några besvärliga begränsningar. Ofta kan det vara fördelaktigt att släppa ut det nerkylda vattnet från sjövärmepumpen så att det i så liten utsträckning som möjligt skall störa skiktningen i sjön. Då bör utsläppshastigheten vara så låg som möjligt och dessutom bör utsläppet ske i ett grundområde där bottenfriktionen kan bidra till ytterligare reduktion av rörelsemängden. Detta fall är olämpligt att studera med dessa modeller eftersom de bl a kräver att plymen släpps ut i djupt vatten. Dessutom är de specialkonstruerade för att studera utsläpp med hög utsläppshastighet.

Ibland kan det dock förekomma att man valt att placera intaget vid ytan och utsläppet vid botten. Detta gäller främst i de fall då det homogena ytskiktet sträcker sig så djupt att det inte är ekonomiskt möjligt att dra ledningar till de varmare lagren eller att de varma lagren rent av är för små för att komma i fråga. I dessa fall kan naturligtvis inget uttag ske under islagd tid. Ett exempel på detta är Visbys havsvärmepump. För att nå varmare lager krävs att intaget placeras på minst 60 m djup, vilket i sig kräver kilometer långa ledningar.

Vid dessa fall vill man istället ha så god utspädning som möjligt. Därför är utsläpp med högre hastigheter att föredra. Dessutom bör utsläppsriktningen givetvis vara riktad från intaget. Faran för recirkulation är emellertid stor endast om det utsläppta vattnet har lägre densitet än det omgivande vattnet. Eftersom det utsläppta vattnet har lägre temperatur än det omgivande vattnet är det bara vintertid straxt innan isläggning och efter islossning som enbart en temperatursänkning kan ge lättare vatten. I Visbyfallet skall havsvattnet dessutom kombineras med sött avloppsvatten och därmed kommer det utsläppta vattnet att vara sötare och därmed lättare än recipientvattnet, se figur 4.



Figur 4. Densiteten hos det utsläppta vattnet vid Visby i förhållande till havsvattnet vid antagandet, att värmepumpen sänker vattentemperaturen 2°C. (Broman och Vasseur, 1981)



Figur 5. Diagram för att bedöma risken för lokal recirkulation vid utloppet enligt Lee, Jirka och Harleman (1974).

Inblandningen av opåverkat recipientvatten kan minska kraftigt om t.ex. djupet är för litet. Lee, Jirka och Harleman (1974) utförde en studie av recirkulationstendensen lokalt vid utloppet för olika djupförhållanden och Froudetal. Resultatet är redovisat i figur 5. Diagrammet är en utmärkt tumregel vid dimensioneringen av djuputsläpp. Den inlagda punkten visar exempelvis att ingen lokal recirkulation kommer att förekomma normalt vid Visbyanläggningen.

Man kan också tänka sig diffusorer för att ytterligare späda det utsläppta vattnet, men i så fall måste avstånden mellan hålen vara tillräckligt stora. Liseth (1970) utförde flera experiment med diffusorer som hade alternerande utsläppsriktning. Han fann att de från början enskilda, runda jetstrålarna gick ihop ovanför diffusorn och bildade en tvådimensionell plym på avståndet

$$y = L \cdot F_0$$

där

L = avståndet mellan hålen i diffusorn

$$F_0 = \text{Froudetalet} = \frac{u}{g \frac{\Delta\rho}{\rho} D}$$

u = utsläppshastigheten

$\Delta\rho$ = densitetsskillnaden mellan omgivande och utsläppt vatten

D = hålens diameter

När de enskilda jetstrålarna går ihop på detta vis, minskar utspädningen kraftigt. Därför gäller det att avståndet L och Froudetalet F_0 väljs så stora att produkten överstiger värdet på avståndet mellan diffusorn och vattenytan eller i förekommande fall språngskiktet.

Tidigare har nämnts betydelsen av recipientens skiktning. En annan viktig faktor i recipienten är eventuella förhärskande strömriktningar, t.ex. vid genomströmning av en sjö. Hänsyn härtill bör tas vid den inbördes placeringen av intag och utlopp.

Att skiktningen sedan är beroende av de lokala vindförhållandena, genomströmningen genom området, islägningsdatum, djupförhållanden etc gör att varje recipient måste bedömmas för sig. Hänsyn till recipientens dynamik är ett oåterkalleligt måste vid studium av eventuella recirkulationstendenser mellan planerade intag och utlopp.

Referenser

- Broman, B och Vasseur, B. 1981. Temperaturmätningar vid Visby. Spridning av utsläppt vatten. SMHI HB Rapport Nr 47
- Brooks, N H och Koh, R CY. 1969. Selective withdrawal from density-stratified reservoirs. J of Hyd Div, ASCE., pp 1369-1400
- Harleman, DR, Morgan, R L och Purple, R A. 1959. Selective withdrawal from a vertically stratified fluid. IAHR, pp 10C1-10C16.
- Jirka, G H. 1979. Supercritical withdrawal from two-layered fluid systems. Part 1: Two-dimensional skimmer wall. J of Hyd Res, pp 43-51.
- Jirka, G H och Katovola, D S. 1979. Supercritical withdrawal from two-layered fluid systems. Part 2: Three-dimensional flow into round intake. J of Hyd Res, pp 53-62.
- Lee, J H W , Jirka, GH och Harleman, D R. 1974. Stability and mixing of a vertical round buoyant jet in shallow water. R M Parsons Lab, MIT., Technical Report No 195.
- Liseth, P. 1970. Mixing of merging buoyant jets from a manifold in stagnant receiving water of uniform density. Hydr. Eng. Lab., Univ. of California Berkeley.
- Prych, E A 1972. A warm effluent analyzed as a buoyant surface jet. SMHI serie Hydrologi Nr 21.
- Shirazi, M A och Davis, L. 1974. Workbook of thermal plume prediction. Volume 2, Surface discharge. National Environmental Research Center, US EPA, Corvallis, Oregon.
- Vasseur, B. 1979. Modifying a jet model for cooling water outlets. SMHI Rapport Nr RHQ 17.

HUR MYCKET BEHÖVER MAN VETA OM VÄRMEKÄLLAN?

av tekn dr Torbjörn Svensson

Institutionen för vattenbyggnad, CTH och VIAK AB, Göteborg

Kunskaper om vattnets temperatur och värmeinhåll är nödvändiga som underlag för bedömning av dess egenskaper som värmekälla.

En fullständig beskrivning av värmekällans egenskaper kräver ett omfattande dataunderlag om naturliga förhållanden, samt beräkningsmodeller för uttagets påverkan på temperatur och cirkulation i vattnet. Detta är dock inte alltid nödvändigt. Enklare bedömningar kan vara tillräckliga om värmeupptagaren kan arbeta vid låg temperatur och det totala uttaget är litet relativt värmekällan. Större undersökningsinsatser är motiverade för stora anläggningar, för vilka en mera noggrann dimensionering av värmeupptagaren kan innebära stora kostnadsinbesparingar.

Den första fråga som måste besvaras rörande värmekällan är vilken dimensionerande temperatur som man kan räkna med under vintern. Denna temperatur begränsar valet av värmeupptagare. Följande tabell ger en indikation av vilka lägsta vattentemperaturer för vilka olika typer av värmeupptagare dimensioneras. Vid lägre temperatur än dessa antingen upphör systemet att fungera p g a isbildning eller sjunker den upptagna värmeeffekten.

Lägsta temperaturer för olika typer av värmeupptagare för ytvatten

Isbildningssystem		+0 ⁰ C
Slangar på botten:	Stillastående vatten	0,5 ⁰ C
	Rinnande vatten	0,05-0,5 ⁰ C
Andra indirekta system:	Värmeväxlare på land eller i vattnet	1-3 ⁰ C
Strilförångare		2-2,5 ⁰ C
Tubförångare		5-6 ⁰ C

Denna lista över temperaturkrav bör ännu betraktas som preliminär och kan komma att förändras med att nya typer av system kommer på marknaden. Speciellt osäker är uppgiften för "Andra indirekta system" vilka kan bestå av rör- eller plattvärmeväxlare. Dessa kan placeras anting-

en direkt i vattnet eller på land, varvid sjövattnet pumpas upp till värmväxlaren. I det senare fallet kan det stora erforderliga pumpflödet bidra till att höja kravet på dimensionerande vattentemperatur.

Värmeupptagare i form av bottenförlagda slangar tar upp värme genom isbildning vid vattentemperaturer nära fryspunkten och från omgivande vatten vid temperaturer över ca $0,5^{\circ}$ C. Denna typ kan således hänföras till både den första och den andra gruppen.

Den enklaste ambitionsnivån för kunskaper om värmekällan är att göra en bedömning av vintertemperaturer baserad på erfarenheter från olika typer av sjöar och andra vatten. Utgående från denna bedömning kan lämpliga typer av värmeupptagare väljas och schablonmässigt dimensioneras. Detta torde bli det vanliga förfarandet för små värmepumpsanläggningar. Som hjälp vid bedömningen borde ett klassificeringsschema upprättas, vilket tar hänsyn till de viktigaste påverkande faktorerna såsom sjödjup, sjöform, genomströmning etc. Att upprätta ett sådant klassificeringsschema bör vara en viktig forskningsuppgift.

Med utgångspunkt från det valda systemet krävs mera detaljerade kunskaper om förhållandena på platsen för detaljlokalisering, dimensionering och för att i möjligaste mån förebygga skador på anläggningen. I följande uppställning ges några av de faktorer man kan behöva ta hänsyn till.

o Lägsta förekommande temperatur.

Risk för skador på slangsystem p g a uppfrysning eller på värmväxlare p g a igenfrysning.

o Mekaniska skador på utrustning i vattnet

genom ström, vågor, is, timmerflottning, fiske, båttrafik m m.

Dessa faktorer är väl kända av de som arbetar med byggande i vatten, men slangsystem och andra värmväxlare är speciellt utsatta genom sina klena dimensioner.

o Vattenkvalitet.

Risk för skador genom korrosion, speciellt i saltvatten.

Risk för försämrad funktion genom igensättningar och påväxt.

o Bottenbeskaffenhet.

Nedsjunkning i lösa bottenar leder till försämrad värmeupptagning hos slangsystem och i vissa fall ökad risk för uppfrysning.

Förutom den rent tekniska bedömningen av värmekällan vid ett konkret projekt behövs underlag för att bedöma tillgänglighet och ekonomi. För detta krävs kännedom om den normala temperaturvariationen under hela året, samt den sannolika tiden för driftavbrott eller effektreduktion hos värmeupptagaren. För öppna system som kräver en temperatur av $2-2,5^{\circ}\text{C}$ är det uppenbart att driftinskränkningar under kortare eller längre perioder är troliga på en låg temperatur. Även andra faktorer såsom låg vattenföring vid värmeuttag i åar, igensättning av vattenintag eller mekaniska skador på slangsystem kan påverka tillgängligheten. Underlag för att uppskatta eller beräkna tillgängligheten finns knappast idag, utan möjligen för sådana faktorer som beror av vattenföringen i vattendragen. En för ändamålet lämpad temperaturstatistik finns endast för ett fåtal sjöar. Det finns därför ett behov att med modellberäkningar utgående från meteorologiska data beräkna vattentemperaturens statistiska fördelning under vintern. Slutsatserna av sådana beräkningar bör kunna tas in i tidigare nämnda klassificeringsschema.

En annan typ av uppgifter om värmekällan är frågan om hur stora maximala värmeuttag som kan göras i en viss sjö eller ett vattendrag. Denna fråga berör i första hand större projekt, energiplanerare och miljövårdande myndigheter, men har även juridiska aspekter då samma resurs kan vilja utnyttjas av flera intressenter. Stora uttag ger upphov till en temperatursänkning som speciellt vintertid, då värmeutbytet med atmosfären är förhindrad, kan bli påtaglig. För att bestämma hur stora uttag som kan göras, eller vattenområdets potential, krävs kriterier för hur stor denna temperatursänkning får vara. Dessa kriterier kan bygga på såväl de tekniska förutsättningarna för värmeuttag som på risken för negativa miljöeffekter. Det framstår som en viktig

uppgift att utarbeta sådana kriterier som underlag för en korrekt och likartad bedömning av olika vattenområden.

Utformningen av kriterier för maximala värmeuttag kommer också att påverka behovet av kunskaper och undersökningsinsatser. Exempel på olika typer av inskränkningar som skulle kunna motiveras av miljöhänsyn kan vara följande:

Exempel på möjliga miljökriterier

Gräns för lägsta temperatur som sjön får kylas till.

Gräns för största temperatursänkning under islagd tid.

Maximering av den näringstillförsel till ytskiktet som uttaget ger upphov till.

Regler för att minimera den lokala påverkan på flora och fauna vid slangar på botten eller intag och utsläpp av vatten.

Som underlag för att bestämma det maximala värmeuttaget ur en sjö krävs kännedom om dess naturliga värmeomsättning under vintern (islagd tid). Värmeuttag eller eventuella värmetillskott i form av tillfört avloppsvatten, innebär att denna värmeomsättning modifieras. Inom måttligt stora sjöar är temperaturen i stort sett lika på samma djup. En värmebudget för sjön som helhet kan då användas för att grovt beräkna effekterna av uttaget och bestämma maximalt uttag.

Under den islagda tiden är värmeutbytet mellan vattnet och atmosfären litet. Värmeledning genom isen tas i första hand upp genom frysning. De viktigaste termerna i värmebudgeten blir därför i regel "starttemperaturen", eller värmeinnehållet, vid isläggningen samt värmeflödet från sedimenten.

Starttemperaturen beror på de meteorologiska förhållandena under en period strax före isläggningen och varierar kraftigt mellan olika år inom intervallet 0 - 4°C. Som tidigare framgått är det en viktig forskningsuppgift att ta fram modeller för att kunna beräkna medelvärden och extremvärden av temperaturen vid isläggningen. Såväl avancerade datormodeller som enklare metoder är önskvärda. Dessutom krävs en för ändamålet anpassad bearbetning av klimatstatistik.

Värmeflödet från sedimenten har störst betydelse i grunda sjöar och beror på uppvärmningen av bottenarna under sommarhalvåret och sedimentens termiska egenskaper. Undersökningar av sedimentvärme-flödet bör därför sträcka sig över minst en årscykel och innefatta temperaturmätningar och bestämning av bottenmaterialets värmeledningsförmåga och värmekapacitivet. Utgående härifrån kan värmeflödet beräknas med god noggrannhet för de olika fall som kan uppträda.

De övriga termerna i värmebudgeten utgöres bl.a. av värmeförluster till isen eller med genomströmmande vatten, värmetillskott eller förluster genom grundvattenflöden och värmetillskott p.g.a. strålning genom isen. Värmeförlusterna minskar generellt när vattnet blir kallare t.ex. genom ett värmeuttag, och förlusttermerna kan därför ofta försummas vid bestämning av den uttagbara värmemängden. Likväl finns ett behov av metoder för att uppskatta eller mäta dessa värme-flöden och att identifiera de situationer då förlusterna är viktiga. Vad innebär det t.ex. att en isbruten farled passerar genom en sjö där värmeuttag skall göras?

Det mest fullständiga behovet av kunskaper om vattnets funktion som värmekälla föreligger för de fall där man vill göra systemoptimering och lönsamhetsberäkningar för stora värmeproduktionssystem med värmepumpar som baslast. Vi förutsätter då att värmeuttaget är så stort att det leder till temperatursänkning i vattnet vilken kan påverka värmepumpens värmefaktor och effektavgivning. Effekten på värmekällan vid olika stora värmeuttag måste då kunna simuleras och de naturliga temperaturförhållandena vara kända eller kunna beräknas för ett antal år. Härur kan den möjliga värmeproduktionen vid olika utbyggnadseffekter hos värmepumpen beräknas eller, alternativt, den reduktion av möjlig värmeproduktion som betingas av värmekällan. Värmepumpens bidrag kan emellertid också begränsas av att värmebehovet är för litet eller att temperaturen hos värmesänkan (fjärrvärmenät) är för hög. För att beräkna värmepumpens utnyttjandegrad krävs därför att hela värmesystemet simuleras och detta måste kunna göras för ett antal år för att få ett tillräckligt statistiskt underlag för optimeringen.

Seminarium om sjövärm - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Hur mycket behöver man veta om värmekällan? Fältdata, modeller m.m.

av Torbjörn Svensson, VIAK Göteborg

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Energiinnehållet i sjöar härleds i stor utsträckning till sedimentvärme. Hur stor del av tillförd värme efter isläggningen kommer från solstrålning genom snö och is?

Svar:

Solstrålning genom isen kan ge ett avsevärt värmetillskott i mars-april men torde vara försumbart tidigare under vintern. En viktig faktor i sammanhanget är snötäcket som kan hindra största delen av strålningen att nå vattnet.

MILJÖKONSEKVENSER AV SJÖVARMEUTTAG

Wilhelm Dietrichson, Statens Naturvårdsverk, Solna

1. Slutsatser

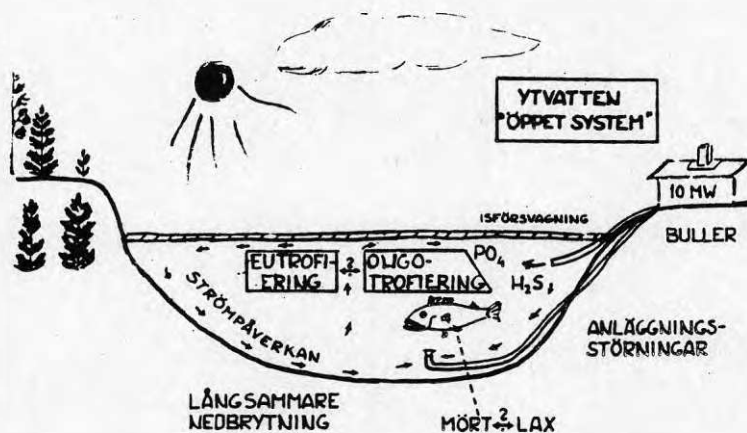
Jag bedömer

- att den tekniskt tillgängliga potentialen kommer att begränsas av miljöhänsyn, särskilt de närmaste 5 åren,
- att en stor potential ändå finns tillgänglig om hänsyn till miljön tas vid utformning och drift av anläggning.
- att värmeutvinning ur ytvatten kan medföra såväl positiv som negativ miljöpåverkan,
- att kunskaper och erfarenheter om värmeutvinningens miljöpåverkan behövs för en snabb och lycklig utveckling av tekniken, (Grundläggande forskning + uppföljning av anläggningar).

2. Öppna system

Bedömningarna av vilka miljökonsekvenser olika tekniker för värmeutvinning medför bygger på såväl spekulationer som kunskaper. Teknikerna är så nya att vi hittills inte haft möjlighet att göra några mer omfattande forskningsinsatser. Kunskaper kan inte heller alltid tas från andra områden.

Öppna system bedöms kunna medföra följande miljöpåverkan (fig 1)



Figur 1.

Vid nedläggning av intagskulvertar och annat arbete i vatten kan uppgrumling av vattnet ske. Sådan uppgrumling bör undvikas i samband med vissa fiskarters lek och där sedimenten är kontaminerade av miljögifter från tidigare utsläpp el. dyl. Problemet är detsamma

som vid annat muddringsarbete och är alltså välkänt.

För vissa värmepumpar kan särskilda åtgärder behöva göras för att minska bullernivån.

Den "ekologiska påverkan" som kan förväntas vid drift av anläggning beror på ändrade strömförhållanden i vattnet, temperaturförändringar och uppumpning av bottenvatten. De ändrade strömförhållandena kan vara inducerade direkt av den utsläppta vattenströmmen eller av temperaturförändringar.

De biologiska effekter dessa tre förändringar medför är dels en förändrad näringsomsättning, dels direkta temperatureffekter på växter och djur. Av dessa torde risken för ändringar i näringsomsättningen i första hand behöva uppmärksammas. Temperaturförändringarna stannar ofta vid någon tiondels grad vilket normalt knappast medför några större negativa effekter.

Förändringar i näringsomsättningen kan medföra t ex oönskat hög algproduktion under vårvintern till följd av uppumpning av bottenvatten. Förändringarna kan också gå åt motsatt håll så att näringsnivån minskar. Värmeutvinningstekniken skulle därför i vissa fall kunna utnyttjas för att samtidigt förbättra förhållandena i tidigare förorenade sjöar.

Mest känslig för temperaturförändringar torde fisken och fisket vara. Fiskarnas produktion och konkurrens påverkas av temperaturförändringar. Även små temperaturförändringar kan ha inverkan på fiskens nappvillighet på vintern.

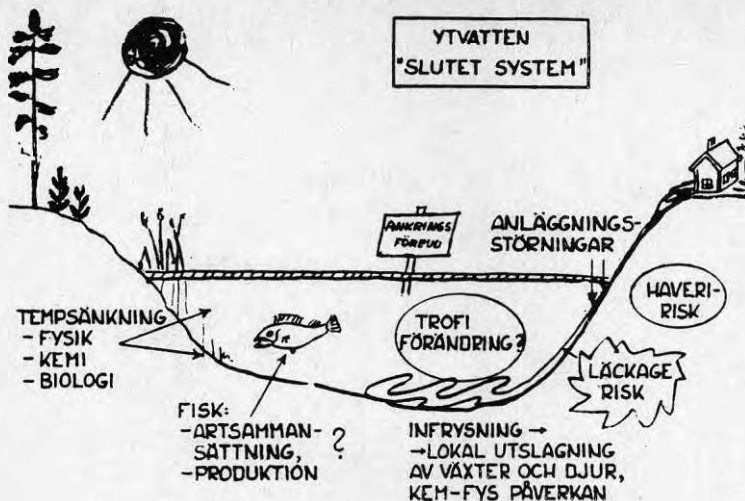
3. Slutet system

Alla de miljökonsekvenser ett öppet system kan medföra är i princip relevanta även för slutna system. I praktiken är emellertid de slutna systemen i regel mindre och tar mindre andel av värmen ur vattenmassorna varför dessa i regel blir obetydliga.

De slutna systemen medför dock vissa andra konsekvenser (fig 2). Risk finns för läckage av köldbärarvätska, vilket särskilt bör undvikas i närheten av dricksvattenintag. Val av vätska och andra åtgärder är liknande som för ytjordvärme.

Infrysning av sediment kring slangar medför lokal utslagning av fauna och flora. Slangarna måste vara väl förankrade eftersom de annars kan flyta upp med sediment och allt. För att undvika åverkan på slangar kan fiske- och ankringsförbud behöva utfärdas.

Sammantaget betyder detta att ett öppet system i normalfallet är att föredra ur miljösynpunkt framför ett slutet.



Figur 2.

4. Forskningsbehov

BFR har tillsatt en grupp för projektsamordning och utvärdering av miljökonsekvensforskning av värmeuttag i mark och vatten. Gruppen har funnit följande forskningsbehov särskilt angelägna.

- A. Påverkan av värmeuttag på närsalts- och syreförhållanden i sjöar
- B. Effekter av förändrade närsaltsförhållanden under is
- C. Inverkan på fisk av temperatursänkning
- D. Lokal påverkan på fauna och flora av slangar för värmeutvinning
- E. Sjöars värmebudget vintertid
- F. Avkylningsförloppet före isläggningen
- G. Naturliga strömmar och blandningsförlopp i is-täckta sjöar
- H. Densitetsströmmar och blandningsproblem vid värmeuttag med öppna respektive slutna system
- I. Omfattning av frysning och lokal kylning av sediment
- J. Sedimentegenskapers betydelse för värmeomsättning och värmeuttag i sjöar

Av dessa projekt är A-D av rent miljöintresse medan E-J i första hand är av tekniskt intresse men även är väsentliga för att kunna göra miljökonsekvensbedömningar.

Seminarium om sjövärm - Älvkarleby 5-6 maj 1982

Frågor beträffande föredraget: Miljökonsekvenser av sjövärmearbete. Problem och erforderliga forskningsinsatser

av Wilhelm Dietrichson, SNV

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Finns en praktisk temperaturgräns för när temperaturpåverkan i sjöar är oväsentlig?

Svar:

Jag kan inte ange någon temperaturgräns idag. De flesta värmeuttag som är aktuella idag påverkar temperaturen med endast någon tiondelgrad eller mindre. Jag tror att vi ganska snart skall kunna få fram tumregler som säger att många av dessa uttag inte medför någon väsentlig temperaturpåverkan på sjön.

STAFFAN WESTERLUND, docent
 JURIDISKA INSTITUTIONEN
 BOX 512
 751 20 UPPSALA

ALLMÄNJURIDISKA SYNPUNKTER

I föredraget tar jag upp vissa allmänna juridiska frågeställningar, men inget om vilka myndigheter som är inblandade etc och heller inget om tillståndsplikt m m.

1. *Rätten att använda viss mark eller visst vattenområde för anläggningar och ledningar m m*

I princip finns till all mark och alla vattenområden inom territorialgränsen en ägare, antingen det är en enskild eller kommunen eller staten etc. Vanligen är det ägaren till området som får förfoga över det, som disponerar det. Ingen annan kan förfoga över området utan avtal med markägaren eller också expropriation eller liknande beslut. Undantag är allemansrätten. Denna medger inte åtgärder för värmeutvinning eller liknande.

Med de regler som nu finns för expropriation kan sådan inte ske för utvinning av sjövärmee. Däremot är det möjligt att få expropriation (eller motsvarande enligt särskild lagstiftning) för sådana anläggningar och ledningar som behövs för att genomföra ett sjövärmeföretag. Men för själva värmeutvinningen måste företagaren alltså ha rätt att förfoga över marken eller vattenområdet ifråga.

Därför kan inte sjövärmeeutvinning ske i områden som ägs av annan, om ägaren motsätter sig utvinningen. Avtal, med eller utan ersättning till ägaren, är en framkomlig metod.

2. *Rätten till energin*

Markägaren äger det som hör till den fasta egendomen, såvida inte avtal eller lag anger annat. Däremot äger inte markägaren vattnet på eller i marken (vätskan). Å andra sidan äger han den mark i vilken eller på vilken vattnet finns. Och markägaren har en särskild rätt till vattnet, som ingen annan har till samma vatten, nämligen en vattenrätt (en särskild rätt till vattnet). Motsvarande gäller för sådant som fisk, villebråd och andra djur. Då gäller det fiskerätt och jakträtt.

Huruvida någon kan "äga" energin är en rättsfråga som inte är

utforskad ännu. Frågan är inte bara akademisk. Den har också en praktisk betydelse. Ty om ingen äger energin som finns i vattnet, skulle den som först utnyttjade den lägga beslag på den även om detta inverkade på grannens möjligheter att utvinna energi ur sitt vatten. Samma problem uppstår beträffande vindenergi. Den som på sin mark sätter upp en vindsnurra, och hindrar grannen från att göra något liknande, lägger beslag på mer vindenergi än som svarar mot markinnehavet.

Om idag en tvist skulle uppstå mellan grannar som konkurrerar om samma energiresurs, är det rimligaste prognosen att en domstol skulle anse att en analogi med vattenlagens principer om rätten till vatten bör användas. D v s att markägaren har rätt att utvinna energi som finns på hans mark, men han måste ta hänsyn till grannars möjligheter att på sin mark i motsvarande omfattning utvinna samma slags energi. Det skulle alltså vara en slags fördelningsprincip som då skulle tillämpas, och inte principen att den som först lade ut anläggningen får ta så mycket han eller hon förmår.

Detta avser alltså det troliga läget idag. En lagstiftning skulle kunna befästa denna princip. Men det finns i och för sig alternativ som skulle kunna införas, t ex en koncessionsprincip. Alltså att koncessionskrav införs för olika typer av energiutvinning. Förebilder finns i vattenlagens regler om tillstånd samt i minerallagens regler om koncession.

I Byggeforskningsrådets Rapport R76:1980 s 155 ff har jag på en elementär nivå redogjort för tankegångar motsvarande dem ovan om en analogi med vattenrätten. Vid Juridiska institutionen i Uppsala pågår ett forskningsprojekt, finansierat av Nämnden för Energiproduktionsforskning, som kommer att närmare behandla frågor om rätten till energi. Huvuddelen av det arbetet utförs av Gabriel Michanek.

3. Hänsynskrav vad gäller omgivningen och miljön

Vid värmeutvinning kan olika miljörisker uppstå. Anläggningar uppförs på stranden eller på andra platser. Ledningar läggs ut. Kanske läggs större värmeväxlare ut i vattenområdet. Vid en del tekniker används olika kemikalier. Läckagerisker och regelrätta utsläpp kan förekomma. Beträffande krav på förprovning m m hänvisar jag till nästa föredrag. Här ska bara kort redovisas vilka krav som måste uppfyllas för att en verksamhet ska få utövas.

Naturvårdslagen är tillämplig eftersom naturmiljön kan påverkas och eftersom framkomligheten inom strandskyddade områden kan för-

sämras. I naturvårdslagen finns en hänsynsregel. Den kan tillämpas av länsstyrelsen i de fall samråd enligt 20 § tillämpas. I andra fall spelar hänsynsregeln en kompletterande roll i bedömningar som sker i former bestämda av miljöskyddslagen eller byggnadsstadgan. För den händelse att naturvårdsintressen och utvinningsintressen kolliderar och inte lösas under hand, har länsstyrelsen möjlighet att stoppa utvinningen genom att förordna området ifråga som naturreservat eller liknande. Förutsättningen är naturligtvis att naturvårdsintresset är så starkt så att skyddet i fråga är motiverat.

I den mån utvinningen prövas enligt den nya vattenlagen, kommer naturvårdsintressena att ges en större tyngd i den bedömningen än om bedömningen sker enligt hittills gällande 1918 års vattenlag.

Miljöskyddslagens tillåtlighetsregler gäller bl a med avseende på risker för läckage från värmeväxlare och ledningar m m, men sannolikt också för de ekologiska konsekvenserna av temperaturförändringar i mark eller vatten. Dessutom är det främst i miljöskyddslagen som grannars intressen är tillgodosedda. Oavsett om utvinningen är prövningspliktig eller inte, kräver miljöskyddslagen av företagaren att alla tekniskt och ekonomiskt möjliga och miljömässigt motiverade eller rimliga åtgärder vidtas för att minska olägenheter i naturmiljön eller för grannar eller andra personer. Det är heller inte säkert att den lokalisering, som företagaren föreslår, kan godtas. Värmeutvinning ska lokaliseras till sådana platser där olägenheterna blir så små som möjligt utan att verksamhetskostnaderna därför ökas oskäligt. Att företagaren äger bara visst område är inget skäl för att acceptera det området för verksamheten (detta brukar kallas för en objektiv lokalisering).

När det gäller grannars möjligheter att också utvinna energi kommer andra slags grannelagsaspekter in. De faller närmast under föregående avsnitt, alltså det om rätten till energi.

Seminarium om sjövärm - Älvkarleby 5-6 maj 1982.

Frågor beträffande föredraget: Allmänjuridiska synpunkter
av Staffan Westerlund.

Fråga från: Hans Jellbring, Inventex AB
Kan man hindra en krånglig lagstiftning genom en rimlighets-
bedömning av temperaturpåverkan i förhållande till naturliga
variationer i vattendragen? Ex. 0,2°C påverkan är tillåten utan
större krångel.

Svar:

Miljöskyddslagen innebär att förutsättningarna för tillåtligheten ska bedömas utifrån de faktiska omständigheterna i det aktuella fallet. Ett vattendrag eller en sjö som inte är särskilt "känslig" från ekologiska synpunkter, och där temperaturförhållandena inte måste vara exakt så eller så av andra skäl heller, kan användas enligt miljöskyddslagen utan några större problem. Det är nämligen under dessa förutsättningar inte motiverat från miljösynpunkt med några högre kostnader för att undvika en beskedlig temperaturförändring. Dessutom är det ibland till fördel med något lägre temperaturer i vissa vatten.

I vissa andra vatten, där de ekologiska förhållandena är sådana att några artificiella variationer inte bör ske (anta att sådana områden finns), kan däremot miljöskyddslagen lägga hinder i vägen också för en liten temperaturpåverkan. Det blir då närmast 4 § miljöskyddslagen som spelar in då (den om lokaliseringen).

Ett mer direkt svar på frågan är att det i snart sagt alla tänkbara fall inte kommer att finnas några hinder enligt nuvarande miljöskyddslag att åstadkomma 0,2°C påverkan.

Inom naturreservat där syftet med skyddet är den vetenskapliga naturvården kommer däremot inte ens en sådan påverkan att tillåtas i vanliga fall.

Hans Carlson
VATTENFALL

Seminarium om sjövärm. Älvkarleby 1982-05-05

Inlägg beträffande tillståndsfrågor

För sjövärmearbetsanläggningar gäller givetvis såsom vid allt annat byggande vissa tillståndsregler. Kraven på formella tillstånd kan vara beroende av anläggningens storlek och effekt såsom exempelvis miljöskyddslagen föreskriver. Då vi på Vattenfall endast har arbetat en förhållandevis kort tid inom området, har vi ännu ej hunnit få någon större erfarenhet av "tillstånds-hanteringen". Den är hittills begränsad till några värmepumpar bl a i Visby och på Lidingö där dock myndigheterna ännu ej meddelat några beslut eller domar. De lagar som kan vara aktuella är bl a miljöskyddslagen, byggnadslagen, vattenlagen och naturvårdslagen.

Den 1 juli 1981 ändrades miljöskyddslagen. Det innebär att anmälningsplikt infördes för en rad industriella anläggningar och då bl a för "anläggning för utvinning av värme ur mark, vattendrag, sjö eller annat vattenområde eller ur grundvatten för en uttagen effekt överstigande 1 MW". Anmälningsskyldigheten innebär att man "i god tid" före anläggningsstart "skall underrätta Länsstyrelsen genom en skriftlig anmälan". Som exempel på en sådan anmälan visar jag här den anmälan som Vattenfall ingivit till Länsstyrelsen i Stockholms län avseende två värmepumpsanläggningar på Lidingö (bilaga 1). Anmälan innehåller en orientering med en översiktlig teknisk beskrivning, vidare en beskrivning av anläggningens miljöpåverkan samt slutligen den formella anmälan med hänvisning till miljöskyddsförordningens 16 § mom 1.

För grävning och sprängning i vattenområde efodras tillstånd enligt vattenlagen. Detta innebär att de för en sjövärmearbetsanläggning erforderliga ledningarna med tillhörande anordningar i vattenområdesbotten torde krävas tillstånd enligt vattenlagen. Utformningen av en ansökan om vattendom är "traditionell" såsom denna till Stockholms Tingsrätt ställda ansökan om vattendom för en värmepumpsanläggning i Visby (bilaga 2). Denna ansökan har nyligen tagits upp till behandling vid en huvudförhandling i Visby. Ansökan hade i vanlig ordning remitterats till vissa myndigheter som bortsett från att Länsstyrelsen ej hade några erinringar. Länsstyrelsen krävde med anledning av ett uttalande av länsantikvarien om Lybeckska flottans förlisning utanför Gotland år 1566, avsökning av havsbotten. Tack vare att bl a Riksantikvarieämbetet ansåg det mindre sannolikt att några

vrakrester skulle återfinnas komplicerades ej vattenmålet. Jag vill med detta exempel visa på att även i ett till synes enkelt vattenmål kan överraskningar inträffa varför man skall se till att det finns goda tidsmarginaler för den formella handläggningen. Man får vidare ej glömma att för domstolen kunna visa sin rätt att disponera erforderligt vattenområde (ägande-, servitut- eller arrenderätt).

För byggnader och anläggningar krävs vidare tillstånd enligt byggnadslagen s k byggnadslov. I stadsplanerat område kan också krävas "dispens" på grund av att anläggningens placering ej överensstämmer med stadsplanens bestämmelser.

Slutligen kan på grund av strandskyddsförordnande enligt naturvårdslagen krävas att Länsstyrelsen "medgiver undantag".

VATTENFALL

1982-03-23

EPU-iic/gS-1611

Jens Carlsson

Kopia: EX, EVS, SOL, BVK, EPU

AB Lidingö Energiverk
Box 19, 181 21 LidingöLänsstyrelsen i Stockholms län
Box 22067
104 22 STOCKHOLM

Anmälan av Statens Vattenfallsverk beträffande utnyttjande av havsvatten för två värmepumpanläggningar på Lidingö i Stockholms län

Orientering

Statens Vattenfallsverk planerar att i samarbete med Lidingö Energiverk Aktiebolag anlägga två värmepumpanläggningar med utnyttjande av havsvatten i anslutning till energiverkets värmeverk (hetvatten-central) på södra Lidingö. Se bifogat utdrag ur ekonomiska kartan bilaga 1. Anläggningarna skall inkopplas på Lidingö's fjärrvärmenät. Värmeeffekten beräknas vid en vattentemperatur på + 8 °C, för respektive anläggning bli 11.0 och 3.3 MW.

Vattnet skall sommartid tas från Lilla Värtans yta genom en ledning med intag ca 110 m från stranden. Vintertid skall vatten tas från sjöbotten på ca 16 m djup. Intaget ligger då ca 200 m från stranden. Temperatursänkningen i värmepumpanläggningarna beräknas bli högst 1.7 °C. Detta innebär att temperaturen på returvattnet som lägst kan bli + 0.5 °C. De maximala flödena genom värmepumpkretsarna kommer att bli ca 1200 resp ca 330 l/sek. Det kylda vattnet skall återföras till Lilla Värtan genom en ledning som mynnar ca 35 m från stranden på ca 2 m djup. Ledningarna skall användas gemensamt av de två värmepumpanläggningarna. Ledningarnas principiella sträckning i plan och profil redovisas på bifogade ritningar nr 1-10-001 bilaga 2 och nr 1-10-003 bilaga 3. Intagsledningarna förses vid intagspunkterna med silanordningar av demonterbart rostfritt galler med en maskvidd av 15-20 m m, se ritning bilaga 4. Strömningshastigheten vid silanordningarna blir ca 0.25 m/s. Ledningarna har dimensionerats för ett totalt flöde av 1.83 m³/s och kommer att utföras av trä.

Vattenfall har hos Stockholms Tingsrätt, Vattendomstolen, ansökt om tillstånd att få anlägga nämnda ledningar.

Erforderliga tillstånd enligt byggnadslagen, dispens från nybyggnadsförbud och byggnadslov, har i februari beviljats för 10 MW-anläggningen. Motsvarande tillstånd för 3 MW-anläggningen emottas i april månad.

Miljöpåverkan

Av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut tidigare gjorda undersökningar framgår att det av anläggningarna berörda vattenområdet är starkt salt-haltsskiktat året runt vilket skapar en markerad vertikal stabilitet. Denna starka vertikala stabilitet visade sig i att syrevärdena var låga i och strax under språngskiktet, till stor del beroende på att utsläppt avloppsvatten inlagrats i språngskiktet med stark syretäring som följd. Dessutom avspeglades stabiliteten i temperaturfördelningen under året. Temperaturen under språngskiktet varierade obetydligt och var tämligen låg året runt beroende på att omsättningen i djupvattnet övervägande sker horisontellt och härstammar från djupvatten utanför Oxdjupet.

Av AB Hydroconsult vintern 1981 utförda mätningar kan utläsas ett temperaturmaximum i språngskiktet varför en lämplig placering av vattenintaget vintertid är på den valda nivån på ca 16 m djup - dvs i språngskiktets underkant där avloppsvattnet är inlagrat. För att inblandningen av kallt ytvatten skall bli minimal utformas intaget så att vattenhastigheten där blir låg, ca 25 cm/s. På det föreslagna intagsdjupet beräknas inblandningen av ytvatten bli mindre än 10%.

Utsläppet är placerat ca 220 m från vinterintaget på 2-3 m djup. Eftersom tätheten hos vatten i väsentligt högre grad beror på salthalten än på temperaturen, ändras inte tätheten nämnvärt av temperatursänkningen i värmepumpen. Den valda rördimensionen ger en utsläppshastighet av ca 1,3 m/s. Härigenom kommer inblandningen att öka markant och det utsläppta vattnet kommer att nå en jämviktsnivå i språngskiktets övre del. Därmed minskar recirkulationstendenserna avsevärt. Genom att vatten tas från språngskiktets undre del och förs till dess övre del kan positiva effekter bli följden av denna förbättrade "ventilation" av djupvattnet.

Sommarintaget och utloppet placeras på ungefär samma nivå. Då avståndet mellan sommarintaget och utsläppet är över 100 m torde risken för recirkulation bli minimal. För att inte onödig uppgrumling runt intaget skall ske och för att enbart varmt ytvatten skall sugas in ges sommarintaget samma utformning som vinterintaget.

Värmeuttaget från värmepumpanläggningen beräknas bli ca 65 GWh/år. I en utredning utförd av VIAK AB på uppdrag av Svarthålsforsen AB (Naturliga värmekällor för värmepumpar inom Stockholms kommun 81-06-22) framgår att uttagspotentialen vid extrema kallår för det aktuella vattenområdet kan vara 3000 GWh under hela vintern.

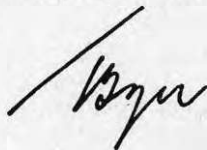
Sammanfattningsvis bedöms havsvattenanvändningen för anläggningarna ej ge några negativa miljöeffekter. För övrigt kan tilläggas att anläggningarna genom lokaliseringen till ett etablerat industriområde ej medför någon ofördelaktig miljöpåverkan. Ljudemissionen från anläggningarna skall begränsas genom ljuddämpande åtgärder så att Naturvårdsverkets riktvärden för "externt industribuller" innehålles.

Anmälan

Med hänvisning till det ovan anförda får Statens Vattenfallsverk härmed enligt bestämmelserna i miljöskyddsförordningens 16 § mom. 1 anmäla den planerade anläggningen av två värmepumpanläggningar på Lidingö i Stockholms län.

Två kopior av denna anmälan samt tre exemplar av de i anmälan åberopade handlingarna bifogas.

Statens Vattenfallsverk
El- och värmeteknik
Projektledning för värmekraftanläggningar



Anders Bergman



Stockholms tingsrätt
Vattendomstolen
Box 510
101 26 STOCKHOLM

Sökandes:

Statens Vattenfallsverk

ombud: byråchefen, jur kand Bertil André,
Statens Vattenfallsverk, 162 87 Vällingby

Sakens:

ansökan om tillstånd att för en planerad värme-
pumpanläggning i Visby på Gotland få anlägga en
i havsbotten förlagd ledning för intag av vatten
till anläggningen.

Orientering och teknisk beskrivning

Statens Vattenfallsverk planerar att i samarbete med Gotlands
Energiverk Aktiefbolag (GEAB) anlägga en värmepumpanläggning i
anslutning till Visby avloppreningsverk. Anläggningen är av-
sedd att inkopplas på Visby fjärrvärmenät. Värmeeffekten kom-
mer att vid en vattentemperatur på + 2°C bli 8,5 MW. Vattnet
skall genom en ca 120 m lång ny intagsledning tas ur Östersjön
ca 100 m från stranden på en nivå av ca 4 m under vattenytan.
Före nedkylning i pumpkammare skall havsvattnet till en mängd
av ca 5 % inblandas med renat avloppsvatten. Temperatursänk-
ningen i värmepumpanläggningen beräknas bli ca 1,5°C. Det
maximala flödet genom värmepumpkretsen kommer att bli 1,0 m³/sek.
Det kylda vattnet skall återföras till havet via avlopprenings-
verkets befintliga utloppsledning.

Den ca 120 m långa intagsledningen skall utföras av alternativt

trä, betong eller glasfiberarmerad plast med en diameter av ca 800 mm. Ledningen skall förläggas i en i havsbotten sprängd och schaktad rörgrav samt täckas såsom visas på bifogade ritning nr 5429, bilaga 1. Ledningen förses vid intagspunkten med en silanordning med ett demonterbart rostfritt galler med en maskvidd av 15-20 mm, se ritning, bilaga 2. Vid pumpgropan på land förses ledningen med en avstängningelucka.

I den mån sprängsten inte kommer till användning vid återfyllning, avses den bli upplagd på land.

Övriga tillstånd

Ansókan om byggnadslov har ingivits till Byggnadsnämnden. Anmälan enligt 16 § miljöskyddsförordningen har insänts till Länsstyrelsen.

Höjdsystem och fixpunkt

Samtliga angivna nivåer avser Lantmäteriverkets höjdsystem. Lämplig fixpunkt är belägen intill den planerade anläggningen på gränsen mellan stadsäga 314 och Pinjen 1. Den har höjden + 17,789 (se bifogade nybyggnadskarta, bilaga 4).

Fastigheter och enskilda intressen

Anläggningen skall uppföras på stadsäga nr 314, som inkl berört vattenområde ägs av Gotlands Kommun. Lokaliseringen framgår av bifogade utdrag ur ekonomiska kartan, bilaga 3, och av en av Byggnadsnämnden upprättad nybyggnadskarta, bilaga 4.

Bortsett från Gotlands Kommuns fastighet Pinjen 1, varav en mindre del kommer att ianspråktagas för planerad tillfartsväg till anläggningen, kommer inga andra fastigheter att beröras. Kommunen biträder i sin egenskap av fastighetsägare denna ansökan.

Drifttid

Värmepumpanläggningens årliga drifttid beräknas uppgå till 6 000 timmar.

Tid för tillståndets ianspråktagande

Arbetena med intagsledningen är planerade att påbörjas i början av maj månad 1982.

Kungörelse av ansökan

Kungörelse av ansökan föreslås bli införd i Gotlands Allehanda och Gotlands Tidningar AB.

Aktförvarare

Till aktförvarare föreslås fjärrvärmeschef Per Knudsen, Gotlands Energiverk AB, Box 14, 620 30 Slite, telefon 0498/20550.

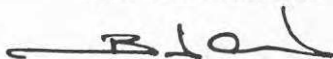
Yrkanden

Med hänvisning till ovanstående anhåller sökanden om tillstånd att för en värmepumpänläggning i Visby få anlägga erforderlig intagsledning för havsvatten.

Sökanden anhåller vidare att Vattendomstolen jämlikt 11 kap 67 § vattenlagen förordnar att i kommande dom meddelat tillstånd får tas i anspråk utan hinder av att beslutet därom ej vunnit laga kraft.

Vattenfall hemställer att Vattendomstolen behandlar denna ansökan med största möjliga skyndsamhet.

Statens Vattenfallsverk



Bertil André

SAMMANFATTNING AV DEN AVSLUTANDE DISKUSSIONEN

Lennart Billfalk
Vattenfall, Älvkarlebylaboratoriet

Inledning

Efter presentationen av de förberedda inläggen, som redovisas i skriftlig form i denna rapport, hölls en diskussion angående teknikläget för sjövärmes , utvecklingspotential för olika lösningar, hinder för teknikens införande m.m. Diskussionen leddes av Sten Bjurström, BeFo bisutten av Sven-Erik Lundin, BFR och Bengt Vasseur, Vattenfall-Älvkarlebylaboratoriet.

En fullständig redovisning av enskilda diskussionsdeltagares synpunkter och inlägg låter sig knappast göras. Istället tas i nedanstående sammanfattning vissa huvudpunkter upp där en viss samstämmighet rådde mellan mötesdeltagarna.

Definitioner

Värmepumpsystem för utvinning av värme ur sjöars och vattendrags vatten och/eller bottensediment kan i princip utföras som öppna eller slutna system.

- Öppna system innebär att vatten pumpas från sjön (vattendraget) till en värmepump placerad på land. Vattnet återförs därefter i nedkylt tillstånd till sjön. Genom att utforma värmepumpsystemet på ett speciellt sätt kan frysning av is på förångaren tillåtas varvid isbildningsvärmes kan tillgodoräknas i processen (den bildade isen undanskaffas). Denna typ av system kallas för isvärmepump. Öppna system för utvinning av värme från bottensediment har tidigare presenterats. Denna teknik diskuterades emellertid inte under seminariet.
- Slutna system utgörs vanligen av kollektorer bestående av slangar utplacerade på sjöns (vattendragets) botten. Värme tas i detta fall både från vattnet direkt och från sedimenten. Slangarna kan också grävas ner i sedimenten. Genom påfrysning kring slangarna kan isbildningsvärme utnyttjas.

Har vi tillräckligt många provanläggningar ?

En sammanställning över projekt som erhållit BFR-stöd redovisades. Flertalet mötesdeltagare var av den uppfattningen att ytterligare experimentanläggningar, av samma typer som redan finns eller projekteras, knappast behöver byggas. Däremot bör fortsatt stöd utgå för utvärdering av driftresultat från befintliga anläggningar.

Hittills har inga stora slangvärmesystem (>300-400 kW) eller isvärmepumpanläggningar erhållit BFR-stöd. Isvärmepumpstekniken bedömdes dock som speciellt intressant eftersom potentialen för denna teknik är betydande.

Flera deltagare efterlyste en renodlad forskningsanläggning där man kunde bedriva t.ex. optimeringsstudier av slangkollektorer utan krav att leverera värme till enskilda hushåll. En dylik forskningsanläggning borde förläggas till en mindre sjö, som därmed skulle kunna "belastas" hårt i termiskt avseende. Förutom tekniska frågor skulle där sjövärmesystemets inverkan på djur och växtliv kunna studeras under extrema förhållanden. Ett dylikt projekt sammanfaller vad gäller de miljömässiga studierna väl med projektförslaget "Ekologiska effekter av ett värmeuttag med slutet system i en sjö", som föreslagits av Naturvårdsverket i utredningen "Miljökonsekvenser vid värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten".

Vikten av att hålla beredskap för att stödja teknikutveckling påpekades. Även om utförda provanläggningar tycks fungera finns sannolikt möjligheter att förbättra och optimera tekniken. Nya tekniska lösningar bör inte heller uteslutas.

Vilket system är bäst ?

Förutsättningarna för olika typer av sjövärmesystem (öppna, slutna) är beroende av lokala förhållanden bl.a. det aktuella vattendragets karaktär. Val av system måste därför göras i varje enskilt fall. Möjligen kan sägas att öppna system blir konkurrenskraftigare gentemot slutna system för stora system (>1MW). Något egentligt bevis för denna bedömning finns inte eftersom erfarenheter hittills saknas från stora sjövärmesystem.

- Isvärmepumpar Tekniken bedöms ännu ej vara mogen för stora demonstrationsanläggningar. En betydande potential finns dock varför forskningsinsatser är motiverade. Främst är det insatser rörande ishanteringen som bör undersökas, bl.a:
- energiekonomisk avfrostning
istransport
krav på recipienten
- Potential Totala potentialen för sjövärmesystem är ej klarställd. Studier rörande vissa områden, som t.ex. för Stockholmsområdet har gjorts. En övergripande studie för landet bör göras. SMHI förfogar över temperaturdata för detta ändamål. Däremot saknas data för tillgänglighetsstudier (t.ex. förekomst av låga temperaturer).
- Miljöpåverkan Våra kunskaper beträffande inverkan på cirkulationen i en sjö, speciellt av ett slutet sjövärmesystem, är idag bristfälliga.
- Bestämning av maximalt uttag är en fråga som är väsentlig vid dimensioneringen av en anläggning. Det bedöms som angeläget att stödja de initiativ som tagits för att utveckla metoder för prognosering av möjliga värmeuttag samt inverkan på temperaturförhållandena i vattendraget.
- Inverkan på fisk och djurliv av temperatursänkningar är dåligt känd. Vid måttliga uttag, i förhållande till vattendragets totala värmeomsättning, bedömer emellertid Naturvårdsverket att inga problem bör uppstå. I vissa fall kan rentav förbättringar uppnås. Avgörande är emellertid vilken typ av vatten som utnyttjas och hur anläggningen utformas. För slutna system uppkommer en lokal påverkan på växter, djur och sediment där slangarna är belägna. För slutna system finns bl.a. också risken för läckage av giftiga värmebärarvätskor. En undersökning av olika brine-lösningars egenskaper ur teknisk och naturmiljösynpunkt efterslystes.
- Haveriorsaker Ett flertal slangsystem har havererat av olika anledningar. Det vore värdefullt om anledningen till dessa haverier kunde utredas.

Ekonomi

Enligt uppgift från konsulter och tillverkare representerade vid seminariet har sjövärmearnläggningar god ekonomi jämfört med t.ex. oljebaserad uppvärmning. Någon allmän studie av olika sjövärmesystems konkurrensförmåga gentemot andra uppvärmningsformer tycks dock inte ha utförts (I seminarieuppsatsen "Värmepumpar i sjövärmesystem - Systemfrågor" redovisar Bernt Bäckström en ekonomisk jämförelse mellan en sjövärmearnläggning och en luftvärmepump).

Varför byggs inte flera sjövärmearnläggningar ?

Trots att ekonomin anses gynnsam för sjövärmearnläggningar förefaller det råda en viss tveksamhet från kommuner och andra att beställa dylika anläggningar. En viktig punkt i detta sammanhang ansågs vara garantifrågor. Bl.a. påpekades att man borde se över BFR:s stödformer som idag medger att lån och bidrag beviljas beställaren. Leverantören får emellertid ta "normala" affärsrättliga risker. Enligt mångas mening borde BFR även kunna stödja leverantörer som tar risker vid utvecklingen av nya komponenter och system.

PROJEKT: SJÖAR OCH HAV SOM VÄRMEKÄLLA FÖR EN VÄRMEPUMP-
ANLÄGGNING ,

1. FÖRSTUDIE (OKTOBER 1977 - SEPTEMBER 1978)
2. HUVUDSTUDIE (OKTOBER 1979 - MARS 1983)

PROJEKTANSVARIGA:

BERTIL DAVIN

JAN NORDLING

KAJ SANDART

REFERENSGRUPP FÖR HUVUDSTUDIE BESTÅENDE AV:

MALIN FALKENMARK, NATURVETENSKAPLIGA FORSKNINGSRÅDET

PALNE MOGENSEN, P. MOGENSEN AB

JAN-ERIK NOWACKI, THERMIA ENERGITEKNIK

BENGT VASSEUR, VATTENFALL

UNDERKONSULTER FÖR BERÄKNING OCH DATABEHANDLING AV TEMPERA-
TURDATA FÖR SJÖAR:

BARRY BROMAN SMHI

BIRGITTA RAAB, SMHI

Sjöar och hav som värmekälla för en värmepumpanläggning

FÖRSTUDIE

Bertil Davin, Jan Nordling, Kaj Sandart

Värmepumpar för uppvärmningsändamål har under senare år fått en alltmer framträdande roll. Möjligheterna att ta tillvara lågvärdigt värme i luft, jord och vatten ger ett alternativ till importerade bränslen. Med en värmepump kan också elenergin utnyttjas på ett effektivare sätt än vid direktvärme. Elenergin utnyttjas endast som drivenergi i en process där den övriga energin hämtas från omgivningen.

Erfarenheter av konstruktion och funktion för värmepumpar med luft och jord som värmekälla finns i relativt stor omfattning. Däremot är kunskaperna om sjöar och hav som värmekälla bristfälliga. De problem som uppkommer hänger främst samman med risken för isbildning på förångarytan vid värmeupptagningen ur vattnet, men även andra funktionsstörningar kan uppstå på grund av korrosion och påväxt av alger.

Värme kan tas ur vatten på två sätt. Vid en temperatursänkning ovan fryspunkten uttas sensibelt värme medan latent värme erhålls när vattnet fryser. För närvarande finns inga lämpliga värmeväxlarkonstruktioner som förmår ta värme ur vattnet vid samtidig isbildning. Denna utredning har därför inriktats på sådana konstruktioner och processer där vattnet både kommer in i och lämnar värmeväxlaren helt i flytande form.

De faktorer som är intressanta vid vatten som värmekälla är följande:

Temperatur. Vattnets lägsta temperatur under året bör vara ≥ 3 °C för att möjliggöra värmeupptagning utan risk för isbildning. Genomsnittstemperaturen skall vara så hög som möjligt för att medge en god värmefaktor.

Mängd. Tillräcklig vattenmängd måste finnas vid lägsta erforderliga temperaturnivå.

Salthalt. Vattnets salthalt påverkar i hög grad dess egenskaper. Till nackdelarna med hög salthalt hör den ökade korrosionsrisken. Samtidigt får man en extra säkerhet mot isfrysning genom den fryspunktsnedättning som blir följden av saltinnehållet. Salthalten påverkar också vattnets skiktning i havet.

Påväxt. Havs- och sjövattnet innehåller i varierande grad larver och sporer som om de får fäste på en yta utvecklas till ett värmeisolerande skikt.

Arbetets uppläggning

För att kunna bedöma temperatur, vattenmängd och salthalt har en litteraturstudie utförts. Denna studie har utgjort underlag för kap 2 "Sjöars limnologi" och kap 3 "Havets limnologi".

I kap 4 "Korrosions- och påväxtproblem" har de olika faktorer som inverkar på värmeväxlarnas funktion, skötsel och livslängd undersökts.

Kap 5 behandlar översiktligt värmepumpprocessen. I kap 6 görs en något noggrannare genomgång av förångaren.

För att binda samman de tidigare kapitlen och samtidigt göra det möjligt att åtminstone grovt bedöma värmepumpen i denna applikation, har ett anläggningsexempel beräknats i kap 7. Anläggningsexemplet är baserat på följande förutsättningar:

- Uppvärmningsobjektet är ett flerbostadshus.
- Värmekällan är havsvatten från Sveriges västkust.
- Beräkningarna är utförda för tre storlekar på värmepumpar för att en bedömning av stordriftsfördelarna skall kunna ske. Dimensionerande värmeeffekter från värmepumpen är 100 kW, 1 MW respektive 10 MW.
- Konstanta verkningsgrader, oavsett anläggningsstorlek, har förutsatts för värmepumpen.
- Ingen överdimensionering av aggregatet för att täcka kulvertförluster har gjorts. Kulvertförlusterna har däremot medtagits som en kostnad där värdet satts till 9 öre/kWh, dvs samma pris som för producerat värme.
- Kulvertlängderna har beräknats så att totala årskostnaderna för hela anläggningen inkl drift- och underhåll motsvarar 9 öre/kWh.

Resultat

Av rapporten framgår att:

S11:1979

Sammanfattning S11:1979 hänför sig till forskningsanslag 770979-0 från Statens råd för byggnadsforskning till Orrje & Co - Scandiakonsult, Stockholm.

Sammanfattning av:

Davin, B, Nordling, J, Sandart, K, 1978, *Sjöar och hav som värmekälla för en värmepumpanläggning*. (Orrje & Co - Scandiakonsult). Stockholm. Stencil 81 s + bilagor.

Källskriften är skriven på svenska.

Svensk och engelsk sammanfattning utges separat.

Kopior av källskriften kan beställas från:

Institutet för byggdokumentation
Hålsingegatan 49
113 31 Stockholm
Telefon: 08-34 01 70

Sjöars limnologi

- Sommartid, speciellt i juli, uppnås temperaturer på över +20 °C i ytskiktet.
- Sjöar har sitt lägsta värmeinnehåll någon eller några veckor efter isläggningen vilken i Mellansverige normalt inträffar i slutet av december.
- Bottenvattentemperaturen, dvs den vid isläggningen högsta temperaturen i sjön, är ej alltid över 3 °C.
- Bottensedimentet innehåller vintertid stora värmemängder vid 6–9 °C temperatur.

Havets limnologi

- Havsvattnets saltinnehåll påverkar i hög grad dess egenskaper. För Östersjön kan man räkna med en fryspunkt på ca -0,3 °C medan vattnet i Kattegatt-Skagerack fryser vid -1,3 °C till -2,2 °C beroende på saltinnehåll. Ytvattnets temperatur överstiger sällan 17–18 °C sommartid.
- Vintertid håller vattnet i Östersjön 4–5 °C på djup \geq 60–70 m. Temperaturen på dessa djup påverkas ytterst litet av årstiden. På 100 m djup varierar temperaturen endast 0,2 °C under året.
- I Kattegatt-Skagerack ligger vattentemperaturen vintertid vid 5–6 °C på 20–50 m djup. Salthalten är då 30–35 ‰.

Korrosion och påväxt

- För sjövattnet duger värmexlaren av syrafast stål medan havsvatten normalt kräver titan.
- Påväxten är ca 5 ggr större på västkusten än på ostkusten.

Förångare

- Största problemet med vatten som värmekälla är isbildningsrisken vintertid.
- Åtgärder måste vidtas mot påväxt och avlagringar på värmexlarytor vilka annars snabbt får försämrade värmeöverföringsförhållanden.
- Genom att utnyttja indirekt system dvs med brinekrets och plattvärmexlaren kan isproblemen normalt bemästras.

Tillämpning

Då sjöar ej med säkerhet innehåller +3 °C vatten i större mängd vintertid, är det svårt att utnyttja sjöar som värmekälla. Detta gäller så länge förångarkonstruktioner ej finns som kan ta värme ur vatten vid samtidig isbildning.

Skagerack-Kattegatt ställer sig gynnsammare som värmekälla än Ös-

Utgivare: Statens råd för byggnadsforskning

- tersjön på grund av de tre faktorerna
- högre temperatur vintertid,
- vattnet tillgängligt på lägre djup,
- salthalten ger en fryspunktsnedsättning på upp till 2,2 °C.

Då påväxten är större på västkusten än i Östersjön bör indirekt värmeupptagning via plattvärmexlaren utnyttjas här. Plattvärmexlaren är lätta att demontera för rengöring.

En värmepumpinstallation med 10 MW dimensionerande värmeeffekt kombinerad med en oljepanna på 5,6 MW som tillsatsvärme vid maxbelastning, täcker värmebehovet för 240 st flerbostadshus av i utredningen definierat slag.

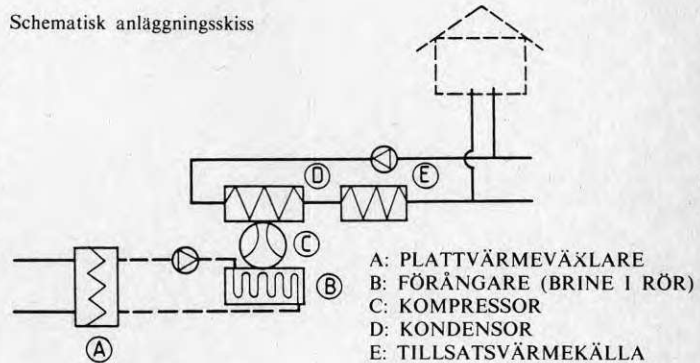
Tillsatsvärme i form av oljeeldad hetvattencentral är lönsam att utnyttja vid utomhustemperaturen \leq 2 °C, dvs under ca 1 750 timmar per år.

Årsvärmefaktorn räknat på till kompressordrivmotorn tillförd elenergi är 4,2.

Vid kravet på 9 öre/kWh producerad värmeenergi kommer den utbyggbara kulvertlängden att vara:

Anläggningsstorlek	Kulvertlängd
100 kW	0
1 MW	1 km
10 MW	7,6 km

Schematisk anläggningskiss



Systemet består av (se figur):

- Havsvattenkulvert av glasfiberarmerad plast alternativt trä.
- Plattvärmexlaren A med plåtar av titan eller syrafast stål beroende på vattenkvalitet.
- Brinekrets med saltlösning.
- Vattenkylaggregat B-C-D.
- Fjärrvärme med kulvert av lågtemperaturtyp.
- Tillsatsvärmekälla E, höjer temperaturnivån på utgående fjärrvärmevatten under kalla perioder.

För att hålla ned temperaturnivån på värmepumpens kondensorsida förutsätts att fjärrvärmevattnet passerar direkt genom de värmeavgivande apparaterna i husen.

HUVUDSTUDIE - INRIKTNING

1. KARTERING AV SVENSKA SJÖAR
(SENARE FÖRÄNDRAD INRIKTNING MOT FRAMTAGANDE AV EMPIRISKT SAMBAND)
2. KORROSIONSPROBLEM, SPECIELLT SÖTVATTEN
3. EKOLOGI, EKONOMI
4. ISPÄFRYSNINGSVÄRMEVÄXLARE
5. PÄVÄXTPROBLEM
6. LITTERATURSÖKNING

EMPIRISKT SAMBAND MELLAN TEMPERATURDATA OCH PÅVERKADE FAKTORER

MÅL: ATT MED TILLRÄCKLIG NOGGRANNHET BESTÄMMA TEMPERATUR-
FÖRHÅLLANDEN VINTERTID I EN SJÖ UTAN DYRBARA OCH
LÅNGVARIGA MÄTNINGAR IN SITU

METODBESKRIVNING: EN SJÖ'S TEMPERATURMÄSSIGA ÅRS CYKEL KAN
INDELAS I FÖLJANDE DELAR

EXEMPEL: VELEN

PERIOD	TEMP. BOTTEN (°C)	TEMP. YTAN (°C)	NETTOUTBYTE (kWh/d)	LÄNGD (d)
ISLAGD TID	2 - 4	0	+ 0,01	100-160
VÄRCIRKULATION	4 - 5	0 → 8	+ 2	15-20
SOMMARSTAGNATION	6 - 7	8 → 20	± 1	100-200
HÖSTCIRKULATION	8 → 4	12 → 4	- 1,5	20-50
NEDKYLNINGSFAS*	4	4 → 0	- 2	10-60

* MYCKET KLIMATBEROENDE

DÅ SJÖNS VÄRMEINNEHÅLL UNDER ISLAGD PERIOD ÄR DEN VIKTIGASTE
PARAMETERN FÖR DIMENSIONERINGEN, ÄR DET AV STÖRSTA VIKT ATT
KUNNA BESTÄMMA DENNA PÅ ETT ENKELT SÄTT.

INVENTERINGSMODELL, SJÖAR

Om ett stort antal sjöar skall kunna inventeras med avseende på deras lämplighet som värmekälla till värmepumpar, krävs en grov inventeringsmodell. Vi har kommit fram till att följande metod är lämplig:

Med hjälp av material från SMHI kan vattentemperatur och klimatdata för flera olika sjöar erhållas. Enligt SMHI går det även att komplettera dessa uppgifter med följande parametrar för respektive sjö.

Vi har tänkt uppdelna dessa i två grupper:

- o sjöberoende parametrar
- o klimatberoende parametrar

Analysen genomförs med värmeinnehållet före isläggning som oberoende parameter. Med hjälp av dessa parametrar utförs därefter en regressionsanalys.

Ur denna kan korrelationen för de olika parametrarna fastställas. Den studerade perioden har vi ansatt till tiden mellan höstcirkulation vid vattentemperaturen 4°C och isläggning. Se bil 7 och 8.

Uppdelningen på klimatberoende och sjöberoende parametrar gör att dessa kan studeras var för sig oberoende av varandra.

T ex kan de klimatberoende faktorerna studeras vid samma sjö under ett antal år. Vid närliggande sjöar med "lika" klimat kan sjöberoende faktorer studeras.

ANVÄNDNING

Vid inventeringen av olika sjöar fastställdes således de olika parametrarna som sedan via regressionsformeln ger möjligt värmeinnehåll i sjön.

Med hjälp av de mest signifikanta parametrarna kan lämpliga jämförelse-sjöar väljas ut. Ur dessa kan temperaturfördelningen som funktion av volym och djup tas fram och energibehovet vid en viss temperatur beräknas

På grund av sjöars dynamiska förhållanden kan man med statistiska metoder bara få en grov uppskattning av deras värmeinhåll. Ett samband mellan klimat och värmeinhåll kan vara mycket komplext och svårångat. Några exempel: Av avgörande betydelse för värmeinhållet efter isläggningsen är vädret mellan tidpunkten då hela vattenmassan kylts till $+4^{\circ}\text{C}$ under höstcirkulationen och isläggningsen. Det är under denna period som vattnet kan bli omvänt temperaturskiktat, d v s få lägre temperatur vid ytan än vid botten, vilket är en förutsättning för isläggningsen. Periodens tidgränser varierar emellertid.

Uppgift om tidpunkten för $+4^{\circ}$ -passagen fordrar omfattande mätningar och saknas i regel i det statistiska materialet. Också isläggningsdata saknas ibland. Har perioden lugna vindförhållanden bildas vid kyla ett tunt lager med kallare vatten i ytan och snabb isläggningsen kan ske. Om vinden ökar dessförinnan blandas det kallare ytvattnet ner i hela eller övre delen av vattenmassan och fortsatt avkylning av ytvattnet krävs innan isläggningsen kan ske. Samma vindstyrka kan ge olika stark avkylning beroende på storleken av det skikt med kallare vatten, som kan blandas ner i vattenmassan. Isläggningsen kan ske först vid samtidigt inträffande kyla, molnfrihet och vindstilla. Dessutom behövs en viss total köldsumma för att isläggningsen överhuvudtaget skall ske. Trots dessa problem bör det vara av stor vikt att de empiriska sambanden studeras i syfte att få fram hjälpmedel att bedöma sjöars lämplighet för värmeutvinning.

SLUTSATS

Genom att studera endast tiden från 4°C cirkulationen till isläggningsen kommer vi att få ett mått på värmeinhållet vid en viss tidpunkt samt signifikanta värden på parametrarna fram till isläggningsen. Om hela året skulle studeras kommer många av de ingående parametrarnas variation inte att påverka värmeinhållet vid isläggningsen.

INGÅENDE DATA VID REGRESSIONSANALYS:

SJÖSPECIFIKA VÄRDEN

AREAL

MAXIMIDJUP

VOLYM SOM FUNKTION AV DJUP

VINDEPOSITION

LATITUD

HÖJD ÖVER HAVSYTANS NIVÅ

TIDPUNKT FÖR ISLÄGGNING OCH ISLOSSNING

VATTENFÖRING

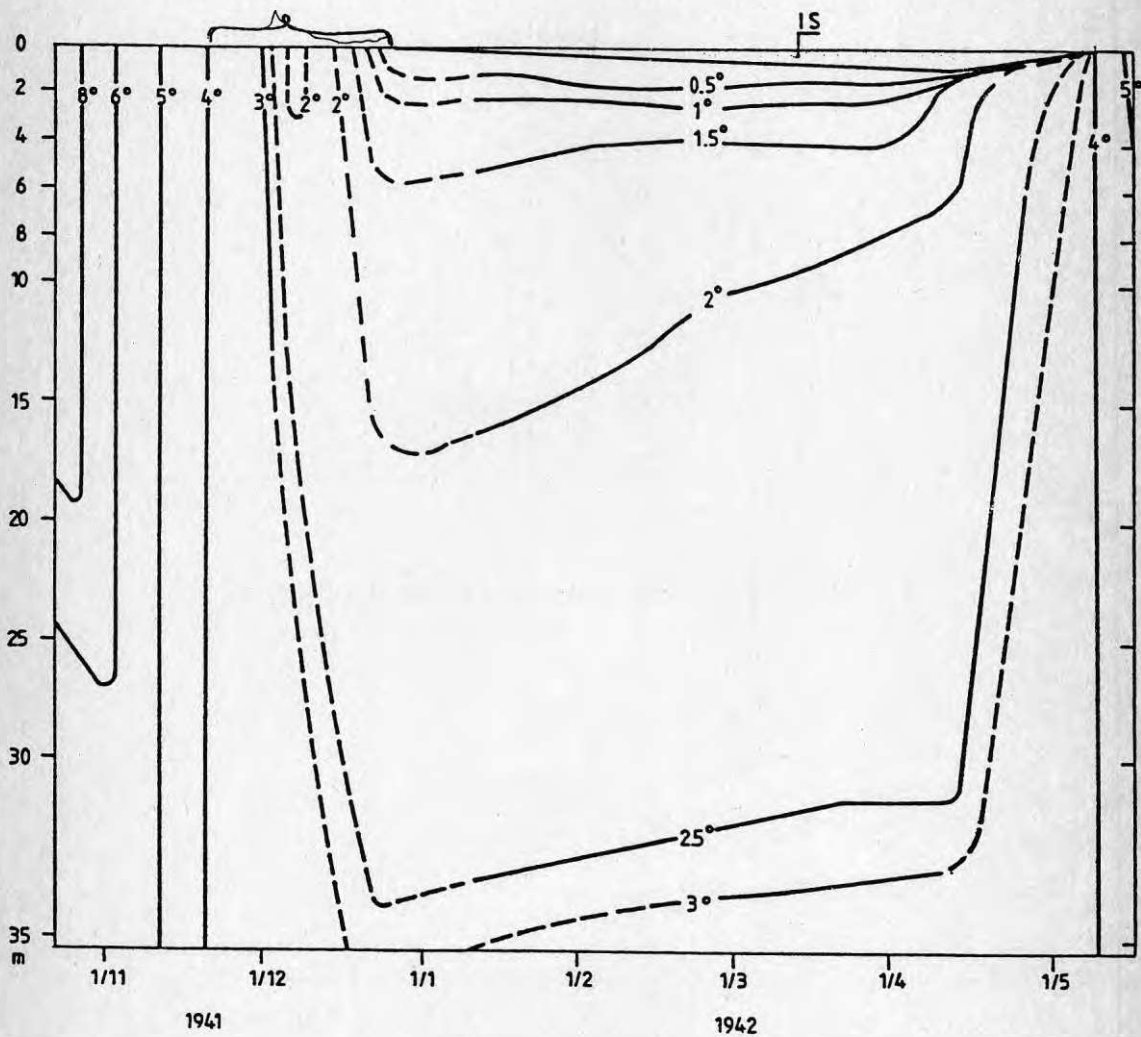
KLIMATEFAKTORER UNDER NEDKYLNINGSFASEN

LUFTTEMPERATUR

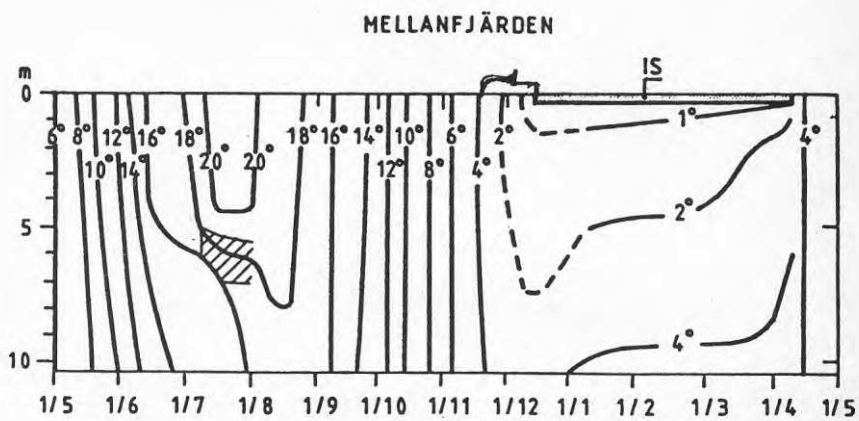
VINDSTYRKA

VINDRIKTNING

MOLNIGHET



VATTENTEMPERATUREN VID OLIKA DJUP I KLÖVSTAFJÄRDEN I SJÖN KLÄMMINGEN UNDER VINTERN 1941-1942



VATTENTEMPERATUREN I SJÖN KLÄMMINGEN 1/5 1941-30/4 1944

Lennart Backlund
FFV
Box 360
831 25 ÖSTERSUND
TeI 063/127440

Lars Bengtsson
Inst. för Vattenteknik
Högskolan i Luleå
951 87 LULEÅ
TeI 0920/91000

Lennart Billfalk
Statens Vattenfallsverk
Vattenbyggnadslaboratoriet
810 71 ÄLVKARLEBY
TeI 026/72300

Sten Bjurström
BeFo
Box 5501
114 85 STOCKHOLM
TeI 08/635020

Ake Bratt
Stal Refrigeration AB
Fack
601 87 NORRKÖPING
TeI 011/139800

Barry Broman
SMHI
Box 923
601 19 NORRKÖPING
TeI 011/108000

Bernt Bäckström
Jordvärmegruppen
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 GÖTEBORG
TeI 031/810100

Vilhelm Dietrichson
Naturvårdsverket
Box 1302
171 25 SOLNA
TeI 08/981320

S-A Eklund
Statens Vattenfallsverk
EVS
162 87 VÄLLINGBY
TeI 08/870000

Jonas Hallbenberg
VIAK
Box 242
791 26 FALUN
023/28000

Hans Jellbring
Inventex AB
Åsögatan 113 n.b.
116 24 STOCKHOLM
TeI 08/420983

Ingemar Johansson
Thermiaverken
Box 150
671 01 ARVIKA
TeI 0570/13050

Ingvar Johansson
VIAK
Fack
162 10 VÄLLINGBY
TeI 08/870080

Hans Karlsson
Statens Vattenfallsverk
EPU
162 87 VÄLLINGBY
TeI 08/870000

P-O Karlsson
Statens Vattenfallsverk
BVK
162 87 VÄLLINGBY
TeI 08/870000

Peter Larsen
Statens Vattenfallsverk
Vattenbyggnadslaboratoriet
810 71 ÄLVKARLEBY
TeI 026/72300

Mats Larsson
Statens Vattenfallsverk
Vattenbyggnadslaboratoriet
810 71 ÄLVKARLEBY
TeI 026/72300

S-E Lundin
BFR
St. Göransg. 66
112 30 STOCKHOLM
TeI 08/540640

C-O Morfeldt
Hagconsult
Banërg. 37
115 22 STOCKHOLM
TeI 08/233750

Lennart Pettersson
Stal Laval
612 20 FINSPANG
Te1 0122/81000

Kaj Sandart
Scandiakonsult
Box 4560
102 65 STOCKHOLM
Te1 08/242080

Ulla Save Öfverholm
BFR
St. Göransg. 66
112 30 STOCKHOLM
Te1 08/540640

Jörgen Sahlberg
SMHI
Box 923
601 19 NORRKÖPING
Te1 011/108000

Hjalmar Schibbye
TETAB
181 81 LIDINGÖ
Te1 08/7311955

Björn Svedemar
STU
Box 43200
100 72 STOCKHOLM
Te1 08/7445100

Björn Svedinger
VIAK
Fack
162 10 VÄLLINGBY
Te1 08/870080

Torbjörn Svensson
VIAK
Mölnadalsvägen 85
412 85 GÖTEBORG
Te1 031/813120

Bengt Vasseur
Statens Vattenfallsverk
Vattenbyggnadslaboratoriet
810 71 ÄLVKARLEBY
Te1 026/72300

Staffan Westerlund
Juridiska Inst.
Uppsala Univ
Box 512
751 20 UPPSALA
Te1 018/155400

Sammanställningen avser:

B Bidrag till FoU-projekt
(L) Lån till Experimentbyggnadsprojekt

som BFR beviljat t o m 1982-06-30

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
770979-0	Sjöar och hav som värmekälla för en värmepump-anläggning	Bertil Davin Stockholm	358
780498-2	Värmepump med insjö som värmekälla. Turistanläggning Galax Olofström	Bernt Bäckström Göteborg	10
780553-3	Värmepumpssystem med is-maskin. Förprojektering av pilotanläggning	Hans Jelbring Strängnäs	135
780911-6	Energiutvinning ur ytvatten via värmepump. Förprojektering i Borlänge	Anders Backman Stockholm	50
781555-5	Programstudie över värmeupptagning ur bottensediment i sjöar	Bertil Davin Stockholm	18
781564-1	Sjöförlagd värmväxlare Förstudie i utomhusbad, Karlstad	Holger Strååt Karlstad	66
781591-7	Värmepumpning från sjö för värmeförsörjning av kontorshus i Arvika	Thore Abrahamsson Göteborg	25
790029-7	Värmepump för havsvattenvärme. Förstudie av värmväxlare	Börje Stenström Stockholm	48
790211-6	Värmeutvinning ur sjöar Förstudie	Thomas Hellström Stockholm	25
790438-1	Prov av värmepump med sjöförlagd värmväxlare vid Kungl Slottet	Hans Jelbring Strängnäs	80
790547-9	Energiutvinning ur sjö- och havssediment. Förstudie	Anders Sjöberg CTH	75
790633-8	Flodvärmepump-anläggning för badhus och brandstation i Kristinehamn	Lars Olof Mattsson Stockholm	50
790918-0	Termisk energi ur vattendrag för temperaturreglering av asfaltytor	Lennart Backlund Östersund	145
791058-6	Dieselvärmepump med sjövattnen som värmekälla - förstudie P10	Jan-Erik Nowacki Nyköping	233

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
791341-2	Värmepump med hav som värmekälla för friluftsbad i Sölvesborg	Staffan Lagergren Stockholm	57
791481-8	Sjöbottenvärmepump Kullavik. Utvärdering	Torbjörn Svensson CTH	165
791509-7	Värmepump med havsförlagd värmväxlare vid tullens regionbas på Djurö	Bruno Söderlund Stockholm	55
791567-2	Värmeupptagning ur Mölndalsån. Förstudie	Karin Lindberg Göteborg	25
791703-8	Värmepumpanläggning med värmeuttag från sediment i damm och omgivande markområden i Ø Grevie	Stig Gustafsson Vellinge	990 (L)
791755-4	Tinggärdet Mora. Förstudie av geologiska och hydrologiska förutsättningar för sedimentvärmeyttjande	Peter Wilén CTH	98
800035-8	Energiutvinning ur ytvatten via värmepump. Detaljprojektering i Borlänge	Kjell Norbäck Falun	140
800036-4	Värmeutvinning ur sjöar med bottenförlagda kylslangar. Laboratorieförsök	Torbjörn Svensson CTH	246
800046-5	Sjövärme med slangsystem för två småhus vid Skutudden i Falun. Mätningar	Kjell Norbäck Falun	55
800102-1	Ytvatten - bottensediment som värmekälla. Provanläggning/mätningar i Storsjön	Lennart Backlund Östersund	45
800214-5	Värmeuttag från sjöbottensediment och ytjord med värmepump. Mätning och utvärdering av projekt Ø Grevie	Torbjörn Svensson CTH	273
800320-6	Värmepump med ismaskin till 43 lägenheter i Sälen. Förstudie	Bengt Grellsgård Malung	45
800592-9	ENIAQ Värmväxlare vid sjöar som värmekälla. Förstudie	Hans Jelbring Strängnäs	25

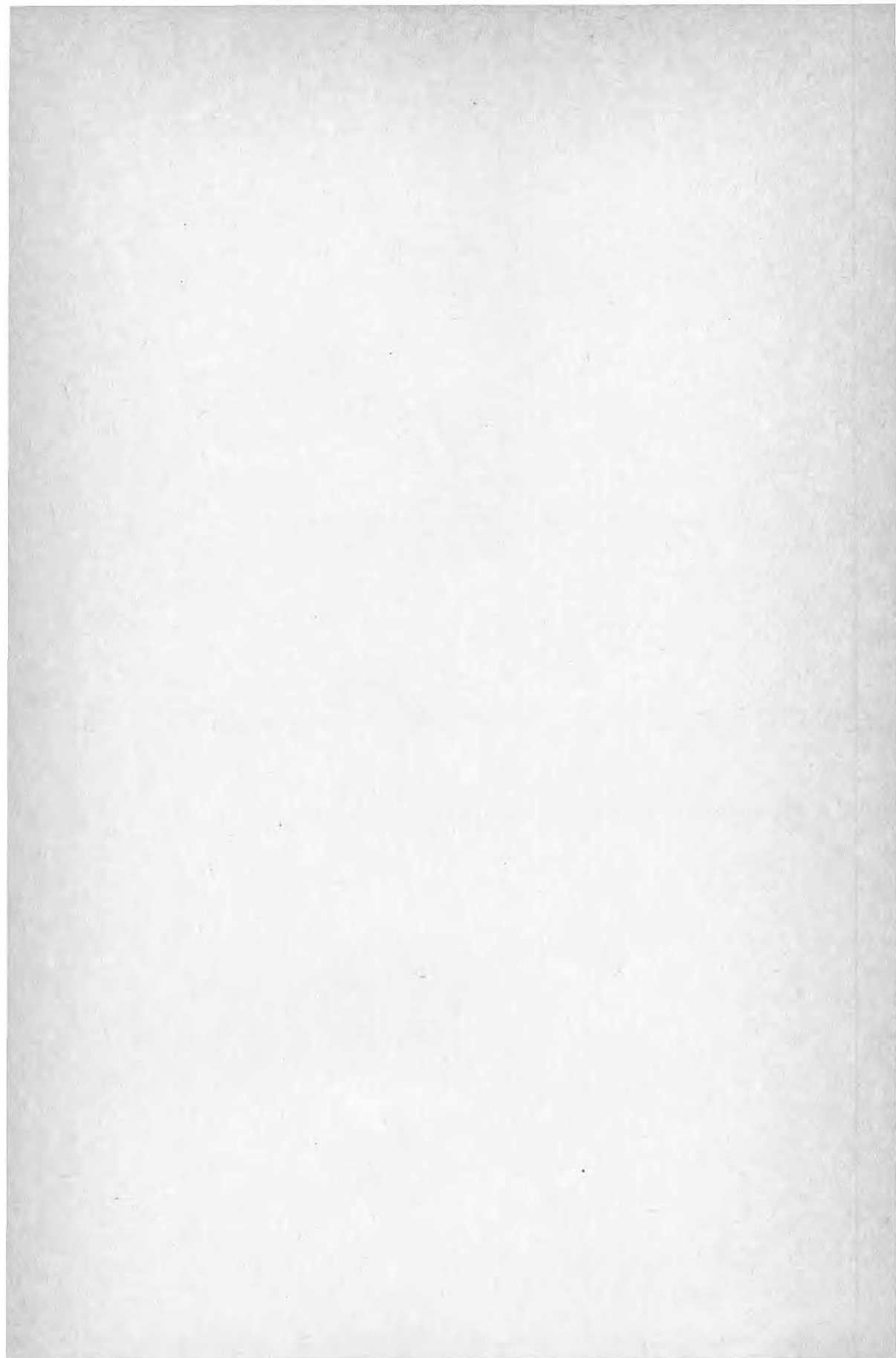
Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
800718-8	Havsvatten och sedimentvärme för 40 radhus i Burgsvik, Gotland. Förstudie	Lars Engström Stockholm	60
800774-2	Energiutvinning ur ytvatten med värmepump för 140 småhus i Torsång - lån	Gunnar Kers Borlänge	2450 (L)
810072-1	Stora värmepumpar med havs- eller sjövattnen som värmekälla. Förstudie	Göran Hultmark Kungsbacka	25
801153-2	Energiutvinning ur sjö vatten med värmepump för 140 småhus i Torsång. Mätning och utvärdering	Kjell Norbäck Falun	217
810648-4	Värmepump med älvvatten som värmekälla vid Kaunisjoensuu tullstation. Utvärdering	Hans Jelbring Stockholm	179
810835-0	Sjövärme med slangsystem för 24 radhus på Ekerö	R Österberg Stockholm	150 (L)
811189-8	Små kollektorer för sjövärmesystem - läggningssmetoder samt energimätning	Ingemar Johansson Arvika	120
811310-1	Sjövärme med slangsystem radhus på Ekerö. Mätning, utvärdering	R Österberg Stockholm	78
811517-4	Sjövattenvärme för Are centrum. Förstudie	J-E Persson Järpen	78
811844-7	Värmepump för havsvatten till fjärrvärmenät i Karlskrona. 10 MW. Förstudie	Ove Wallin Karlskrona	50
811847-3	Sjöars värmeinhåll före isläggning. Förstudie	J Sahlberg SMHI	100
820001-4	10 MW havsvattenvärmepump för Lidingö värmeverk	Per-Ivar Nylander Stockholm	10000 (L)
820002-0	Värmepump, 8-10 MW, med havs- och avloppsvatten för Visby	S Söderström Visby	10000 (L)
820104-3	Inverkan av värmeuttag på temperatur och cirkulationsförhållanden i istäckta sjöar	L Bengtson LUH	450

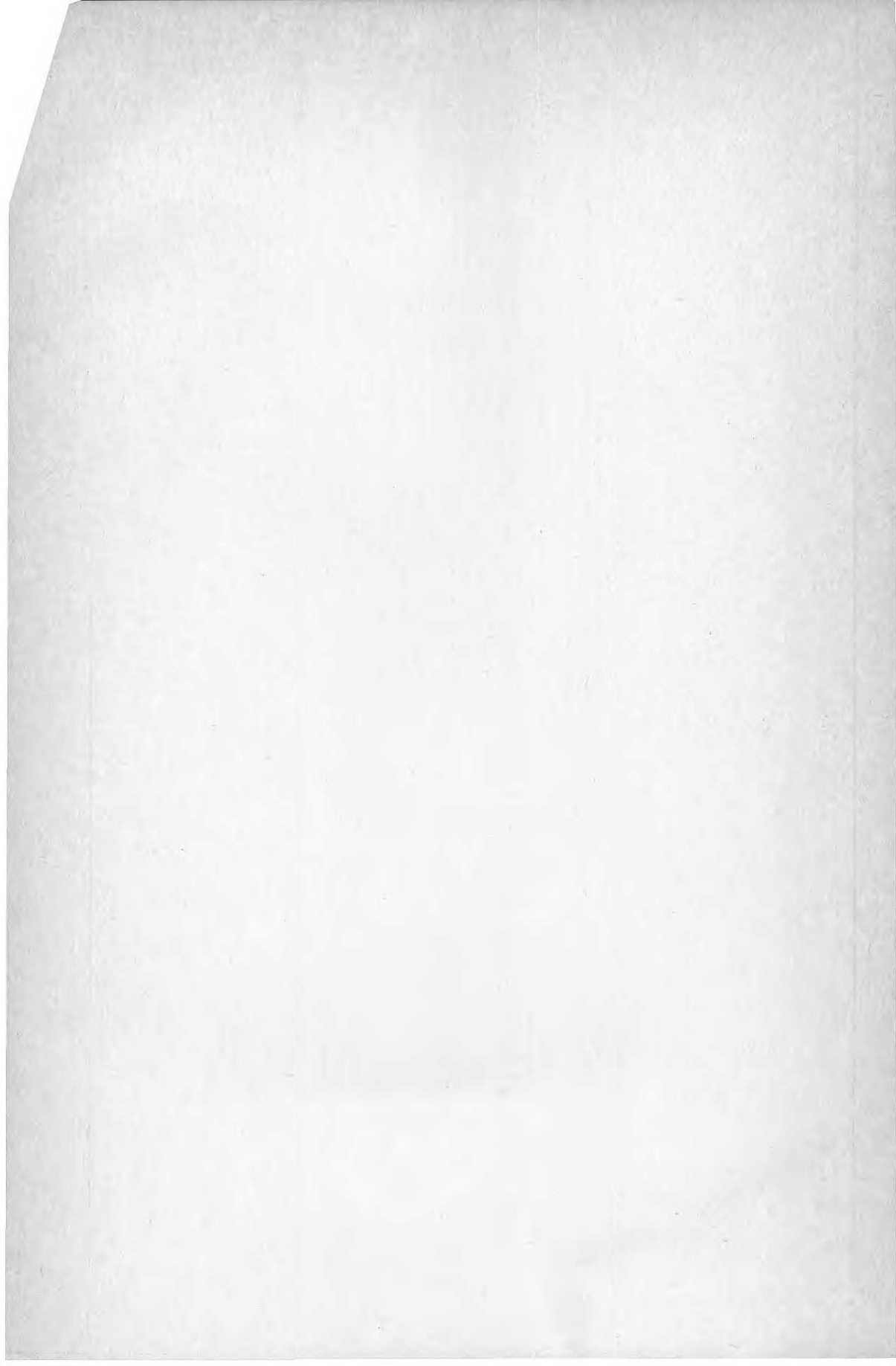
Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
820406-0	Sjövattenvärme för block-central vid Kvarnberget i Falun. Förstudie	R Annerskog Falun	65
820626-7	Sjövattenvärme för Are centrum	L-A Jansson Järpen	3160 (L)

BFR-PUBLIKATIONER OM SJÖVÄRMESYSTEM

- R 29:1979 B Bäckström
VÄRMEPUMPANLÄGGNING MED INSJÖ SOM VÄRMEKÄLLA
Teknisk- ekonomisk förstudie
- R 129:1979 T Abrahamson, F Norin & H Strååt
VÄRMEPUMPNING FRÅN SJÖ FÖR VÄRMEFÖRSÖRJNING AV KONTORSHUS
Förstudie
- R 44:1980 H Grafström & S Lagergren
VÄRMEPUMP FÖR UPPVÄRMNING AV FRILUFTSBAD
Förstudie i Sölvesborg
- R 76:1980 T Svensson, E Degerman & B Jansson
ENERGIUTVINNING UR SJÖ- OCH HAVSSEDIMENT
Förstudie
- R 96:1980 F Norin, H Strååt & W Tarkowski
SJÖFÖRLAGD VÄRMEVÄXLARE
Förstudie för utomhusbad i Karlstad
- R 99:1980 L Backlund
TERMISK ENERGI UR VATTENDRAG FÖR TEMPERATURREGLERING AV
ASFALTYTOR
Förstudie
- R 109:1980 A Backman, J Hallenberg & K Norbäck
ENERGIUTVINNING UR YTVATTEN VIA VÄRMEPUMP
Förprojektering i Borlänge
- R 123:1980 A Lindahl, B Stenström & S Öst
VÄRMEPUMP FÖR UTVINNING AV HAVSVATTENVÄRME
Förstudie beträffande havsvattenvärmeväxlare
- R 136:1980 K Lindberg
VÄRMEUPPTAGNING UR MÖLNDALSÄN
Förstudie
- T 1:1981 B Svedinger (red.)
VÄRME I JORD, BERG OCH VATTEN
- T 23:1981 MILJÖKONSEKVENSER VID VÄRMEUTVINNING OCH VÄRMELAGRING I
MARK OCH VATTEN
- R 43:1981 H Jelbring
PROV AV VÄRMEPUMP MED SJÖFÖRLAGD VÄRMEVÄXLARE
Förstudie - slottet
- R 44:1981 J-E Nowacki
DIESELVÄRMEPUMP MED SJÖ- ELLER HAVSVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA
Förstudie - P 10 i Strängnäs
- R 49:1981 S-E Persson
VÄRMEPUMP MED ISMASKIN FÖR 43 LGH I SÄLEN
Förstudie

- R 65:1981 J Nordling, K Sandart
VÄRMEUPPTAGNING UR BOTTENSEDIMENT I SJÖAR
Förstudie
- R 92:1981 A Bernestål, G Hultmark
STORA VÄRMEPUMPAR MED HAVS- ELLER SJÖVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA
Förstudie
- R 126:1981 L Lemmeke
STORSKALIG VÄRMEFÖRSÖRJNING MED VÄRMEPUMP
- R 127:1981 J Hallenberg, H Ulander
SJÖVÄRME FÖR 140 SMÅHUS I TORSÅNG
Projektering och byggande
- Byggdok H Jelbring
VÄRMEPUMP MED ISMASKIN
Förprojektering
- Byggdok T Hellström
IVL B 557 VÄRMEUTVINNING UR SJÖAR
Förstudie
- R 45:1982 H Grafström, S Lagergren
VÄRMEPUMP VID FRILUFTSBAD MED HAVSVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA
- R 46:1982 J Hallenberg, K Norbäck
SJÖVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA TILL VÄRMEPUMP
Erfarenheter från uppvärmning av två småhus i Falun
- R 83:1982 L Backlund
TERMIŠK ENERGI UR VATTENDRAG
Värmeväxlare för sjövärmesystem - provanläggning i Storsjön





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

R143: 1982

ISBN 91-540-3837-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700643

Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirka pris: 50 kr exkl moms