



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.



## Termisk energi ur vattendrag för temperaturreglering av asfaltytor

Lennart Backlund

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	80-1588
Plac	Ser

K  
@Na

R99:1980

TERMISK ENERGI UR VATTENDRAG  
FÖR TEMPERATURREGLERING AV  
ASFALTYTOR

Lennart Backlund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790918-0 från  
Statens råd för byggnadsforskning till FFV Underhåll, Östersund.

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

R99:1980

ISBN 91-540-3306-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 055152

## INNEHÅLL

<b>1.</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrund	7
1.2	Projektets syfte	7
1.3	Avgränsningar	8
<b>2.</b>	<b>PROVANLÄGGNING</b>	<b>9</b>
2.1	Geografiskt läge	9
2.2	Energiupptagare	9
2.2.1	Nedgrävda slingor i sjöbotten	9
2.2.2	Värmeväxlare liggande på sjöbotten	9
2.3	Värmepump	10
2.4	Rörinstallation	10
2.5	Asfaltyta	11
2.6	Energilager	11
2.7	Mätutrustning	12
<b>3.</b>	<b>KOMMENTARER TILL UPPNÅDDA RESULTAT</b>	<b>13</b>
3.1	Upptagen energi	13
3.2	Värmefaktor	13
3.3	Uppvärmning av asfaltytan	13
3.4	Driftsättning av energilagret	14
3.5	Basenergi till bostäder	14
3.6	Laboratorieprov med ny värmeväxlare	15
BILAGA 1	Illustrationer	17



## SAMMANFATTNING

Syftet med det här projektet är att praktiskt och med största möjliga noggrannhet söka fakta i frågor som avser utvinning av termisk energi ur vattendrag.

Frågor rörande energilagring i mark och temperaturreglering av asfaltytor behandlas också i projektet. Fram till 1979-12-31 har en provanläggning byggts som ger möjligheter att prova ny utrustning och nya metoder för utvinning av energi ur vattendrag och asfaltytor, lagring av energi i mark samt temperaturreglering av asfaltytor. Anläggningen har körts sedan 1979-12-07.

Den gångna vinterns prov har visat att våra sjöar och vattendrag utgör en mycket tillförlitlig och stabil värmekälla.

Speciellt fördelaktig blir bilden om man utnyttjar den här värmekällan till att leverera lågtempererad basenergi kontinuerligt året runt. Behov med den driftprofilen finns också vid energiförsörjning av vårt bostadsbestånd. Stora mängder olja kan sparas om oljebaserad uppvärmning delvis ersätts med uppvärmning med termisk energi ur vattendrag.

Den här energikällan förefaller även ur pris-, drift- och miljösynpunkt väl kunna hävda sig i jämförelse med olja, även om man belastar termisk energi ur vattendrag med nödvändiga investeringskostnader.

En ny värmeväxlare har utvecklats av FFV Underhåll i Östersund. Den är avsedd att läggas på botten av ett vattendrag. Vid höga effektuttag och påfrysning motverkas uppflytning genom att rören fryser fast i vattendragets botten. Isen fördelar sig även jämnt utefter rören i längsled. Detta har verifierats vid laboratorieprov utfört vid tiden för framställningen av denna rapport. Värmeväxlaren är uppbyggd av standard PEL-rör och standardkopplingar. Den är därför billig att tillverka och mycket enkel att lägga ut. Vid utläggningen flyter värmeväxlaren. Den bogseras på plats, fylls med energibäraren varvid den sjunker och är sedan klar att användas.

Om medel beviljas kommer en värmeväxlare i normal storlek att tillverkas. Den läggs då i anslutning till provanläggningen. Vi kan då både visuellt och med hjälp av inbyggda givare noga följa påfrysningförloppet och verifiera och förbättra grunderna för dimensionering av dessa värmeväxlare.





## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Det ursprungliga problemet var halka på start- och landningsbanor. FFV Underhåll i Östersund fick 1977 av Försvarets Materielverk i uppdrag att söka alternativa metoder för att åtgärda halka på landningsbanor. Detta resulterade så småningom i uppbyggnad av en provanläggning i liten skala vid Sjöflyget, F4 i Östersund.

BFR gick in och började stödja en utvärdering av den energitek-niska delen av projektet 1979.

### 1.2 Projektets syfte

Syftet med provanläggningen var att undersöka möjligheten att reglera temperaturen hos en asfaltyta. Under sommaren tas energi från asfaltytan och lagras i ett energilager under asfaltytan. Under vintern tas energi dels från energilagret och dels från ett närbelä-gret vattendrag.

Om nödvändiga medel beviljas ska anläggningen köras kontinuer-ligt fram till 1981-05-01.

Inriktningen av projektet kommer då att bli problemställningar aktuella för BFR såsom:

- energiomsättning året runt i sjövatten, bottensediment, asfalt-yta och mark
- kartläggning av hur isutbredningen runt energiupptagare på sjöbotten sker
- temperaturprofiler året runt i bottensediment, asfaltyta och mark
- dimensionering och utveckling av energiupptagande anordning-ar i vattendrag
- praktiska problem vid utvinning av termisk energi ur vatten-drag med låg vattentemperatur
- energitransport och temperaturfördelning i system med energi-lager i form av nedborrade stålrör i mark
- uppbyggnad och underhåll av anläggningar för utvinning av termisk energi ur vattendrag med låg vattentemperatur
- metoder att förhindra och åtgärda halka på asfaltytor med hjälp av uppvärmning. Effekt och energibehov
- möjligheten att utnyttja asfaltytor som solfångare
- drift- och funktionssäkerhet för i anläggningen ingående kom-ponenter

## 1.3

## Avgränsningar

Kartläggning av energiomsättning i sjöbotten, bottensediment, asfaltyta och mark kan bara göras i den utsträckning som medges med hänsyn till installerad givar- och mätutrustning. Vi kan t ex ej uttala oss om inverkan på den totala vattenvolymen i den vik av Storsjön där energiupptagaren ligger.

Ett av de stora problemen vid uppbyggnad av ett energilager av storleksordningen 0,01 till 100 TWh är att åstadkomma termisk koppling mellan den använda markvolymen och energibäraren på ett ur ekonomisk synpunkt tillfredsställande sätt.

Den här anläggningen kan naturligtvis inte tillnärmelsevis ge lösningen på detta problem. Det vi hoppas få lite kunskaper om är temperaturfördelning och energitransport i rörsystemet och omgivande markvolym. Vi har ideer om hur man bör etablera stora energilager i mark. Vi har presenterat våra ideer för Johan Claesson Lunds tekniska högskola. Han menar att våra ideer är i linje med vad han rent teoretiskt har kommit fram till på det här området.

Vid utformningen av ett energilagringssystem är det lämpligt att betrakta mängden tillgänglig energi och mängden specifika behov av energi som ett system där energilagrets uppgift är att på ett optimalt sätt fördela den tillgängliga energin till de existerande behoven.

Det är därvid av största vikt att lagringen kan ske så att tillgänglig temperatur från varje energikälla utnyttjas. Ett annat önskemål är att behärska problemet med förlusterna.

Energilagret bör bestå av i marken bildade koncentriska zoner avgränsade av tänkta isoterma ytor. Se figur 1.3.1.

De högsta temperaturerna i centrum och avtagande temperaturer utåt. Lagret etableras med hjälp av i borrhål nedförda element för styrning av gas eller vätskeströmmar, ett datorbaserat styrsystem samt förbindelserör, ventiler, givare och kopplingar.

Energien till- och bortförs via de i marken nedborrade elementen. Varje zon karakteriseras av sin temperatur. Zonernas utbredning i rummet varierar i tiden beroende på mängden till- och bortförd energi av en viss temperatur. Datorn har dock hela tiden en aktuell bild av zonernas utsträckning i rummet och kan anvisa de zoner som i varje ögonblick bäst svarar mot till- eller bortförd energis temperatur.

## 2 PROVANLÄGGNING

### 2.1 Geografiskt läge

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

### 2.2 Energiupptagare

#### 2.2.1 Nedgrävda slingor i sjöbotten.

Energiupptagaren består av polyeten tryckrör typ PEL tryckklass PN6. Fem stycken 200 m långa rör med ytterdiametern 40 mm, godstjocklek 3,7 mm har parallellkopplats till en konfiguration enligt fig 2.2.1

Anslutningsledningen mellan energiupptagaren och värmepumpens förångare utgörs av två stycken polyeten tryckrör typ PEL, tryckklass PN6. Ytterdiametern är 90 mm och godstjockleken 8,2 mm. Vardera ledningen är 160 m lång.

Energiupptagaren lades ut och grävdes ned i maj 1979.

Storsjön regleras mellan nivåerna 290,50 m ö h sänkningsgräns och 293,25 m ö h dämningssgräns. Nedgrävningen av energiupptagaren gjordes 1979-05-21--22. Vattenståndet var då 291,07 resp 291,12 m ö h i Storsjön.

Sjöbotten består av finkornig sand och lera. Noggrann analys kommer att bifogas slutrapporten.

#### 2.2.2 Värmeväxlare liggande på sjöbotten

En ny värmeväxlare har utvecklats av Förenade Fabriksverken i Östersund.

Det är viktigt att tillverkningskostnad och installationskostnad inklusive utläggnings- och förankringskostnader minimeras för den här typen av anläggningar. Den här värmeväxlaren har utvecklats med tanke på detta.

Den består av standard PEL-rör. Den är utförd så att den vid is-påfrysning fryser fast i vattendragets botten. Detta förhindrar uppflytning utan dyrbara förankrings- eller belastningsåtgärder. Se punkt 3.6.

Den nya värmeväxlaren har ej tillverkats i full skala när den här delrapporten skrivs. Vi ber därför att få återkomma med utförligare beskrivning och data i slutrapporten.

Utläggning och drift av den här värmeväxlaren under en årscykel skulle kunna bidra till att ge kunskap i följande frågor.

- hur stor del av genom värmeväxlaren upptagen energi utgörs av isbildningsvärme respektive energi från omgivande bottensediment och vatten
- iskroppens utseende och utveckling i vatten och bottensediment
- hur stor är risken för permafrost
- vilken isbeläggning ger optimal energiekonomi för anläggningen

Genom kontinuerlig uppföljning via givare och registrerande mätutrustning samt visuell inspektion, mätningar och fotografering skulle grunderna för dimensionering av den här typen av värmeväxlare kunna erhållas.

### 2.3 Värmepump

Som värmepump används ett Carrier vattenkylaggregat typ 30 QA 013.

Nominell kylkapacitet 47,2 kW  
Nominell effektupptagning 11,9 kW

Ovanstående värden är baserade på en utgående kallvattentemp av + 7°C och en kondenseringstemp av + 35 °C.

Kylmaskinen är av halvhermetisk typ.

Som köldmedium används Freon R502.

Förångare: Tubpannetyp med u-formiga invaldade kopparrör.  
Effektiv kylyta 5,21 m<sup>2</sup>.

Kondensor: Tubpannetyp  
Vattenkylaggregatet är utrustat med kapacitetsreglering.

### 2.4 Rörinstallation

Rörinstallationen är utförd av Calor-Celsius i Östersund. Konstruktion och ritningar har gjorts av Calor-Celsius i Umeå sedan anläggningen skisserats av FFV Underhåll i Östersund.

Anläggningen består av fyra huvuddelar.

1. Vätskekylaggregat med förångare och kondensor
2. Sjödel
3. Asfaltdel
4. Värmelager

För vardera av sjödelen, asfaltdelen och värmelagret finns en rörkrets med i huvudsak följande utrustning.

Filter, flödesmätare, värmemängdsmätare, termometrar, manometrar, cirkulationspump, expansionskärl, stryp- och avstängningsventiler. Givar- och mätutrustning behandlas i punkt 2.7.

Sjödél, asfaltdel och värmelager kan kopplas direkt till varandra. De kan också kopplas till varandra via värmepumpen. Var och en av de tre enheterna kan därvid kopplas antingen till kondensator eller förångare.

Det är också möjligt att parallellkoppla enheter över förångare eller kondensator.

Som exempel kan nämnas att vid uttag av energi från asfaltytan, kan denna kopplas till värmepumpens förångare. En del av energin kan då föras till energilagret och en del till sjödelen genom att koppla dessa parallellt över värmepumpens kondensator. Mätutrustningen registrerar sedan kontinuerligt energiflödet till och från de olika enheterna.

Anläggningen är utrustad med automatiskt tryckhållningssystem.

## 2.5 Asfaltyta

En asfaltyta 10 m x 20 m har lagts enligt följande.

Först utjämning av befintlig grusyta med vägghyvel. Därefter utläggning av asfaltblandat grus  $220 \text{ kg/m}^2$  Ag. På detta lades ett slitlager av asfalt  $80 \text{ kg/m}^2$  Ab. I denna asfaltyta lades vid uppbyggnaden plaströr in enligt fig 2.5.1. De inlagda rören är av typ polyetenrör typ PEX med en ytterdiameter 25 mm och godstjockleken 2,3 mm.

## 2.6 Energilager

Ett energilager har etablerats under asfaltytan. 10 st 10 m långa stålrör med 140 mm ytterdiameter och 5 mm godstjocklek har borrats ner i olika vinklar in under asfaltytan. I 7 av dessa rör har speciella insatselement monterats. Dessa styr flödet av värmebäraren i rören. Marken runt rören utgörs av sand och lerlager. Jordanalys kommer att bifogas slutrapporten.

## 2.7

**Mätutrustning**

Den gångna vintern har en FLUKE 2240 B datalogger använts. Den har nu ersatts med en ACUREX Autodata Ten/10 datalogger.

Termoelement typ Chromel - Alumel samt RTD PT 100 -givare används vid temperaturmätningarna. Fig 2.7.1 visar hur givarna är placerade.

Upptagen information har registrerats på magnetband med hjälp av en till dataloggern ansluten bandspelare av märket Techtran typ 822 med två band.

Manuell avläsning och registrering av termometrar, flödesmätare samt elenergimätare har gjorts en eller flera gånger per dag.

Sedan vi nu har installerat den nya dataloggern kommer samtliga mätpunkter avseende värme, vätskeflöden, el och klimat att mätas och registreras av dataloggern. Den har också en matematisk beräkningsenhet så att beräknade värden kan registreras. Så kan t ex värmefaktorn beräknas med jämna mellanrum och registreras.

Vi har lagt ned en hel del arbete på att förbättra mätnoggrannheten. Det gäller främst åtgärder för att minimera temperaturberoendet i kopplingspunkten mellan termoelementgivarna och en 150 m lång kompensationsledning. Enligt fabrikanterna ska det inte finnas något sådant beroende, men det finns. Vi har dock kartlagt sambandet och hoppas kunna eliminera det felet nu genom att efter mycket noggrann tätning gräva ned kopplingsstället i sjöbotten. En noggrannare analys av mätnoggrannheten kommer i slutrapporten.

### 3. KOMMENTARER TILL UPPNÅDDA RESULTAT

#### 3.1 Upptagen energi

Anläggningen startades upp 1979-12-07. Den gick sedan, med undantag för fem korta stopp, dygnet runt varje dag till 1980-04-03. Avsikten var att bland annat testa energiupptagarens uthållighet och temperatursänkning vid kontinuerlig drift. Stoppen berodde på elavbrott vid tre tillfällen, rengöring av filter och ett cirkulationsprov i värmelagret. Vid stoppen har tid för start- och insvägningsförloppet räknats bort.

Under 2738 tim har 64 MWh tagits upp av förångaren. Temperaturen på inkommande värmebärare sjönk under den tiden  $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Under senare delen av perioden började temperaturen stiga igen. Lägsta uppmätta utetemperaturen under perioden var  $-39,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.2 Värmeffektivitet

Tillförd elenergi till kompressorn och de två ingående cirkulationspumparna var 32414 kWh. I förångaren upptagen energi under samma period var 64307 kWh. Om man använder dessa värden för beräkning av värmeffektiviteten blir den 2,98.

Den genomsnittliga värmeffektiviteten, beräknad med utgångspunkt från ovanstående totalvärden för perioden 1979-12-07 till 1980-04-03, blir således ca 3.

#### 3.3 Uppvärmning av asfaltytan

Enligt förutsättningarna för prov med uppvärmning av asfaltytor ska snöröjningsutrustning utan stålskär och stålborstar få användas. Det visade sig att med den dimensionering och de väderbetingelser vi har haft under provperioden har asfaltytan varit torr och ren från snö med undantag för perioder med mycket kraftigt snöfall. Sedan vi börjat använda en sopmaskin med plastborste har friktionen varit god vid alla väderbetingelser.

Den installerade effekten är nödvändig. Däremot krävs väsentligt mycket mindre energi än vad som har tillförts den här provperioden. Vi har som framgår av punkt 3.1 prioriterat uthållighetstestet av energiupptagaren. Egentligen ska ingen energi köras ut till asfaltytan vid torr väderlek. En mer utförlig redogörelse kommer i slutrapporten 1981-05-15.

### 3.4 Driftsättning av energilagret

Enligt planerna skulle uppladdning av värmelagret påbörjas efter nyår 1980, sedan den nya dataloggern installerats. Den har utrustning för flödesmätning och klarar upp till 120 mätpunkter. På grund av förseningar och felleveranser från leverantören i USA har den kompletta utrustningen blivit tillgänglig först i början av maj 1980. För att få överensstämmelse med de modeller som utvecklats av Johan Claesson och hans forskargrupp vid LTH vad gäller insvängningsförlopp etc vid energilagring i mark ville vi ha mätutrustningen komplett innan energi började tillföras energilagret. Vi ber därför att få återkomma med resultat från energilagringens del i slutrapporten 1981-05-15.

### 3.5 Basenergi till bostäder

Den gångna provperioden har visat att energi kan tas kontinuerligt året runt via plaströr lagda i eller på botten av ett vattendrag. Det faktum att en dimensionering på 20 W/m rör ger ett system som i princip kan ge denna effekt kontinuerligt dygnet runt, året runt i princip hur länge som helst, öppnar nya perspektiv.

Genom att dimensionera och använda den här typen av anläggningar så att de kan gå kontinuerligt året runt kan billig, säker inhemsk energi erhållas. Man kan tänka sig att förse bostäder med basenergi t ex 15 MWh per lägenhet. Det skulle då avse den energi som ligger längst ned på temperaturskalan. Detta är redan i dag ekonomiskt fördelaktigt och skulle kunna spara stora mängder olja. Den del av energin som ligger högre på temperaturskalan skulle täckas med redan befintliga anläggningar för olja eller fasta bränslen.

Eftersom den nya metoden innebär investeringar måste driftskostnader plus fördelade investeringskostnader jämföras med enbart driftskostnader för t ex redan befintliga oljeanläggningar.

Följande räkneexempel visar ungefär vilket kWh -pris det rör sig om inklusive investeringskostnader.

Förutsättningar:

Ur vattendraget upptagen effekt: 23 kW

Värmefaktor: 3

Elpris 0,2 kr/kWh

Investeringskostnad: 150 000 kronor

Kalkylränta: 15 %

Ekonomisk och teknisk livslängd: 20 år

Drifttid: 20 x 8760 tim

Kapitalkostnad: 0,08 kr/kWh

Energikostnad: 0,07 kr/kWh



Eftersom den här driftsbilden är mycket förmånlig för elkraft-distributören bör möjligheter finnas att träffa specialavtal vilket skulle sänka kostnaderna ytterligare. Den här typen av anläggningar är uppbyggda på mycket driftsäkra enheter som kräver mycket liten tillsyn. Kostnaden för drift och underhåll kan därför sättas betydligt lägre än för motsvarande oljepanneanläggningar.

### 3.6

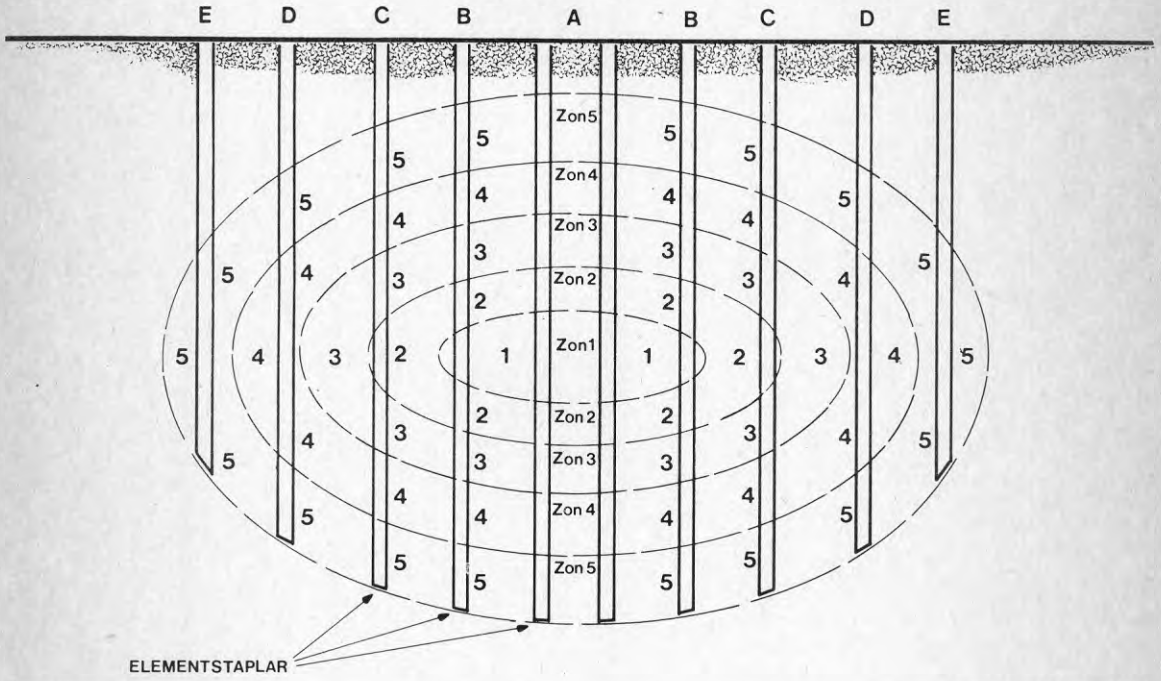
#### Laboratorieprov med ny värmeväxlare

Den i punkt 2.2.2 omnämnda värmeväxlaren provas för närvarande 1980-05-08 i ett laborietest. Ett åtta meter långt rör utfört så att isbildningen ska ske snabbare nedåt än uppåt har lagts i en tio meter lång bassäng med sandbotten. Det här speciella utförandet hos röret ska dessutom ge en i huvudsak jämn påfrysning i rörets längdriktning.

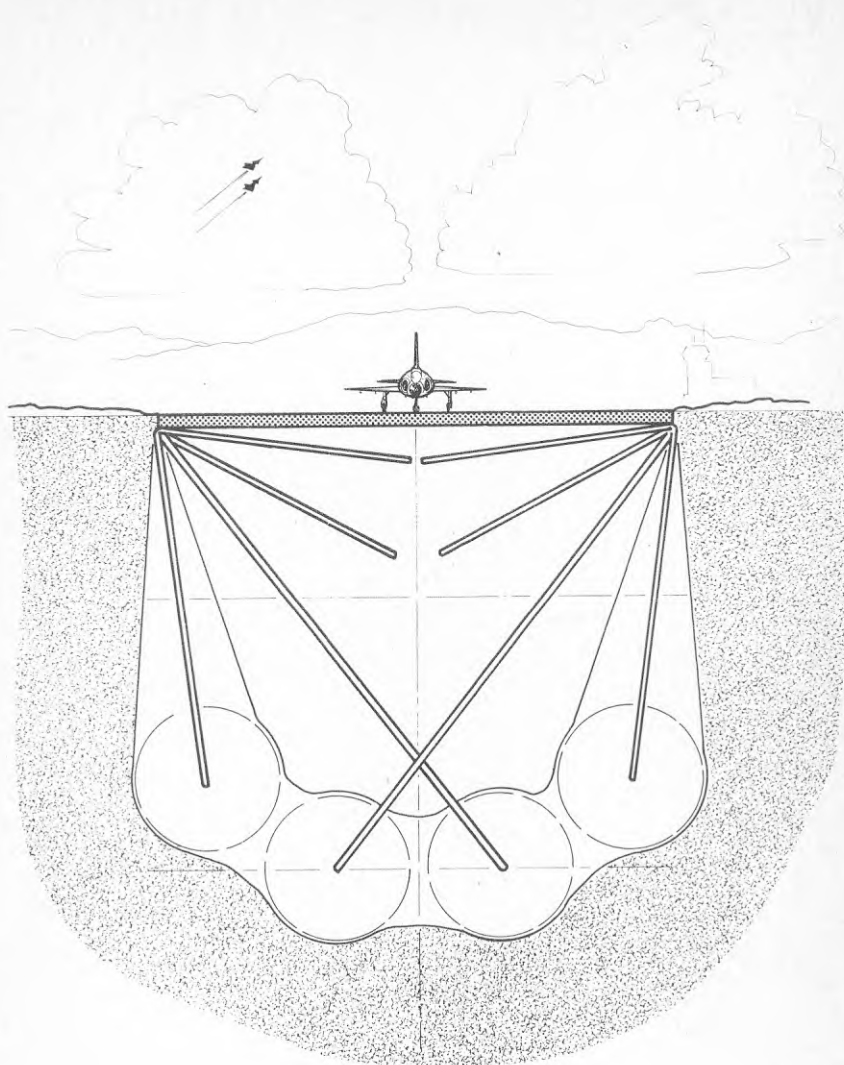
Vi har när den här rapporten skrivs kunnat konstatera att isen utvecklar sig snabbare nedåt och att röret sitter hårt fast i botten. Iskroppen runt röret har nu en diameter på ca 200 mm. Den har i huvudsak samma diameter längs hela röret. Diametern är dock något större (ca 10 mm) vid utloppsändan än vid den ände av röret där köldbäraren går in i röret. Detta beror på dimensioneringen av de inre delarna i röret. Vi hoppas få medel så att en värmeväxlare av normal storlek kan läggas i Storsjön och anslutas till provanläggningen. Vi kan då både visuellt och med hjälp av inbyggda givare noga följa påfrysningsförloppet under höst, vinter och vår.



## ILLUSTRATIONER

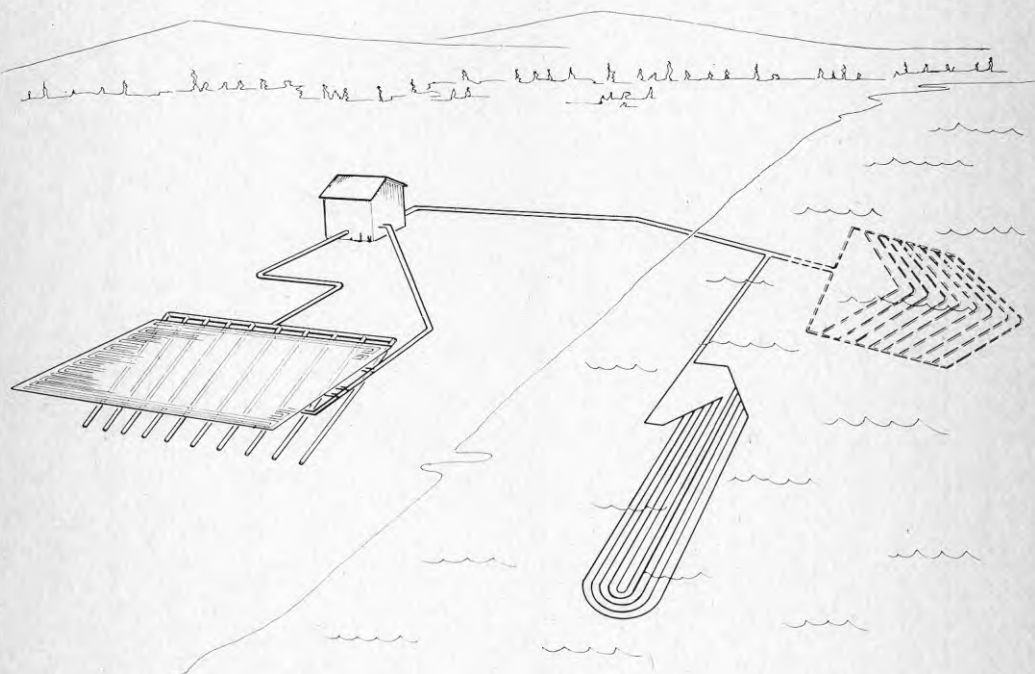


Figur 1.3.1 Energilager för lagring av stora energimängder med olika temperaturer.

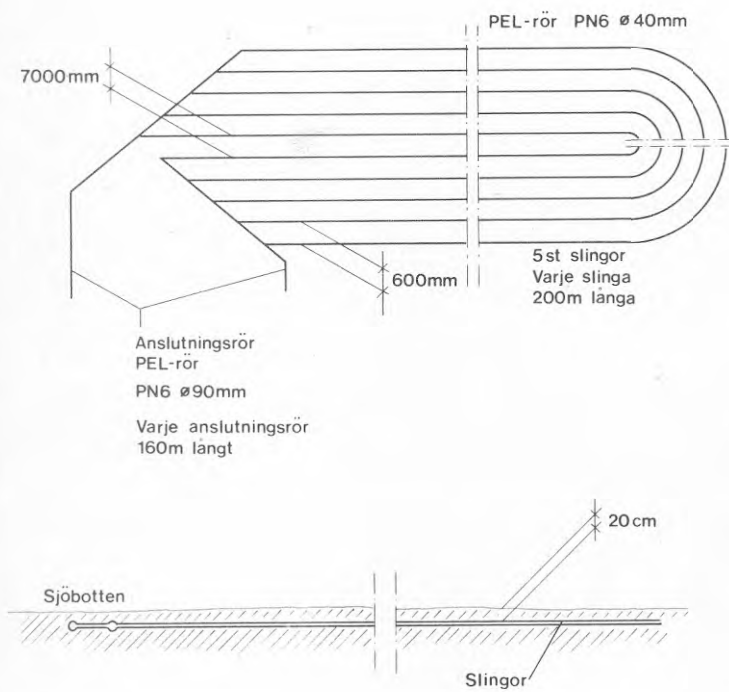


Kuva 75

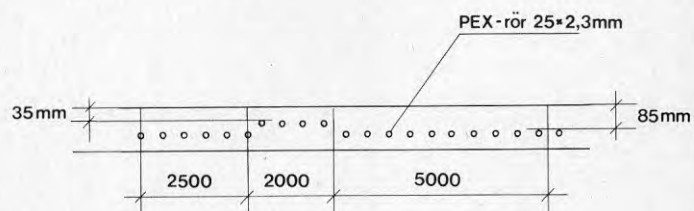
Figur 1.3.2 Energilager med olika temperaturzoner under landningsbana



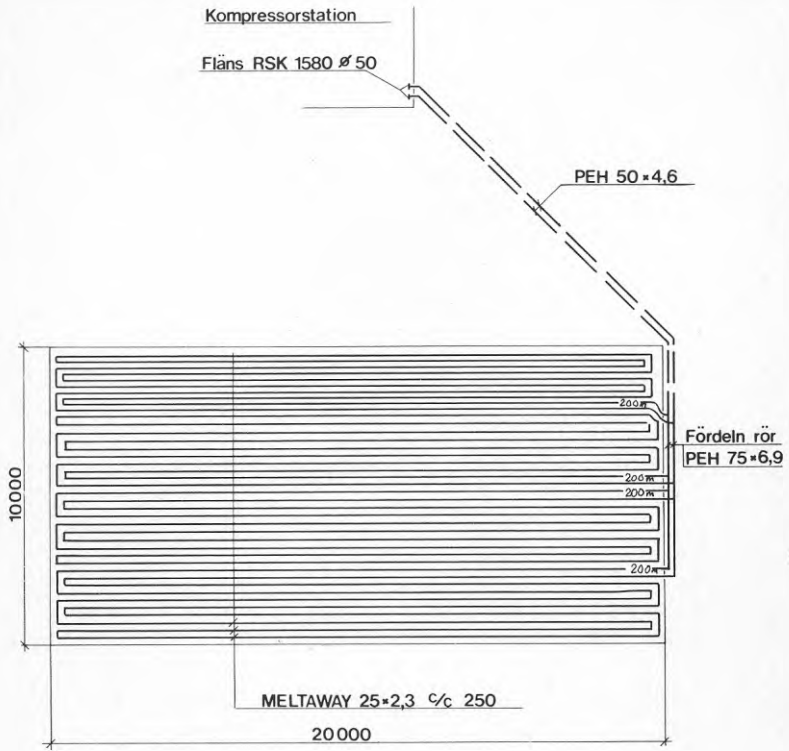
Figur 2.1.1 Provanläggning bestående av maskinrum, asfaltyta med inlagda PEX-rör, energilager under asfaltytan, energiupptagare nedgrävd i botten sedimentet i sjön samt med streckade konturlinjer den nya värmepumpen som ännu ej är installerad.



Figur 2.2.1.1 Energiupptagare

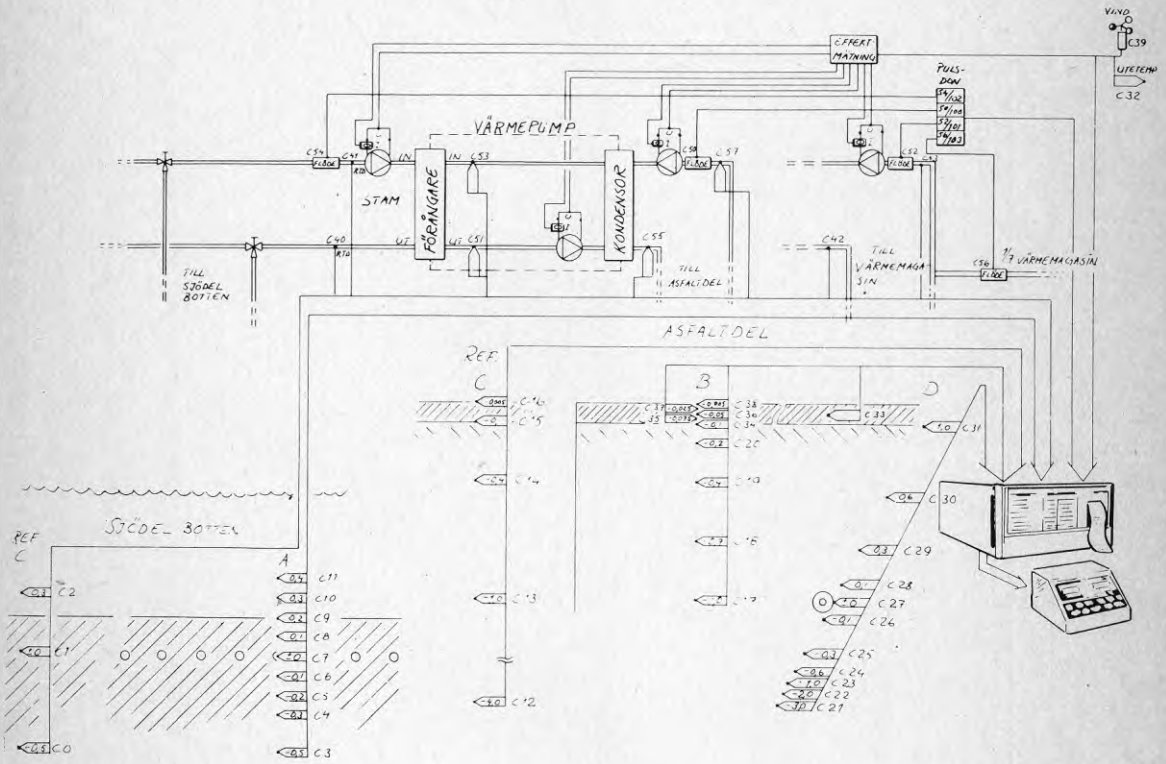


Figur 2.5.1 PEX -rör i asfaltytan. Vy från ena ändytan  
cc-avstånd se fig 2.5.2

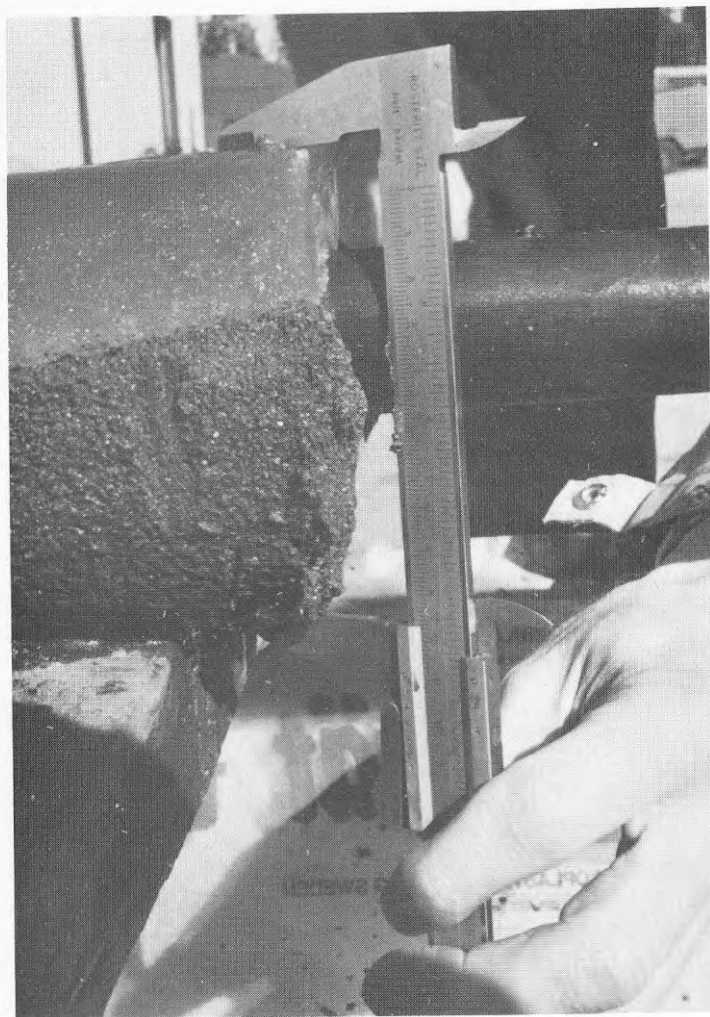


Figur 2.5.2 Asfaltyta med PEX-rör





Figur 2.7.1 Skiss över ingående mätpunkter för automatisk mätning och registrering



Figur 3.6.1 Detalj av den nya värmväxlaren.  
En speciell styrning av flödet inne i röret gör att isen växer snabbare nedåt än uppåt. Röret fryser därför fast i botten.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790918-0  
från Statens råd för byggnadsforskning till FFV Underhåll,  
Östersund.**

**R99: 1980**

**ISBN 91-540-3306-3**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700199**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**Cirka pris: 15 kr exkl moms**