



Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers tekniska högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

Värmepumpanläggning för provning
av sjövärmekollektor

av

Michael Morin och Johan Pihlgren

Examensarbete
nr 1989:3

Adress: Inst.f. vattenbyggnad
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg

Tel.: 031/72 10 00

FÖRORD

För möjligheten till ett roligt och intressant examensarbete vill vi tacka våra handledare Torbjörn Svensson och Lars-Ove Sörman, som även hjälpt oss såväl praktiskt som teoretiskt.

Vi vill också rikta ett stort tack till Stefan Aronsson på Institutionen för Installationsteknik, som alltid ställt upp för oss, till Bengt Karlsson och Kalle Djärv som tillverkat flera av de komponenter vi behövt och till familjen Petersen, utan vars hjälp vi hade tvingats välja en annan försöksplats.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | | sid. |
|------|---|------|
| | SAMMANFATTNING | 1 |
| 1 | BAKGRUND | 2 |
| 2 | EXAMENSARBETE | 3 |
| 3 | ALLMÄNT OM VÄRMEPUMPEN | 5 |
| 3.1 | FÖRÅNGAREN | 7 |
| 3.2 | KOMPRESSORN | 9 |
| 3.3 | KONDENSORN | 11 |
| 3.4 | STRYPVENTILEN | 12 |
| 3.5 | SJÖKOLLEKTORN | 13 |
| 3.6 | VÄRMETILLFÖRSEL FRÅN OMGIVNINGEN TILL EN BOTTENFÖRLAGD SLANG | 13 |
| 3.7 | ISENS LYFTKRAFT | 15 |
| 4 | LABORATORIEFÖRSÖKEN | 16 |
| 4.1 | BASSÄNGEN | 17 |
| 4.2 | FÖRSÖKEN | 18 |
| 5 | DATORPROGRAMMET SJÖKOLL. | 22 |
| 6 | VÅR ANLÄGGNING | 23 |
| 6.1 | ANLÄGGNINGENS UTFORMNING | 23 |
| 6.2 | ANLÄGGNINGENS PLACERING | 25 |
| 6.3 | SAMMANFATTNING INGÅENDE KOMPONENTER I ANLÄGGNINGEN | 27 |
| 6.4 | ANLÄGGNINGENS FUNKTION | 28 |
| 6.5 | VÄRMEPUMPEN | 28 |
| 6.6 | BRINESYSTEMET | 29 |
| 6.7 | VÄRMEVATTENSYSTEMET | 32 |
| 6.8 | MÄTUTRUSTNINGEN | 34 |
| 6.9 | REGISTRERINGSSENHETEN | 38 |
| 6.10 | VÄRMEVATTENSYSTEMETS MÄTARE | 38 |
| 6.11 | ISMÄTARE | 40 |
| 6.12 | KÖRNING AV SYSTEMET | 41 |

| | | |
|-----|---|----|
| 7 | UTVÄRDERING AV MÄTDATA | 43 |
| 7.1 | MÄTDATA | 44 |
| 7.2 | BERÄKNING AV UPPTAGEN KYLEFFEKT | 45 |
| 7.3 | FELTEORI | 45 |
| 7.4 | SAMMANFATTNING AV PROVKÖRNINGEN | 46 |
| 7.5 | VÄRMEPUMPENS DRIFTEGENSKAPER | 47 |
| 8 | JÄMFÖRELSE MED DATORPROGRAMMET SJÖKOLL. | 48 |
| 9 | DISKUSSION | 49 |
| 9.1 | ÅTGÄRDER FÖR ATT MINSKA FELEN | 51 |
| 10 | SLUTSATSER | 52 |
| 11 | REFERENSER | 54 |
| 12 | BILAGOR | |
| | SAMMANSTÄLLNING AV MÄTVÄRDEN | |
| | BRINETEMPERATUR | |
| | SJÖTEMPERATUR | |
| | DATORKÖRNING | |
| | VÄRMEPUMP OCTOPUS | |
| | VÄRMEMÄNGDSMÄTAREN | |
| | REGISTRERINGSSENHETEN LOGIT | |
| | PROPYLENGLYKOL | |

SAMMANFATTNING

Vår uppgift har varit att bygga upp en komplett, transportabel värmepumpanläggning avsedd för fältprovning av sjövärmekollektorer. Anläggningen är uppbyggd kring en villavärmepump typ Octopus, vilken kompletterats med bl a två pumpar, 150 m slang som värmeupptagande slinga och mätutrustning för vattentemperatur, flöde m m.

Då anläggningen skall stå ute under vintern har vi byggt in huvuddelen i en låda med måtten 1.2*1.3*1.6 m. Lådan har isolerats väl för att inte riskera att vattnet i ledningarna skall frysa till is vid ett eventuellt strömavbrott.

När allt var klart gjorde vi några testkörningar i en bassäng innan anläggningen placerades ut vid L. Stamsjön utanför Lerum. Den aktuella utplaceringsplatsen valdes på så sätt att dimensionerande förhållanden för sjövärmekollektorn kunde förväntas under vintern. Den värmeupptagande slangen lades i vattnet utefter stranden på ca 2 m djup. Ström fick vi tillåtelse att ta från en närliggande villa.

Fältproven av kollektorslangens avsåg i första hand typiska svenska vinterförhållanden, med en istäckt sjö och en vattentemperatur kring 0.5°C. För att vi skulle kunna utvärdera slangens värmeupptagande förmåga och jämföra med resultat från tidigare utförda laborieförsök på CTH,

väntade vi alltså på kallt väder. Vintern 1988/89 blev emellertid den mildaste på 100 år, varför vi och våra handledare fick nöja oss med resultat vid isfri sjö och temperaturer på 2-3°C. Resultaten visar att vi byggt en fungerande värmepumpanläggning som går att utnyttja vid fortsatta försök under kommande vintrar.

1. BAKGRUND

Värmeutvinning från ytliga vattensamlingar, med hjälp av värmepump, kallas ytvattenvärme. Under oljekrisen på 70-talet började man prova denna energikälla bland många andra som alternativ till oljan. Då ytvattenvärme vid goda yttre förhållanden visat sig lönsamt har allt fler anläggningar tillverkats för detta ändamål.

Värmeuttag ur ytvatten kan göras med öppna eller slutna system. Värmeuttag med slutna system bygger på att en vätska cirkulerar i en eller flera slangar nedlagda i vattnet. Vätskan har lägre temperatur än det omgivningen, vilket gör det möjligt att ta upp värme från vattnet.

Ytvattenvärme med slutna system utnyttjas framför allt för uppvärmning av enskilda hus eller mindre områden, eftersom slangarna i vattnet måste vara långa. För en villa krävs några hundra meter slang. Driftkostnaden är

låg, medan anläggningskostnaden är högre än för många andra energianläggningar. Lönsamheten gentemot andra energiformer bestäms av om driftkostnadsvinsten är högre än skillnaden i kapitalkostnad. Under några år i mitten av 80-talet var de ekonomiska villkoren gynnsamma för värme-pumpsystem och ett stort antal sådana installerades också, bl a i form av ytvattenvärme. För närvarande är dock lönsamheten sämre beroende på ett lägre oljepris.

2. EXAMENSARBETET

Torbjörn Svensson och Lars-Ove Sörman på institutionen för vattenbyggnad på CTH, gjorde under 1982-83 en serie laboratorieförsök för att undersöka värmeuttag med bottenförlagda slangar. Undersökningen syftade till att bestämma värmeflödet till en bottenförlagd slang från omgivande vatten och bottenmaterial som funktion av vätskans temperatur, vattnets temperatur och strömningshastighet. Även storleken av isen kring slangen bestämdes.

I en bassäng med volymen 20 m³ efterliknades naturliga vinterförhållanden i sjöar. Såväl vattentemperaturen som värmeflödet från botten kunde regleras. En 10 m lång plastslang användes som värmeupptagande slinga. Försök gjordes med tre olika bottenförhållanden;

1. Slang på sandbotten
2. Slang nedbäddad till hjässan i sand
3. Slang nedbäddad 10 cm i torv. (Se [9]).

Vårt examensarbete 'Fältprov av sjövärmekollektor' avser att bygga upp en transportabel utrustning för att mäta värmeupptagning och ispåfrysning på en kollektorslang i fält. I uppgiften ingår också utplacering och provmätningar på sandbotten i lämplig sjö under väl kontrollerade betingelser. Detta för att kolla laboratorieförsökens resultat och för att vinna praktiska erfarenheter.

Provanläggningen skall byggas upp utgående från en värmepump av fabrikat Octopus, skänkt av Octopus Energi AB. Plats för anläggningen väljes så att bottenförhållanden kring slangen blir så lika laboratorieförsökens som möjligt. Slangen bör läggas på en ganska fast botten på 1-3 m djup och vattentemperaturen på slangdjupet bör vara mellan 0.3°C och 0.7°C . Slangens längd bestäms så att en rimlig ispåfrysning bildas i detta intervall med dessa förutsättningar.

Mätutrustning installeras så att temperaturen i inkommande och utgående värmeupptagande vätska samt i vattnet kring slangen kan avläsas. Den energimängd som värmekollektorn tar upp och ispåfrysningen skall också kunna mätas. Anläggningen skall köras några veckor under vintern. De värden som fås skall utvärderas och jämföras med beräkningar, datorprogram och laboratorieförsök.

3. ALLMÄNT OM VÄRMEPUMPEN

Värmepumpen arbetar enligt kompressorkylprocessen som är en cirkelprocess, se fig 1 . Den kan delas upp i fyra huvudkomponenter; förångare, kompressor, kondensor och strypventil.

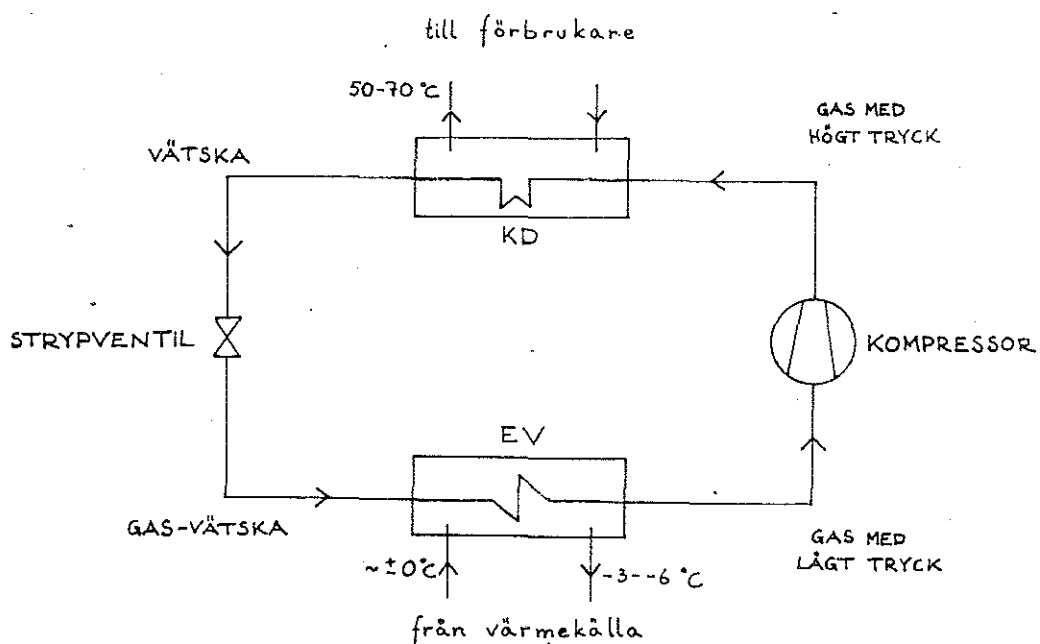


Fig 1. Principschema kompressorkylmodellen.

Värmepumpens uppgift är att ta värme från vattnet och utnyttja detta värme vid en högre temperatur för t ex villauppvärmning. Värmeuttaget sker genom att en vätska som är kallare än omgivande vatten cirkulerar i en bottenförlagd slang och värms upp. Vätskan leds in i förångaren och förångar vid lågt tryck ett köldmedium. Denna ånga förs därifrån till en kompressor där trycket och därmed temperaturen höjs. Nu är temperaturen tillräckligt hög för att kunna värma det vatten som ska utnyttjas för uppvärmning. Värmet avges huvudsakligen i en kondensor, då ångan kondenserar till vätska. För att sänka trycket, så att processen ska kunna köras igen på samma sätt, används en strypventil kopplad efter kondensorn. Köldmediet har nu återtagit samma tryck och temperatur, som det hade när vi startade och kretsloppet kan köras igen. Detta är alltså ett slutet system.

Eftersom köldmediet uppvärms och förångas med nästan nollgradigt vatten, krävs ett medium med kokpunkten lägre än noll. I villavärmepumpar används vanligen R22, som är en CFC-förening (freon), se fig 2 .

Förångaren omvandlar vätskan till gas vid oförändrat tryck 1-2. Kompression och temperaturhöjning sker enligt 2-3. Linjen följer entropilinjen-förlustlinjen om kompressionen sker med hundra procentig verkningsgrad. Men i praktiken förekommer alltid någon förlust, varför linjen förskjuts något åt höger i diagrammet, dvs mot högre entropi. Kondensering sker under konstant tryck, vilket visas med linje 3-4. Strypventilen sänker trycket med konstant entalpi (en tillståndsfunktion som talar om hur mycket värme som tillkommer eller bortförs) 4-1 och vi är tillbaka där vi började.

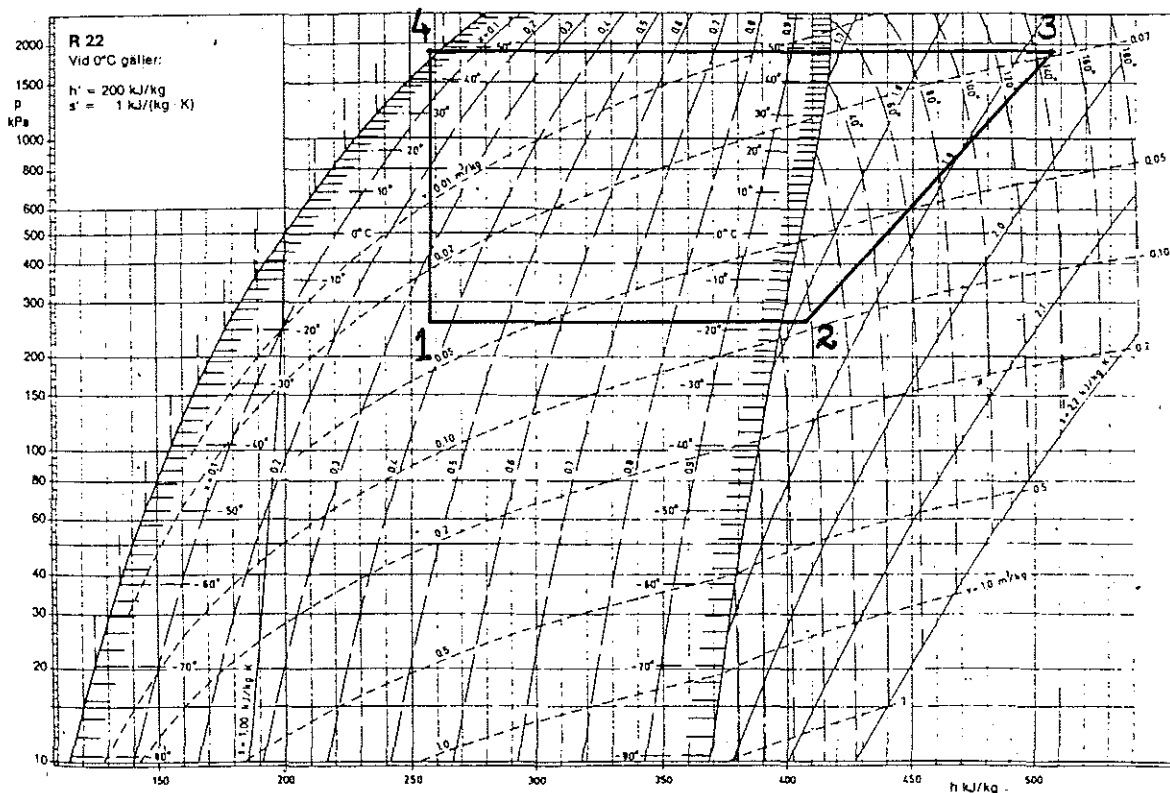


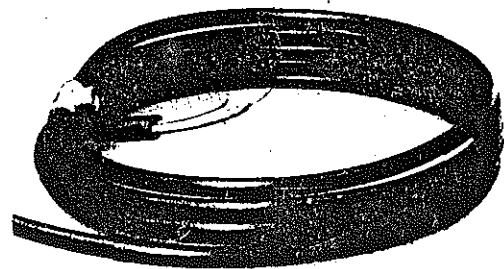
Fig 2 h-log p-diagram med schematisk arbetscykel.

3.1 Förångaren

Flera olika typer av förångarkonstruktioner finns tillgängliga beroende på temperatur, storlek, värmekälla m m, se fig 3. En närmare beskrivning av förångaren i vår anläggning ges i kap 6.6 .



Fig 3
Direktförångare
för uteluft.



Indirekt förångare
för brinesystem.

Då anläggningen troligtvis körs vintertid, då värmen behövs som bäst, måste köldmediet koka vid låg temperatur eftersom sjö/havs-vattnets temperatur är nära noll. Köldbärarvätskan består av vatten blandat med glykol (vanligtvis) för att sänka frys-punkten. Även rostskyddsmedel tillsätts.

3.2 Kompressorn

Kompressorns uppgift är att komprimera ångan och därmed också höja temperaturen (se fig 2). Trycket höjs ungefär 10 ggr och temperaturen ökar till omkring 100°C . Kompressorn kan ses som systemets pump som driver runt processen, eftersom trycket där höjs, för att senare i kretsloppet sänkas med hjälp av en ventil. En värmepumpanläggnings prestanda och verkningsgrad är alltså starkt beroende av kompressorns egenskaper.

För små anläggningar, såsom vår Octopus värmepump, är kolvkompresorn mest använd. Köldmediet sugas då portionsvis in i systemet och komprimeras med hjälp av en kolv, se fig 4.

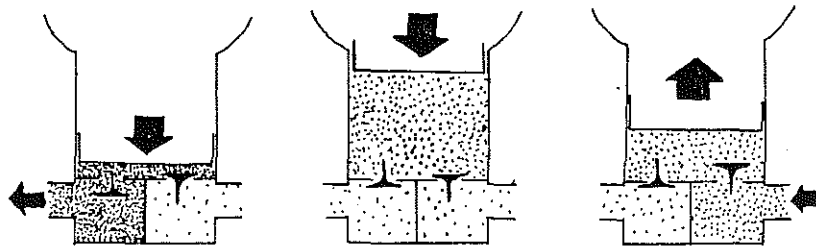


Fig 4 En kolvkompresors arbetssätt.

Ofta är kompressorn helhermetisk, se fig 5, vilket innebär att drivmotorn och själva kompressionsdelen är inneslutna i ett hermetiskt tätt hölje. Fördelar med detta är att ljudnivån sänks, vilket är viktigt då det handlar om villavärmepumpar, att mindre utrymme krävs samt att riskerna för läckage minskar.

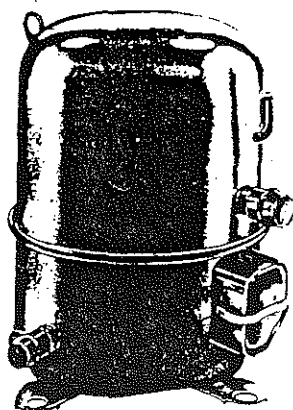


Fig 5 Helhermetisk kolvkompressor.

Eftersom kompressorn blir varm av den höga temperaturen, måste den kylas. Då det är av intresse att få ut så mycket värme som möjligt, bör också kompressorns värmeavgivning tas till vara. Kylningen kan göras med gas, olja, vatten eller direkt till luften med strålning. Drivmotorn i kompressorn är elektrisk.

3.3 Kondensorn

Det är i kondensorn som systemet avger sin värme. Kondensorn är en värmeväxlare, där det värmeavgivande mediet är köldmedieånga och det värmeupptagande mediet är vatten. Köldmedium med högt tryck och hög temperatur från kompressorn går in i kondensorn. Värmeavgivningen sker genom att köldmediet kondenserar på grund av det omgivande vattnets lägre temperatur. Vattnet å sin sida tar upp den av köldmediet, avgivna värmeenergin och ökar sin temperatur några grader.

Kondensatorer kan vara med- mot- eller korsströmskopplade, se fig 6. Vid medströmskoppling kan man inte få ut högre temperatur än utloppstemperaturen på vattnet, vilket är möjligt vid mot- och korsströmskoppling.

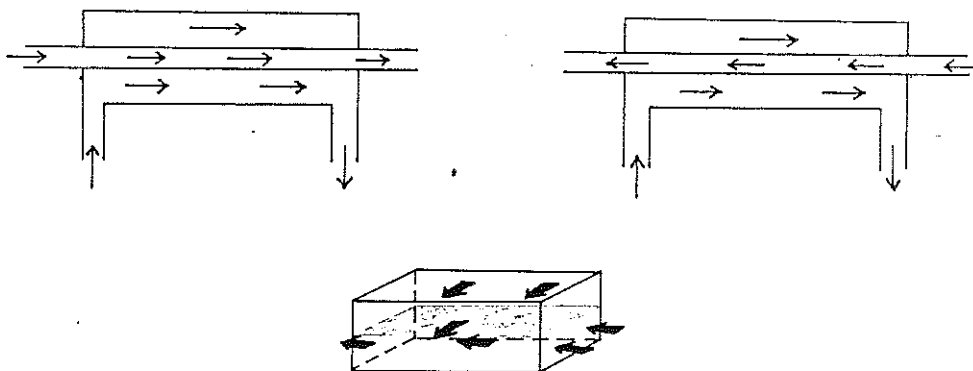


Fig 6 Med- mot- och korsströmskoppling.

3.4 Strypventilen

Stryporganet är en anordning med uppgift att upprätthålla tryckskillnaden mellan hög- och lågtryckssidan och samtidigt reglera köldmedieflödet. Beroende på dess funktion och arbetssätt kan man skilja på följande typer:

- * Hand-och motormanövrerade ventiler
- * Flottörventiler
- * Termostatiska och automatiska ventiler
- * Kapillärrör

I vår anläggning används kapillärrör. Dess lämplighet som stryporgan beror på att dess kapacitet är mycket större vid vätskeströmning än vid gasströmning. I rörets första del är tryckfallet linjärt och strömningen är där en ren vätskeströmning. Då trycket sjunkit till ångtrycket vid aktuell temperatur, börjar gasbildningen i röret. Då ökar volymen och därför också hastigheten, vilket gör att tryckfallet per längdenhet av den resterande delen av röret blir större och större. När kritisk hastighet uppnåtts, har en ytterligare sänkning av förångningstrycket ingen inverkan på massflödet genom kapillärröret. Däremot kommer en ökning av inloppstrycket alltid att innebära en ökning i massflöde.

Kapillärröret används framför allt till små kylsystem med hermetiska kompressorer. Ihopsättningen är mycket viktig, då även små avvikelser i fyllningsmängd av köldmedium och olja, eller då smuts och fukt kommit i systemet, kan sänka driftsäkerheten.

3.5 Sjökollektorn

Eftersom energi framför allt behövs vintertid och vattnet är varmare på djupet under denna årstid, lägges slangarna (kollektorn) vanligen så djupt som möjligt. (För slangarnas koppling till systemet, se kap 6.1.) Slangarnas längd beror på vattenområdets egenskaper och värmeuttagets storlek. För en enskild villa används ofta ungefär 400 m. För en industri eller ett bostadsområde kan slanglängden uppgå till många kilometer, kanske flera mil.

3.6 Värmetillförsel från omgivningen till en bottenförlagd slang

Värmetillförseln från omgivningen sker på tre sätt:

- * via värmeledning från sediment och vatten
- * via termisk konvektion och naturlig strömning i vattnet
- * via isbildningsvärmets då vatten fryser kring slangen och värmeledning genom isen

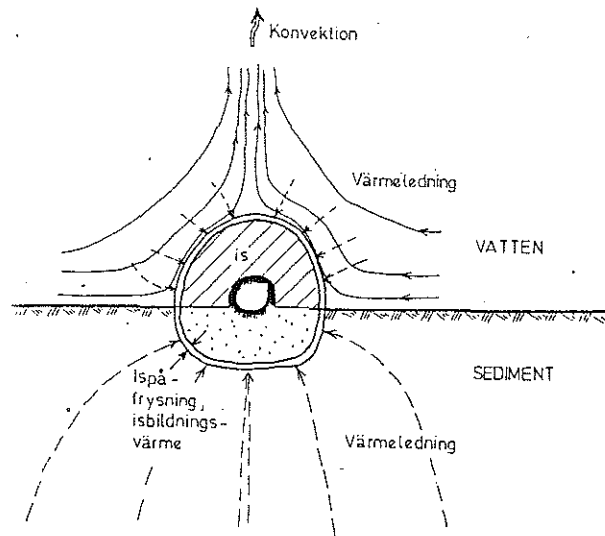


Fig 7 Principskiss av de processer som överför värme från omgivningen till en bottenförlagd kylslang. (Från Svensson och Sörman, 1983.)

Värmeledningen från sedimenten är beroende av dess temperatur och värmeledningsförmåga. Under vintern sänks bottenmaterialets temperatur på grund av dess värmeavgivning till vattnet och på grund av slangarnas avkylning, varför denna värmeförsel då minskar. I stället tar köldbärarvätskan upp isbildningsvärme från isen kring slangerna. Detta värme leds då radiellt genom isen till slangerna. När ispåväxten ökar, ökar också den nollgradiga värmeupptagande ytan samtidigt som värmeledningen minskar. Isens tjocklek går på så sätt mot ett stationärt värde vid i övrigt stationära förhållanden.

Vattnets strömning gör att nytt vatten ständigt kommer i kontakt med slangen eller isen kring slangen. Om vattnet står stilla, uppstår en egenkonvektion på grund av kylningen kring slangen. Konvektionens riktning beror på om vattentemperaturen är högre eller lägre än $+4^{\circ}\text{C}$. Om temperaturen är över $+4^{\circ}\text{C}$ kommer det vatten som slangen kylt att sjunka, eftersom vattnets densitet är störst vid denna temperatur. I annat fall stiger det kylda vattnet.

3.7 Isens lyftkraft

Eftersom slangen tar värme från intilliggande vatten sänks här temperaturen. Då denna temperatur vintertid är nära noll, kommer is att bildas kring slangen, vilket gör att slangen kan flyta upp. Som riktvärde kan isens lyftkraft sättas till 2-4 kg per meter slang, se fig 8. Detta måste beaktas vid förankringen. Dock kan slangen frysa fast vid botten, om bottenens densitet överstiger 1200 kg/m^3 och slangen ligger dikt an mot sedimenten. Ibland måste även vågkrafter på slangen beaktas.

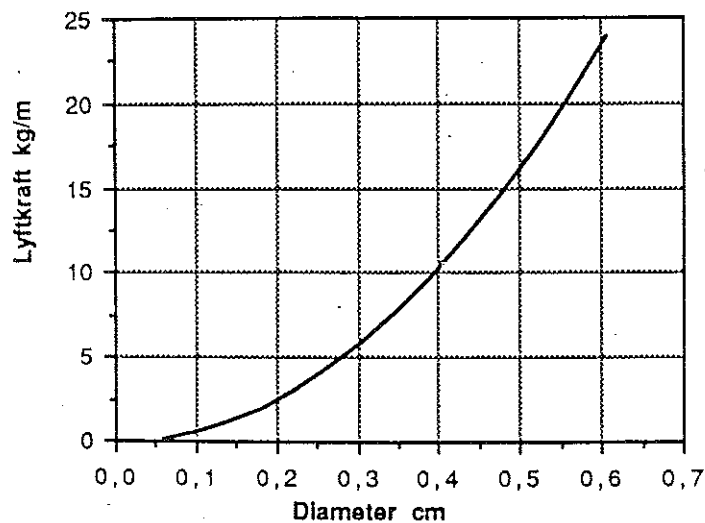


Fig 8 Lyftkraft på slangen som funktion av isdiameter.
(Från Svensson, 1989.)

4. LABORATORIEFÖRSÖK

I Torbjörn Svenssons och Lars-Ove Sörmans laboratorieförsök gjordes undersökningar med slang på botten, slang nedbäddad till hjässan i sand och slang nedbäddad 10 cm i torv. I deras rapport redovisas bland annat värmeflödet till en kylslang från omgivande vatten och bottenmaterial som funktion av köldbärarvätskans temperatur. Även istjockleken av den kring slangen bildade isen bestämdes.

Detta kapitel kommer kortfattat att beskriva försöksbassängens uppbyggnad och referera de för vårt examensarbete, intressanta resultaten. Först vill vi dock citera projektets målsättning:

"Projektet syftar till att bestämma värmeflödet till en kylslang från omgivande vatten och bottenmaterial som funktion av köldbärarvätskans temperatur. Dessutom bestäms storleken på den påfrysning som erhålls.

Försöken utföres i stillastående vatten vid de temperaturförhållanden som är typiska för sjöar vintertid, dvs 0-4°C, och med naturligt förekommande värmeflöden från bottensedimenten till vattnet. Slangdimensioner, typ av köldbärarvätska och vätskeflöden väljes efter utbildad praxis, men resultaten ska med teoretiska metoder kunna överföras även till andra utformningar. För att efterlikna naturliga förhållanden skall försöken göras med olika bottenmaterial, sand resp. vattenrika organiska sediment samt med olika grad av nedsjunkning."

4.1 Bassängen

Bassängen byggdes i V-sektionens klimatrum (CTH), för att i största möjliga mån kunna efterlikna de förhållanden som råder i sjöar vintertid. Bassängens volym gjordes till drygt

20 m³ med djupet ca 1.2 m. Av detta användes ungefär en halv meter till bottenmaterialet och till en blindbotten som utnyttjades till att hålla sedimenttemperaturen konstant. Vattentemperaturen reglerades mellan 0.5 och 8°C med hjälp av klimatrummets temperaturreglering. För att minska egenkonvektionen isolerades bassängens sidor väl. För att hålla värmeflödet genom botten konstant, installerades temperaturreglerings- och temperaturregistreringsutrustning. Temperaturen mättes på 12 olika punkter i anläggningen. Då vissa temperaturdifferenser var väldigt små, var det viktigt att mätutrustningen var bra och att avläsningarna gjordes noggrant. Även mätare för effekt, istjocklek och flöde användes.

Den bottenförlagda kollektorslangen av PEL 40/32.6 var 10.7 m lång, i vilken en blandning av 75% vatten och 25% etylenglykol cirkulerade.

4.2 Försöken

Försök gjordes för olika vatten- och brinetemperaturer och för olika bottenförhållanden. Då vi endast är intresserade av försöket med slang på botten kommer vi här att ta med resultat bara från detta fall.

Eftersom det tog lång tid att justera bottenmateriallets temperatur och därmed värmeflödet till ovanliggande botten, har en temperaturskillnad på 0.5°C hållits mellan bassängvattnet och vattnet i blindbotten. Detta motsvarar ett värmeflöde av ungefär 2 W/m^2 .

Följande försök med slang på botten gjordes:

| <u>vattentemp. $^{\circ}\text{C}$</u> | <u>brinetemp. $^{\circ}\text{C}$</u> |
|--|---|
| 5.6 | +1 - +4 |
| 4.0 | -1.5 - +3 |
| 3.3 | -3 - +2 |
| 2.0 | -3 - +1 |
| 1.0 | -4.5 - +0.5 |
| 0.5 | -4.5 - 0 |

Fig 9 är en sammanställning av uppmätt värmeupptagning de vattentemperaturer som användes vid försöken. Värmeupptagningen mättes i Watt per meter slang. Brinevätskans temperatur sattes till medelvärdet av temperaturen vid slangens början och slut. Vattentemperaturen mättes i höjd med slangens centrum.

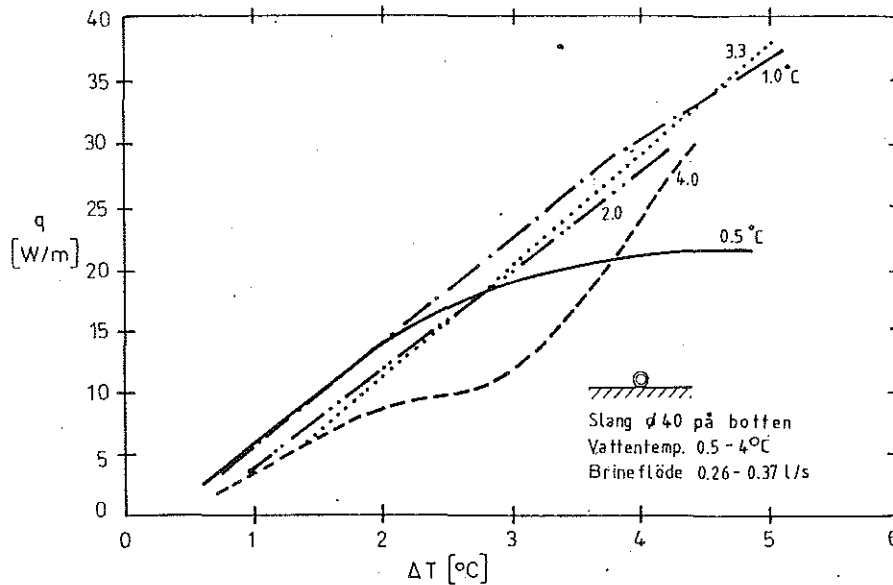


Fig 9. Värmeupptagning med slang på sandbotten som funktion av temperaturdifferensen mellan omgivande vatten och brinevätska. (Från Svensson och Sörman, 1983.)

Fig 10 visar istillväxten för olika brinetemperaturer vid vattentemperaturen 0.5°C. Isens tjocklek sattes till medelvärdet av tjockleken vid slangens början och tjockleken vid dess slut.

Feluppskattning har gjorts på två sätt och medelvärdet härav har tagits. Noggrannheten i slutresultatet blir därför bättre. Ungefärliga värden på felet blir vid en värmeupptagning av 40 W/m 5%, vid 20 W/m 10%, 10 W/m 20% och vid 5 W/m 40%.

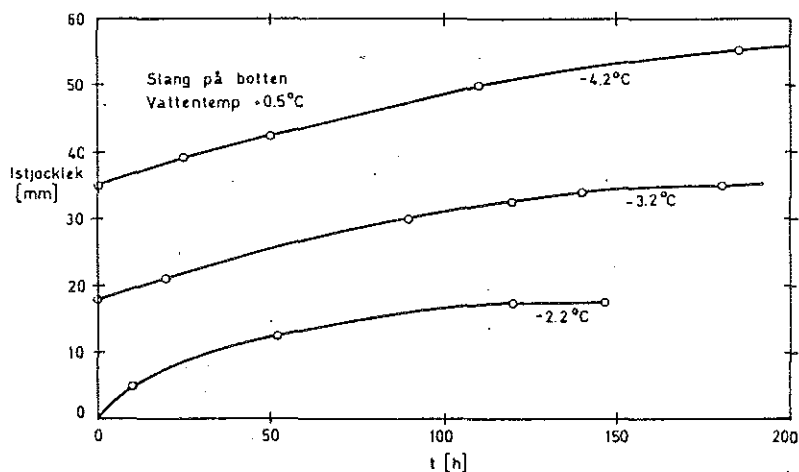


Fig 10 Tidsförloppet av istillväxten för slang på botten vid vattentemperaturen 0.5°C och olika brinetemperaturer. (Från Svensson och Sörman, 1983.)

5. DATORPROGRAMMET SJÖKOLL.

Torbjörn Svensson och Lars-Ove Sörman har gjort ett datorprogram som bygger på deras laboratorieförsök, vilket kan användas vid dimensionering av kollektorslangar. I de fall då is bildas kring slangen fås även en översikt över is-

tjockleken och isens lyftkraft per meter slang. Programspråket är GW-Basic, vilket gör att SJÖKOLL. går att köra på de flesta persondatorer.

De förutsättningar som programmet kräver är sött vatten och en vattentemperatur på mellan 0°C och 4°C. Om förhållandena är olika längs olika delar av slangen delas denna beräkningsmässigt upp i delar. Metoden förutsätter stationära förhållanden.

De indata som behövs är uppgifter om sjöns eller vattendragets temperatur, ström- och bottenförhållanden liksom kollektorns geometriska utformning och dess placering i förhållande till strömriktning, bottennivå och temperaturskiktning. Även slangens och brinevätskans fysikaliska och termiska egenskaper krävs.

Ex på utskrift, se bilaga datakörning. Se också [9].

6. VÅR ANLÄGGNING

6.1 Anläggningens utformning

Vår uppgift var att bygga upp en fungerande värmepump-anläggning utgående från den värmepump och förångare som fanns till förfogande. Dessa skulle kopplas samman med en pump för brinesystemet och en pump för värmevattensystemet. Dessutom behövdes ett expansionskärl, en avluftare, ett filter, en sjövärmekollektor, en värmeslang, kopplingar, ventiler och mät-och styrutrustning.

För att minska risken för åverkan byggdes allt in i en låda med endast sjövärmekollektorn, värmevattenslangen och i viss mån också förångaren som utomliggande delar, förutom en elkabel för kompressorns strömförsörjning. Anläggningens uppbyggnad framgår av fig 11.

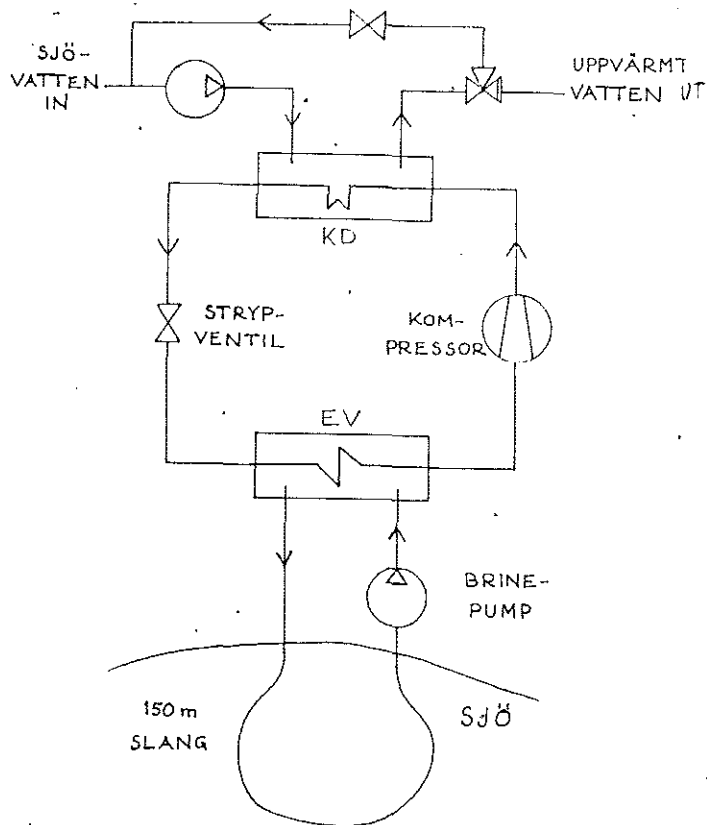


Fig 11 Anläggningens principiella uppbyggnad.

Ventiler och mätare placerades så att reglering resp avläsning underlättades. Förångaren placerades lågt för att förhindra bildning av ångfickor. En fläkt installerades för att inte temperaturen i lådan skulle bli för hög. Fläkten går så länge anläggningen är igång.

För att hålla värmen vid kortare elavbrott isolerades lådan väl. Förångaren, kopplingar, ventiler m m isolerades för att minska värmeförluster, vilka skulle kunna påverka mätresultaten.

6.2 Anläggningens placering

För att likna vårt praktiska försök vid laboratorieförsöket hade vi vissa krav på anläggningens placering:

- * Sjön skulle ha en ganska fast botten på ett djup av 1-3 m där vi lade vår värmekollektor.
- * Försöket skulle ej göras i strömmande vatten.
- * Vattentemperaturen vintertid vid slangen ; $0.3-0.7^{\circ}\text{C}$.
- * Placering av anläggningen alldeles vid sjön för att slippa slang nedlagd i mark.

Vi valde en plats vid L. Stamsjöns östra del (Lerum). Ström till kompressorn tilläts vi ta från en närbelägen villa. Slangen lades utefter stranden på ett djup av 0.8-3 m enligt. Avståndet mellan ut- och ingående slang är minst 1 m för att inte slangarna skall påverka varandra. Slangen förankrades med ca 30 kg sten och grus i säckar, var fjärde meter, dvs ca 8 kg/m (ungefär 5 kg/m under vatten). Dessutom, för att öka säkerheten mot uppflytning, lades vid utläggningen i sjön befintliga stenar på slangen. Man kan också räkna med en extra säkerhet mot uppflytning där slangen fryser fast i botten.

Värmevattnet, som i vårt försök inte tas tillvara, släpps ut i sjön. För att detta inte ska påverka våra mätresultat, släpps värmevattnet ut på djupt vatten, långt från vår värmekollektor.

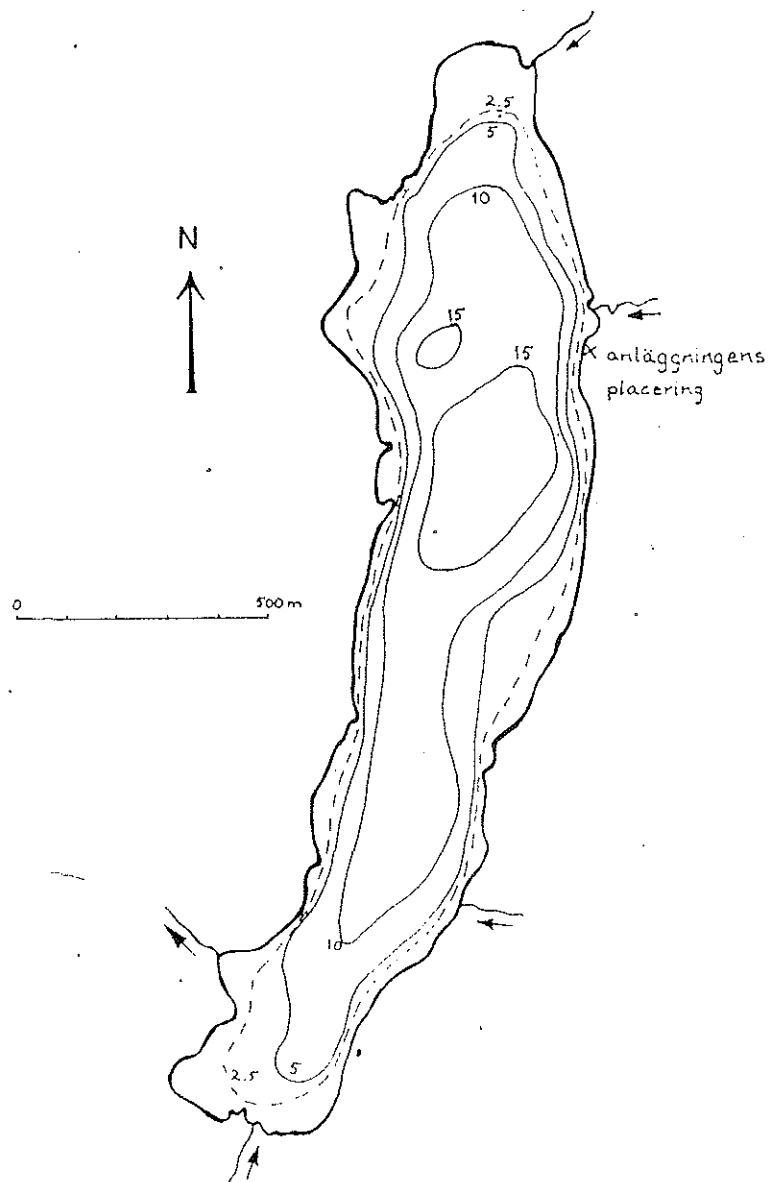


Fig 12 L. Stamsjön, söder om Lerum.

6.3 Sammanfattning ingående komponenter i anläggningen

Värmepump

OCTOPUS värmepump OM 300
kompressor hermetisk Copeland YHB2-0300
nominell driveffekt 2.2 kW
ljudnivå 1 m avstånd 45 dBA
köldmedium R22 2.8 kg
strypporgan - kapillärrör

Förångare

OCTOPUS förångare OM 300

Brinesystem

brinepump GRUNDFOSS CENTRIFUGALPUMP CP 338
brinevätska vatten med 25% propylenglykol
och rostskyddsmedel
expansionskärl 25 l
AV/ST - ventil
filter
flödesmätare POLLUX KW 3350/10
sjökollektor - PEM-slang 150 m o 40/32.6 mm

Värmevatten- system

pump ODELL & EKBERG TYP 103 C
trevägsventil
ST ventil
flödesmätare

Mätsystem

tempgivare typ AD 590 och Pt 100
flödesmätare POLLUX KW 3350/10
templagringsenhet LOGIT
värmemängdsmätare AJ 7272

6.4 Anläggningens funktion

Som tidigare nämnts är syftet med examensarbetet att konstruera en provanläggning för att studera sjövärmekollektorn. Vi har därför inte haft som mål att få en anläggning med så hög verkningsgrad som möjligt.

Anläggningen kan delas upp i 4 delar:

- * Värmepump
- * Brinesystem
- * Värmevattensystem
- * Mätutrustning

6.5 Värmepumpen

Värmepumpens funktion är förklarad i kap 3. För att inte värmepumpen ska överhettas finns en högtryckspressostat som bryter strömmen till kompressorn vid för högt tryck och därmed för hög temperatur, se fig 12.

Kompressorn är vidare mycket känslig för om det skulle komma in vätska i den. Därför överhettas köldmediet för att vara säker på att ingen vätska finns kvar. Ett ytterligare skydd mot detta är en lågtryckspressostat som bryter vid för lågt tryck, dvs då risk för vätskebildning föreligger.

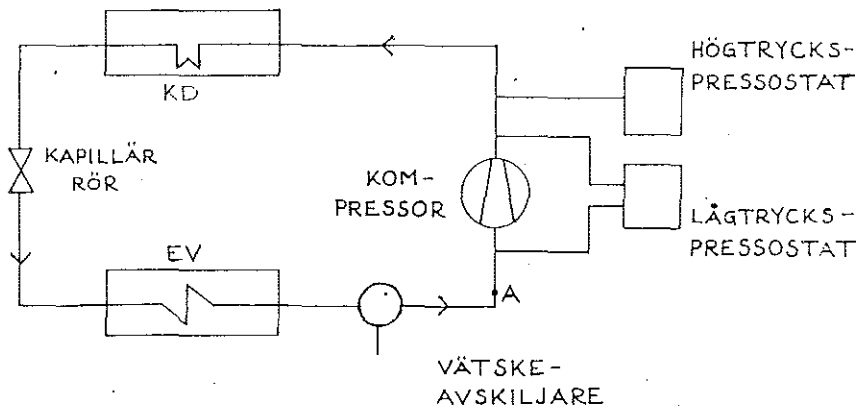


Fig 13 Pressostaternas koppling kring kompressorn.

6.6 Brinesystemet

Brinesystemet består av en förångare, nyss nämnda slang och komponenter för att driva runt brinevätskan i denna slinga.

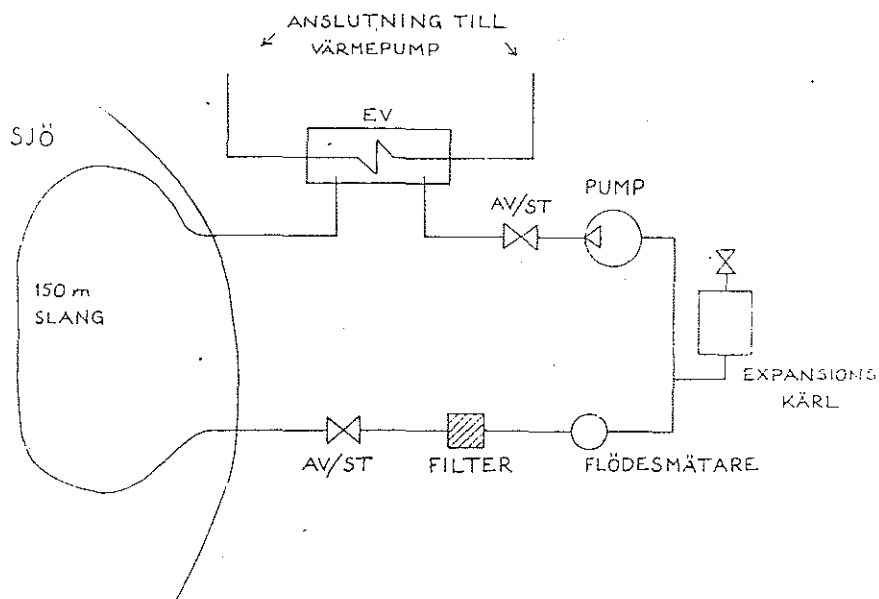


Fig 14 Brinesystemet.

Förångaren består av en 15 m lång, hoprullad PEM-slang med ytterdiametern 40 mm. I denna slang går ett kopparrör fram och åter med köldmediet som går in som vätska och ut som gas. Kopparrörets båda ändar är kopplade till värmepumpen. Brinevätskan pumpas således genom PEM-slangen och avger där värme till det invändiga kopparröret.

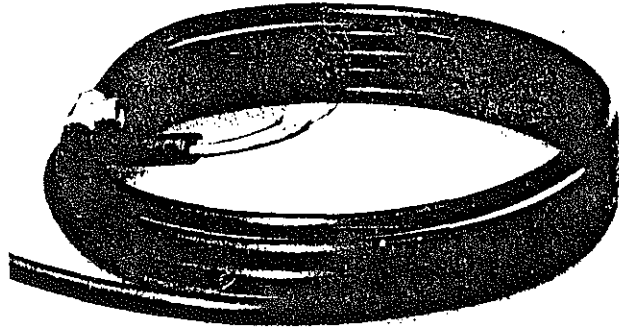


Fig 15 Octopus förångare OM 300.

För att driva runt brinevätskan i slangen krävs en pump. Vi har använt oss av en centrifugalpump för djupvattenbrunnar. Denna pump är egentligen onödigt kraftig, men eftersom vi bara är intresserade av mätvärdena av den bottenförlagda slangen och vi fick låna pumpen, har vi ändå utnyttjat denna.

För att kunna reglera flödet i kretsen behövs en strypventil. Vi anslöt två avstängningsventiler enligt fig 14. Den ventil som finns mellan pumpen och förångaren används både som strypventil och som avstängningsventil. Den andra ventilen används bara vid igångsättandet av anläggningen, då man måste hålla brinevätskan i pumpkretsen innan

sjöslangen är inkopplad. Vidare behövs ett filter för att avskilja ev skräp i kretsen vilket skulle kunna påverka flödesmätarens funktion.

Flödesmätaren är en vanlig vattenledningsmätare som kalibrerats för den aktuella brinevätskan. Felet hos mätaren anges vara mindre än 1%.

Efter flödesmätaren finns ett expansionskärl som fungerar som avluftare. I kärlet finns en brinevätskereserv så att luft inte kommer in denna väg. Detta skulle påverka resultatet negativt, då vätskans värmeupptagningsförmåga ändras. Dessutom finns det risk att pumpen förstörs av den kavitation som kan uppstå. Expansionskärlet är öppet, dvs det kan aldrig uppstå undertryck i brinesystemet relativt atmosfärstrycket.

6.7 Värmevattensystemet

Den värmeenergi som värmepumpen producerar hade vi ingen möjlighet att tillgodogöra oss. Pumpen fick istället kylas med sjövattnen. Ett problem med detta var att flödet av det uppvärmda vattnet blev mycket lågt.

Det erforderliga flödet då 0°C vatten tas in och värms till 40°C vid en avgiven effekt av 5.5 kW från värmepumpen kan beräknas enligt följande:

$$\text{avgiven energi} = \text{upptagen energi}$$

$$\begin{aligned}
 \text{flödet blev då } V &= Q / (\rho \cdot c_p \cdot \Delta T) = \\
 &= 5.5 \text{ kW} / (1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4.18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 40^\circ\text{C}) \\
 &= 2 \text{ l/min}
 \end{aligned}$$

Ett så lågt flöde är otillfredsställande för kondensorn. Laminär strömning uppstår med följd att värmeutbytet blir sämre. Man kan öka vätskeflödet genom kondensorn genom att koppla en ledning parallellt med denna och låta en del av det uppvärmda vattnet återledas denna väg, se fig 16. På detta sätt ökas flödet genom kondensorn medan intagsflödet av det kalla sjövattnet kan hållas så lågt man vill.

För att reglera de båda flödena (det yttre sjövattnet och det inre cirkulationsflödet) behövs strypventiler. Vi valde en trevägsventil och en tvåvägs strypventil på återledningen. (Teoretiskt borde det räcka med en trevägsventil, men i vårt fall visade det sig att även tvåvägsventilen behövdes på grund av att luft kom in bakvägen i systemet. Detta gäller då flödet är så litet som 2 l/min enligt ovan.)

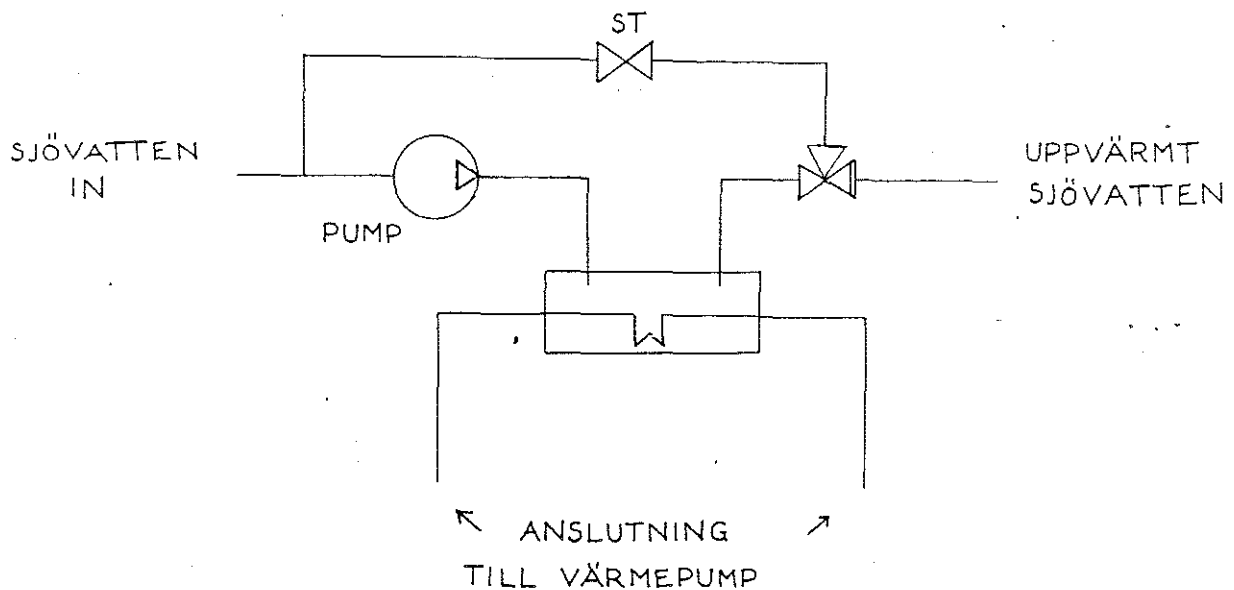


Fig 16 Värmevattnetsystemet.

6.8 Mätutrustningen

För att bestämma vattentemperaturen på olika djup har vi använt oss av en temperaturkedja, som tillverkats vid Institutionen för vattenbyggnad i anslutning till ett tidigare projekt, se fig 17. Den har åtta mätpunkter jämnt fördelade på tre meter. Givarna, som är halvledargivare av typ AD 590, är fästade vid en vajer instucken i en plastslang. Plastslangen är fylld med siliconolja och väl tillsluten i båda ändar. Givarna är anslutna till en registreringsenhet, till vilken också givare för registrering av brinetemperaturen är kopplade, se fig 18.

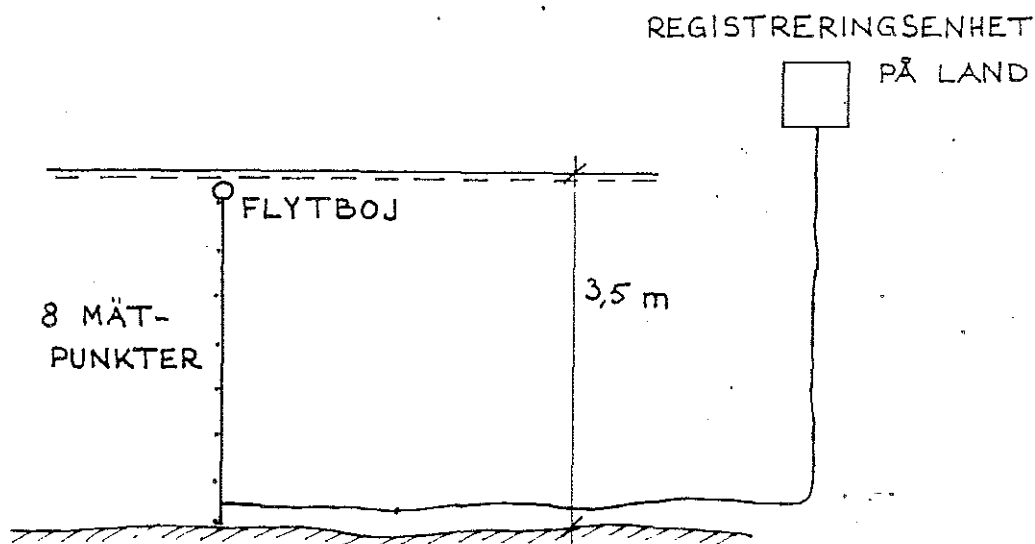


Fig 17 Temperaturkedja med 8 mätpunkter, kopplade till en registreringsenhet på land. Mät-punkternas avstånd från botten: 0 , 0.25 , 0.75 , 1.25 , 1.75 , 2.25 , 2.75 , 3.25 m.

I mätutrustningen ingår också en värmemängdsmätare, ett antal temperaturgivare och två flödesmätare. Syftet är att mäta den upptagna energin av sjövattenkollektorn i brine-systemet. För detta ändamål används värmemängdsmätaren tillsammans med två temperaturgivare GT3 och GT4 och en flödesmätare.

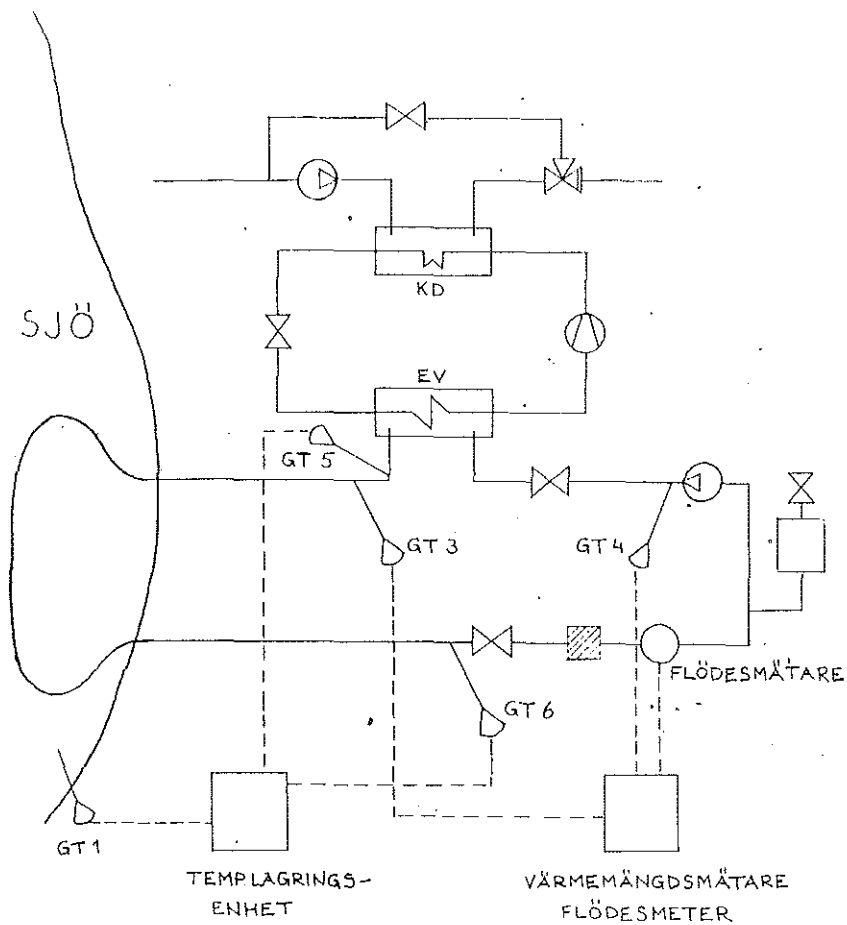


Fig 18 Mätutrustningen.

Värmemängdsmätaren mäter temperaturdifferensen mellan mätarna GT3 och GT4 och tar in pulser från flödesmätaren och integrerar dessa med varandra. Denna integration fortgår kontinuerligt och visas med hjälp av ett räkneverk. Med ett kalibreringsdiagram kan man sedan läsa ut en konstant för den aktuella vätskan. För att räkna ut energin som kollektorn har tagit upp gör man två avläsningar av värmemängdsmätaren vid två olika tidpunkter. Differensen mellan dessa multiplicerar man sedan med kalibreringskonstanten. Detta värde är den energi som tagits upp under tidsintervallet mellan de olika mätningarna.

Flödesmätaren i brinesystemet är en vanlig vattenledningsmätare som har kalibrerats efter aktuell brinevätska; i vårt fall 75% vatten och 25% propylenglykol. Till flödesmätarens visare har kopplats en pulsgivare som ger 10 pulser per varv. Det maximala felet är 1%.

För att mäta och registrera brinetemperaturen har vi installerat ytterligare två temperaturgivare, GT5 och GT6. Temperaturerna skrivs in i en registreringsenhet varje timme. Registreringsutrustningen består av fyra delar:

- * Förstärkare med mätpunkter för direkt avläsning
- * Registreringsenhet
- * Minnesenhet
- * Batteri

Till förstärkaren är tre temperaturgivare kopplade: GT1, GT5, och GT6 enligt fig 19, där GT1 mäter vattentemperaturen vid slangen i sjön. GT5 mäter temperaturen efter förångaren och GT6 mäter temperaturen efter sjökollektorn. Givarna är av typ Pt 100 och fungerar på så sätt att temperaturen ändrar motståndet i dem.

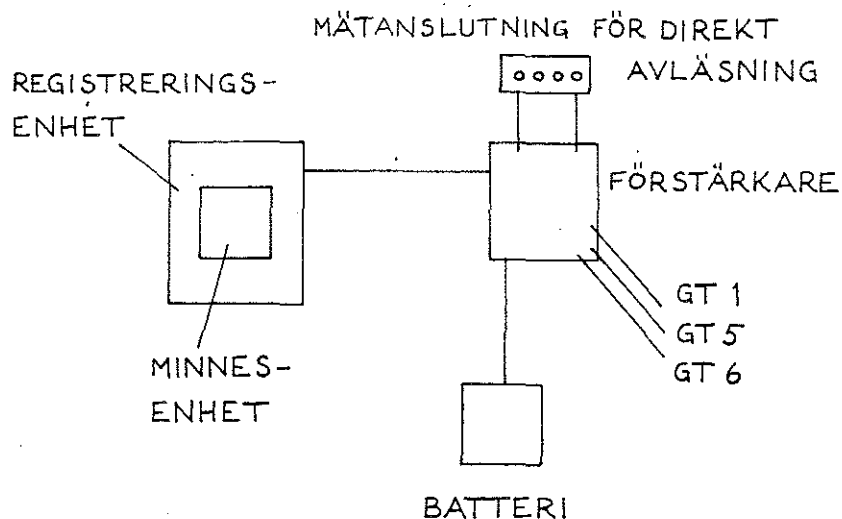


Fig 19 Principschema över förstärkaren och dess kringutrustning.

Förstärkaren mäter alltså motstånden över givarna och avger sedan en signal i form av en spänning. Genom att mäta den utgående spänningen från förstärkaren kan man alltså mäta temperaturen. Formeln för omräkning till °C är

$$T = 10 - 5 * U$$

där T = temp i grader Celsius,
och U = spänningen i volt från utgående signal .

På vår förstärkare fanns det även mätanslutningar så att man med en voltmeter och formeln ovan direkt kan avläsa temperaturen utan att behöva hämta resultatet från minnesenheten. Innan man kan använda förstärkaren måste man dock kalibrera den med givarna. Efter kalibreringen är det maximala felet 0.04°C.

6.9 Registreringsenheten

Till registreringsenheten är förstärkaren och minnesenheten kopplade. Det är här som inkommande signal från förstärkaren omvandlas till information som ska lagras i minnesenheten. Registreringsenheten sköter dessutom om hur ofta registreringarna ska ske.

Minnesenheten

I denna lagras resultat från mätningarna. När fältförsöket är färdigt plockar man ut minnesenheten och kopplar den till en dator. Där kan mätresultaten lagras på en diskett och registreringarna kan fås utskrivna på papper.

Batteri

För att mätutrustningen ska fungera måste man tillföra ström som i vårt fall fås från ett batteri.

6.10 Värmevattensystemets mätare

Med hjälp av värmemängdsmätaren och minnesenheten som lagrar temperaturerna, kan vi beräkna hur mycket värmeenergi som värmepumpen tar ur sjön. Men vi är också intresserade

av hur stor effekt värmepumpen avger. För att bestämma denna effekt måste man veta dels temperaturdifferensen mellan in-och utgående vatten i varmvattensystemet och dels utgående vattenflöde. Vattentemperaturen på det ingående vattnet mäts med givare GT1 som är kopplad till minnesenheten. För den utgående vattentemperaturen från varmvattensystemet användes temperaturgivare GT2 över vilken vi mäter motståndet och avläser temperaturen i ett kalibreringsdiagram, där temperaturen är plottad mot givarens motstånd.

Till det utgående varmvattnet är en flödesmätare och temperaturgivare GT2 kopplade. Dessa måste avläsas manuellt. Den avgivna värmeeffekten kan antas vara konstant mellan två avläsningar om värmepumpen körs kontinuerligt.

För att bestämma värmepumpens värmefaktor, dvs avgiven effekt dividerad med tillförd elektrisk effekt till värmepumpen, behövs en elmätare. Vi har en vanlig villaelmätare med ett högsta fel på 1%. Till elmätaren är dessutom brinepumpen och varmvattenpumpen kopplade. Den effekt som elmätaren registrerar, visar hela anläggningens förbrukning. Då anläggningen är igång, kommer pumparna att utsättas för en konstant belastning. Man kan därför mäta hur stor deras effekt förbrukning är, genom att stänga av värmepumpen och göra avläsningar på elmätaren.

Värmepumpens effektförbrukning under drift kan fås ungefärligt om man mäter hela anläggningens effektförbrukning och subtraherar pumparnas elförbrukning.

6.11 Ismätare

För att kunna mäta istillväxten kring kollektorn kontinuerligt, behövs en ismätare av något slag. Bengt Karlsson på institutionen för vattenbyggnad, CTH, har tagit fram en elektronisk ismätare, där man direkt kan avläsa istjockleken på ett digitalt fönster. Denna mätare kan även anslutas till en registreringsenhet för kontinuerlig lagring av hur istillväxten sker.

Ismätaren bygger på principen att ledningsförmågan för växelström är mycket sämre för is än för fritt vatten. Mätaren består av två delar - en balanserad Wheatstonebrygga och en elektronisk enhet enligt fig 20.

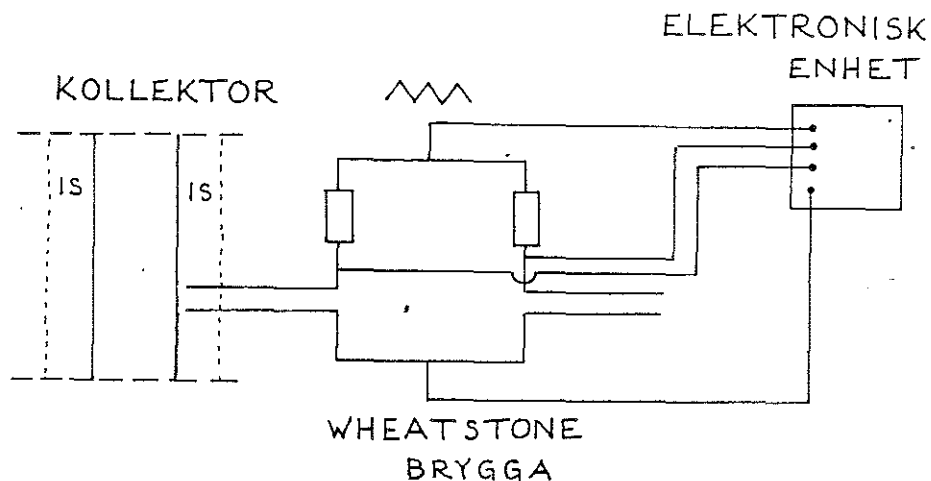


Fig 20 Ismätare.

6.12 Körning av systemet

När anläggningen var på plats vid L. Stamsjön och kollektorns och varmvattensidans slangar nedlagda i sjön, återstod det att trimma in anläggningen och utföra provmätningar.

Brinesystemet

Brinesystemet startades utan problem. Vi pumpade igenom vanligt sjövattnen i en timmas tid för att få ur eventuellt skräp ur systemet. Därefter kopplade vi på kommunalt vatten och spolade igenom tills vi var säkra på att hela systemet var fullt av detta vatten. Sedan fyllde vi på glykolen med bestämd koncentration. Det är mycket viktigt att så lite luft som möjligt kommer i brinesystemet, fast vi har avluftningsanordning, för att pumparna ska kunna arbeta bra. Det är också viktigt att glykolen har en koncentration som är nära brukskoncentrationen då man fyller på systemet, eftersom det tar lång tid för glykolen att blanda sig med vattnet. Man kan då få en glykolpropp och en vattenpropp som cirkulerar i systemet.

Vid påfyllning av köldbärarvätskan, använde vi oss av ett stort kärl där vi hade blandat till en glykolblandning med 30 % glykol mot brukskoncentrationen 25 %. Vi fyllde sedan 83 % av brinesystemet med denna glykolblandning och kunde därmed undvika att det läckte ut glykol i naturen då vi kopplade ihop systemet till ett slutet system. För att blanda glykolen med kvarvarande vatten i systemet till brukskoncentrationen, lät vi brinecirkulationen vara på en vecka innan mätningarna påbörjades.

Värmevattensystemet

Vårt värmevattensystem är av typ återcirkulation, se fig 21 .

För att starta värmevattensystemet, måste man stänga ventilen 1 och låta vattnet passera fritt genom trevägsventilen 2, dvs man stänger vägen för återcirkulation. För att pumpen ska fungera, måste den vara fylld med vatten. Vissa pumpar kan man lura att suga luft genom att stänga av och sätta på i snabb följd. Det fungerar dock endast om lyfthöjden är låg, samt om intagsledningen har en backventil. Genom detta förfarande kommer så småningom vattnet att nå fram till pumpen och den börjar pumpa vatten. När väl pumpen pumpar vatten, kan man börja ställa in återcirkulationen med de två ventilerna. Vi använde oss av denna teknik.

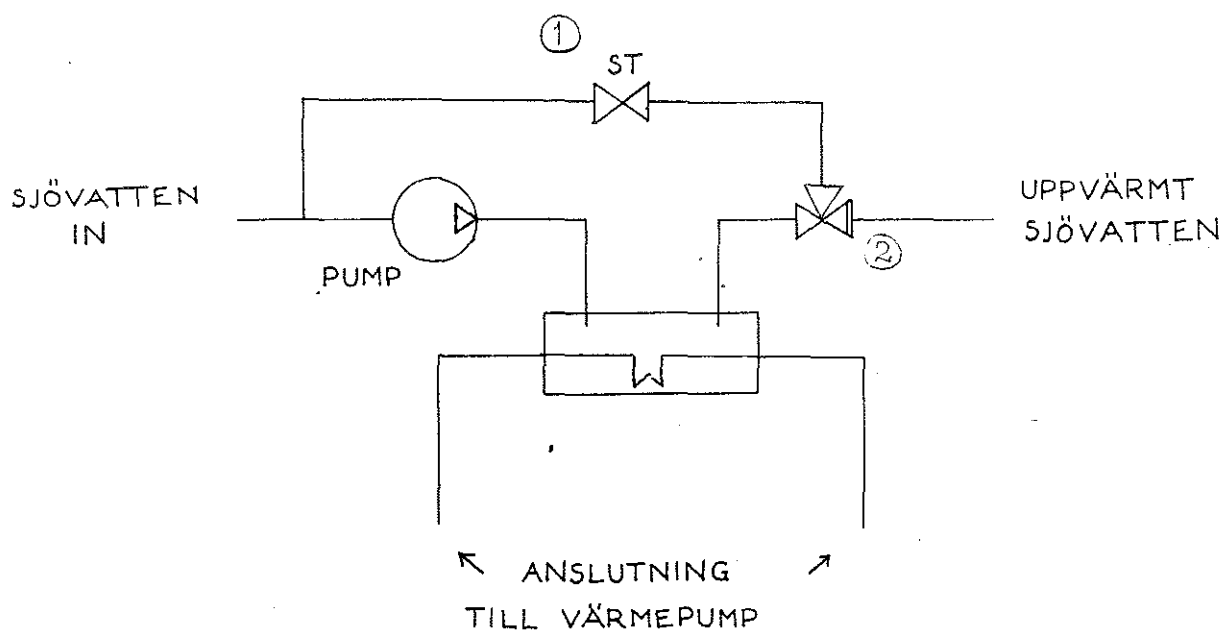


Fig 21 Värmevattensystem med återcirkulation.

7. UTVÄRDERING AV MÄTDATA

Provdrift med anläggningen påbörjades den 24 jan och pågick under cirka ett dygn, se fig 22 .

Temperaturregistreringsenheterna gör en avläsning varje timme. Den period som senare beräkningar bygger på är från 24/1 kl. 14.00 till 25/1 kl. 15.00, dvs 23 registreringar.

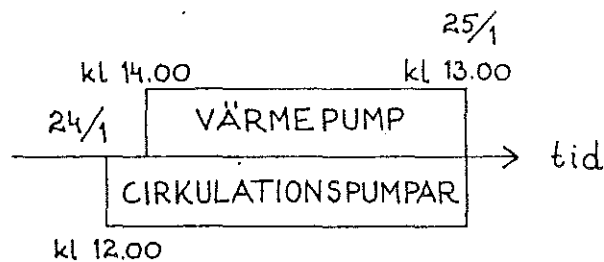


Fig 22 Anläggningens driftfunktion under ett dygns mätning.

7.1 Mätdata

Följande mätvärden erhöjls under provdriften:

Medelvärde T-brine ut = -1.97°C

Medelvärde T-brine in = -0.71°C

Medelvärde temperaturdifferens T =

T-brine in - T-brine ut = 1.26°C .

(se bilaga sammanställning av mätvärden)

Brinevätskans egenskaper under dessa förhållanden (25% propylenglykol +- 3%) med en temperatur av T =

$(\text{T-brine in} + \text{T-brine ut})/2 = -1.34^{\circ}\text{C}$.

densitet = $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$

värmekapacitet = $c_p = 3915 \text{ J/kgK}$

Brinevätskans flöde enligt flödesmätaren (sammanställning av mätvärden) :

$V = (8361.91 - 8267.98) \text{ m}^3 / 25 \text{ h} = 3.75 \text{ m}^3 / \text{h} = 1.044 \text{ l/s}$.

7.2 Beräkning av upptagen kyleffekt

Formeln för värmeupptagning är

$$\dot{q} = V \rho c_p (T\text{-brine in minus ut}) = V \rho c_p \Delta T .$$

$$V = 1,044 \text{ l/s} = 1,044 * 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 1030 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 3915 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 1.26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{q} = 1.044 * 10 * 1030 * 3915 * 1.26 = 5.30 \text{ kW}$$

Detta är den upptagna effekten. Nu måste vi bedöma felet hos denna effekt.

7.3 Felteori

Det totala felet får man genom att summera alla delfel. Totalfelet kan skrivas som

$$dq/q = dV/V + d\rho/\rho + dc_p/c_p + d(T\text{-brine in})/T\text{-brine in} + \\ + d(T\text{-brine ut})/T\text{-brine ut}$$

eller

$$dq/q = dV/V + d\rho/\rho + dc_p/c_p + 2dT/T .$$

Varje delfel uttryckes som relationen mellan felet i storheten dividerat med storheten själv. Tvåan framför sista delfelet beror på att vi tagit skillnaden mellan två storheter. Felet måste därför bli dubbelt så stort.

Vi antog att glykolblandningskoncentrationen ligger mellan 22% och 28% . Härav följer fel i brinevätskans egenskaper.

Angående fel i materialegenskaper hos propylenglykolen, se bilaga propylenglykol.

Felen insatta i felformeln :

$$dq/q = 0.01 + 5/1030 + 50/ 3915 + 2*0.08/1.26 = 0.155 = 16\%$$

Huvuddelen av felet kommer från fel i temperaturmätningen. Det första felet kommer från flödesmätningen. Felets storlek har vi fått från leverantören.

Ett fel på 16% är mycket. I kapitlet diskussion har vi därför givit förslag på hur man ska kunna minska felen.

7.4 Sammanfattning av provkörningen

Upptagen kyleffekt 5.3 +- 16 % eller
5.3 +- 0.9 kW

Mätvärdena från värmemängdsmätaren gick ej att använda (se bilaga värmemängdsmätaren) .

7.5 Värmepumpens driftegenskaper

Vi ska här göra en rimlighetsbedömning av värmepumpen i drift. Vi saknar dock mätdata för temperatur och flöde för värmevattenssystemet. Det vi kan få är en uppskattning av hur mycket elenergi värmepumpen förbrukar. Vi gör då ett grovt antagande, nämligen att brinepumpen och värmepumpen har en konstant elförbrukning oavsett temperaturen i brinesystemet. Denna elförbrukning har vi mätt upp till 1.5 kW under en veckas tid (se bilaga sammanställning av mätvärden).

Elförbrukning för brinevärmepump = $1.5 \text{ kW} * 25 \text{ h} = 37.5 \text{ kWh}$

Hela anläggningens förbrukning :

$$(79653.0 - 79562.6) \text{ kWh} = 90.4 \text{ kWh}$$

Värmepumpens eleffektförbrukning :

$$(90.4 - 37.5) \text{ kWh} / 23 \text{ h} = 2.3 \text{ kW}$$

Vi uppskattar alltså värmepumpens elförbrukning till 2.3 kW. Detta är ett osäkert värde då det bygger på grova antaganden. Fabrikörens uppgifter under liknande förhållanden ger en eleffektförbrukning på 2.3 kW vilket tyder på att värmepumpen fungerar som den ska.

Vi kan inte som tidigare sagt göra någon bedömning av avgiven värmeeffekt från värmepumpen. Se kap 9, där vi diskuterar nödvändiga åtgärder för att komma tillrätta med detta problem.

8. JÄMFÖRELSE MED DATORPROGRAMMET SJÖKOLL.

På grund av den milda vintern kunde vi inte göra några mätningar med en vattentemperatur på mellan 0.3°C och 0.7°C . Vi gjorde våra mätningar vid en medeltemperatur på 3.5°C (3.47). Vid laborieförsöken användes temperaturerna 0.3 , 0.5 , 1.0 och 2.0°C , vilkas kurvor visas i fig. 24. Vi har i figuren också lagt in kurvan för vår temperatur 3.5°C . Kurvorna gäller för 150 m slang på botten i stillastående vatten, medan vi har en ca 145 m lång slang i sjön. Det gör en försumbar skillnad i detta diagram.

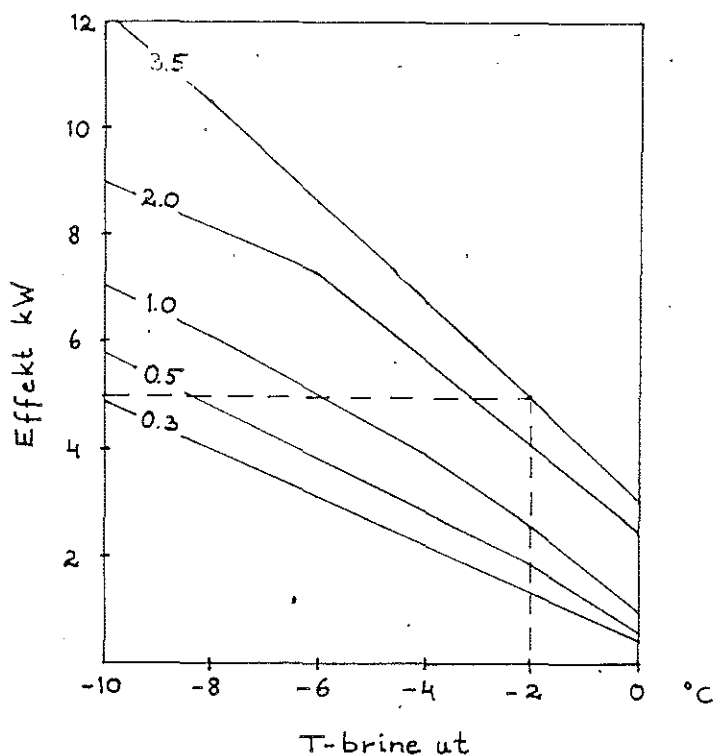


Fig 23 Upptagen effekt vid olika vattentemperaturer för 150 m slang i stillastående vatten.

Provdriften gjordes vid T-brine ut = -1.97°C , vilket ger 5.0 kW enligt diagrammet ovan. Den uppmätta värmeupptagningen var 5.3 kW + 0.9 kW, vilket stämmer väl med den beräknade.

9. DISKUSSION

Den mobila värmepumpanläggningen fungerar rent tekniskt, fränsett värmevattenpumpen som bör bytas ut. Den milda vintern gjorde att vi inte bytte denna. Vi hoppades på en vattentemperatur på omkring 0.5°C medan vädret gav oss cirka 3°C i vattnet. Vid denna temperatur blir det ingen nämnvärd istillväxt kring kollektorslangen varför vi ändå inte skulle kunna få några dimensionerande mätdata.

För att få anläggningen optimal och full kontroll över denna, har vi tagit fram några nödvändiga åtgärder. För det första måste värmevattenpumpen bytas ut då den inte fungerar som den skall. För det andra ska en temperaturgivare och en flödesmätare installeras på utgående varmvatten från anläggningen. Placeringen av temperaturgivare på inkommande sjövattnen bör ändras. För närvarande påverkas temperaturgivaren av förångaren då den ligger för nära denna. Se också kap 9.1 .

I det nuvarande utförandet kan det vara vissa problem med att ställa in utgående varmvattenflöde. Det är inte

självkärl hur man ska vrida på trevägsventilen och strypventilen på återcirkulationsledningen för att få rätt flöde på utgående varmvatten. Detta problem kan dock kringgås genom att man bildar ett slutet system på varmvattensidan. Det åstadkommes genom att man stänger återcirkulationsledningen, samt att man lägger ut ett kylelement i sjön där man kylar bort värmen. Själva styrning av flödet i detta slutna system fås genom reglering med trevägsventilen som kommer att fungera som strypventil. Anledningen till att vi inte antog denna lösning i första skedet var att vi ville ha ett konstant flöde genom kondensorn.

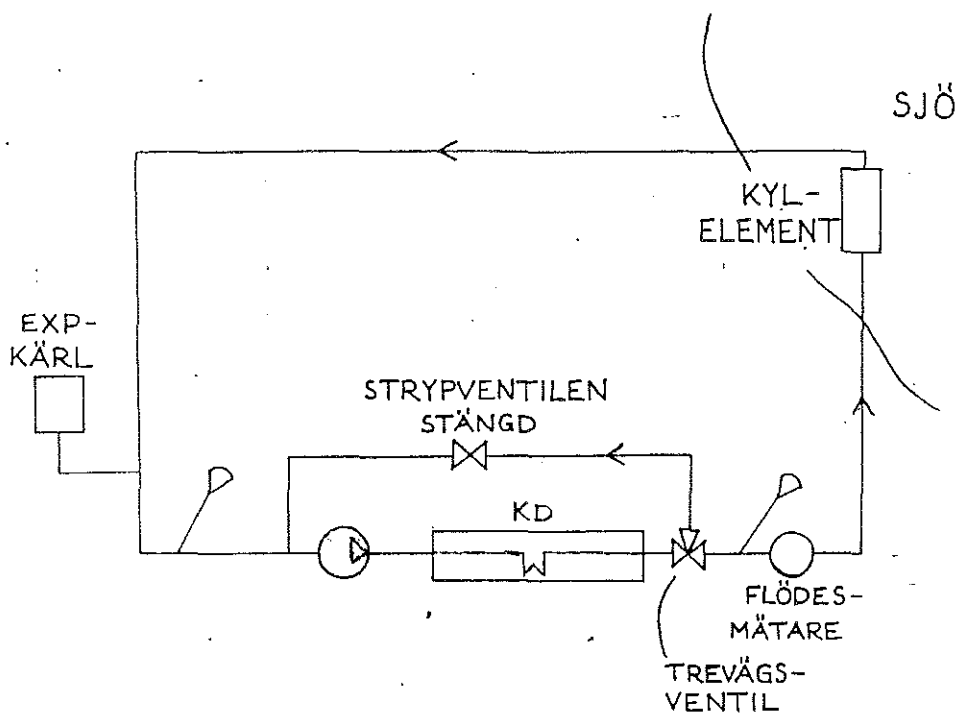


Fig 24 Hur nämnda slutna system åstadkommes.

9.1 Åtgärder för att minska felen

Vi hade en mild vinter då vi provkörde anläggningen och fick inte de förhållanden vi önskade. Därför har vi inte åtgärdat de fel vi kommer att belysa i detta kapitel.

Det största delfelet vid mätningarna (se kap 7.3) ligger hos temperaturmätningen av ingående och utgående brinevätska. Den noggrannhet dessa temperaturgivare har är ± 0.08 C. Felet dubblas, då vi mäter skillnaden mellan dessa temperaturer. Genom ett speciellt kalibreringsförfarande kan man minska detta fel avsevärt. Detta förfarande går ut på att man samkalibrerar de två givarna. Man ser då hur mycket givarna avviker från varandra vid samma temperatur i kalibreringsbadet. Man kan då, efter flera avläsningar vid olika temperaturer, få fram en systemavvikelse eller ett systemfel mellan de två givarna. Detta fel använder man sig sedan av vid beräkning av upptagen kyleffekt och vid felanalysen. För det sistnämnda behövs även spridningen på systemfelet.

I kapitel 7, Utvärdering av mätdata, kommer beräkningen av upptagen kyleffekt då att ändras till följande:

$$q = V \cdot \rho \cdot c_p (T\text{-systemfelet})$$

och för felteorin blir formeln

$$dq/q = dV/V + d\rho/\rho + dc_p/c_p + (\text{spridning systemfel})/(T\text{-systemfel})$$

Ytterligare åtgärder för att minska felet är att mäta glykolkoncentrationen i brinesystemet med en glykolmätare. Vi antog en avvikelse i denna koncentration på $\pm 3\%$, dvs en koncentration på mellan 22% och 28% . Det fel man minskar genom glykolmätningen är fel som har samband med glykolens egenskaper, dvs dess densitet och värmekapacitet.

Då man vidtagit dessa åtgärder kommer man sannolikt ner i fel som gör det relevant att jämföra resultatet med datorprogrammets resultat eller att utprova nya typer av kollektorer under naturliga förhållanden i full skala.

10. SLUTSATSER

Vårt resultat från provkörningen är en upptagen kyleffekt på 5.3 kW \pm 0.9 kW. Beräkning enligt datorprogrammet ger en upptagen effekt på 5.0 kW. Det ligger inom felmarginalen för våra mätningar, men är inte tillfredsställande för någon utvärdering eller en bekräftelse på datorprogrammets noggrannhet. Dessutom kan man fråga sig om stationära förhållanden hade uppnåtts under en så kort mätperiod som ett dygn. Man bör också ha betydligt mera mätdata innan man kan dra några mera långtgående slutsatser.

För att komma tillrätta med relativt stora mätfel ($\pm 16\%$), har vi föreslagit en del åtgärder.

- * Byt värmepump.
- * Ändra placeringen på inkommande sjövattningsgivare.
- * Installera en temperaturgivare och en flödesmätare på utgående varmvatten.
- * Ordna ett slutet system på värmepumpens sida.
- * Installera en separat mätare till värmepumpen.
- * Samkalibrera in och utgående temperaturgivare för brinesystemet.
- * Mät glykolkoncentrationen med en glykolmätare.

Då dessa åtgärder vidtagits och mätningar gjorts under en längre period, kommer man att få en mobil värmepumpsprov-anläggning med god mätnoggrannhet (förhoppningsvis 5-6 % felavvikelse). Man kan använda anläggningen till att bekräfta olika labresultat i full skala. Man kan även tänka sig att använda anläggningen till att prova nya typer av kollektorer under naturliga betingelser i fält.

11. REFERENSER

- [1] Cederwall K. , Larsen P. :
Hydraulik för väg-och vattenbyggare. 1976
LiberLäromedel , Lund .
- [2] Göransson A. , Nilsagård J. :
Utvärdering av en värmepumpanläggning för
villauppvärmning. 1987
Inst. för installationsteknik,
CTH, Göteborg .
- [3] Installationsteknik, CTH :
Kompendium K202. 1988
Undervisningsskrift .
- [4] Installationsteknik, CTH :
Energiteknik. Grundläggande samband-tabeller. 1988
Undervisningsskrift .
- [5] Jacobsson C. , Jönsson S. :
Värmeutvinning ur havsvik med värmepump för
villauppvärmning. 1981
Inst. för vattenbyggnad, CTH, Göteborg .
- [6] Svensson K. :
Utvärdering av villavärmepump. 1986
Inst. för installationsteknik, CTH, Göteborg .
- [7] Svensson T. :
Ytvattenvärme.
VIAK AB. 1982.

- [8] Svensson T. , Gustavsson S. , Lindqvist T. :
Sjö och ytjord som värmekälla. Mätning och utvärdering av värmepumpanläggning vid Ö. Grevie. 1984
BFR , Libertryck , Stockholm .
- [9] Svensson T. , Sörman Lars-Ove :
Värmeupptagning med bottenförlagda kylslangar i stillastående vatten. 1983
BFR R41:1983, Libertryck , Stockholm .
- [10] Svensson T. , Sörman Lars-Ove :
Dimensionering av sjövärmekollektorer. 1987
BFR-rapport R65:1988 .
- [11] Tollin Johan , Lars Ljung , Catharina Olin :
Köldbärare i värmepumps- och värmeåtergivningssystem
BFR-rapport R11:1986 .

SILSA

SAMMANSTÄLLNING

AV NATTVÄRDEN

BILAGA

SAMMANSTÄLLNING AV MÄTVÄRDEN

Start brinecirkulation 19/1 1989 kl. 12.00

| | | |
|---------------------------|---------|----------------|
| Energimätarställning | 79385.5 | kWh |
| Värmemängdsmätarställning | 266.16 | MWh |
| Flödesmätarställning | 7805.08 | m ³ |

Start värmepump och varmvattencirkulation

24/1 1989 kl. 12.00

| | | |
|---------------------------|---------|----------------|
| Energimätarställning | 79562.6 | kWh |
| Värmemängdsmätarställning | 266.40 | MWh |
| Flödesmätarställning | 8267.98 | m ³ |

25/1 1989 kl. 13.00

| | | |
|---------------------------|---------|----------------|
| Energimätarställning. | 79653.0 | kWh |
| Värmemängdsmätarställning | 266.61 | MWh |
| Flödesmätarställning | 8361.91 | m ³ |

Medelvärden under perioden 24/1 1989 kl. 12.00
till 25/1 1989 kl. 13.00

Brine ut -1.97 C

Brine in -0.71 C

Sjövattentemperaturen på 1 m djup = 3.47 C .

Brinepumpens eleffektförbrukning under perioden
19/1 kl. 12.00 till 24/1 kl. 12.00

79562.6-79385.5 kWh = 177.1 kWh

medeleffektförbrukning 171.1 kWh / (5*24) h = 1.48 kW

PLATE

ENGINE TEMPERATURE

BILGİ

SÜSTERATUR

medeltemperatur under perioden på 1m djup 3,47°C

| | | | | | | |
|-------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 9 024 14 00 | 3.513 | 3.466 | 3.51 | 3.482 | 3.485 | 3.576 |
| 9 024 15 00 | 3.498 | 3.45 | 3.49 | 3.466 | 3.454 | 3.576 |
| 9 024 16 00 | 3.498 | 3.45 | 3.49 | 3.466 | 3.454 | 3.56 |
| 9 024 17 00 | 3.513 | 3.466 | 3.49 | 3.466 | 3.438 | 3.591 |
| 9 024 18 00 | 3.498 | 3.45 | 3.49 | 3.466 | 3.485 | 3.56 |
| 9 024 19 00 | 3.513 | 3.466 | 3.51 | 3.482 | 3.517 | 3.56 |
| 9 024 20 00 | 3.513 | 3.466 | 3.51 | 3.482 | 3.501 | 3.544 |
| 9 024 21 00 | 3.498 | 3.466 | 3.49 | 3.466 | 3.485 | 3.544 |
| 9 024 22 00 | 3.513 | 3.466 | 3.51 | 3.482 | 3.501 | 3.544 |
| 9 024 23 00 | 3.513 | 3.45 | 3.49 | 3.466 | 3.485 | 3.544 |
| 9 025 00 00 | 3.529 | 3.482 | 3.51 | 3.482 | 3.501 | 3.544 |
| 9 025 01 00 | 3.529 | 3.482 | 3.51 | 3.482 | 3.532 | 3.529 |
| 9 025 02 00 | 3.529 | 3.482 | 3.51 | 3.498 | 3.517 | 3.56 |
| 9 025 03 00 | 3.513 | 3.466 | 3.51 | 3.482 | 3.501 | 3.529 |
| 9 025 04 00 | 3.529 | 3.482 | 3.51 | 3.498 | 3.501 | 3.56 |
| 9 025 05 00 | 3.529 | 3.482 | 3.51 | 3.498 | 3.501 | 3.56 |
| 9 025 06 00 | 3.529 | 3.482 | 3.52 | 3.498 | 3.501 | 3.56 |
| 9 025 07 00 | 3.513 | 3.466 | 3.51 | 3.482 | 3.485 | 3.576 |
| 9 025 08 00 | 3.513 | 3.466 | 3.51 | 3.482 | 3.485 | 3.576 |
| 9 025 09 00 | 3.513 | 3.482 | 3.52 | 3.498 | 3.501 | 3.576 |
| 9 025 10 00 | 3.529 | 3.498 | 3.54 | 3.498 | 3.501 | 3.591 |
| 9 025 11 00 | 3.529 | 3.498 | 3.54 | 3.513 | 3.517 | 3.576 |
| 9 025 12 00 | 3.56 | 3.513 | 3.56 | 3.529 | 3.548 | 3.591 |

BILAGA

DATORIBERNING

