



Institutionen för Vattenbyggnad  
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics  
Chalmers University of Technology

ISPÅVÄXTMÄTARE FÖR SJÖVÄRMEKOLLEKTORER

Del I  
Konstruktion och laboratorieprovning

Del II  
Fältprovning i Motala vintern 1985-86

Torbjörn Svensson

---

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad  
Chalmers Tekniska Högskola  
412 96 Göteborg

Telefon: 031/72 10 00

## FÖRORD

Detta projekt ingår som en del av den forskning kring sjövärmesystem och förutsättningar för värmeuttag ur ytvatten som bedrivs vid Institutionen för vattenbyggnad, CTH.

Projektet har utförts i två etapper. Den första etappen innefattar idéutveckling samt konstruktion och laboratorieutprovning av prototyper till istjockleksmätare. Under den andra etappen provades två fältprototyper under en vinter vid den stora sjövärmearläggningen i Motala V.

I denna rapport redovisas resultaten av de båda projektetapperna var för sig. En fortsättning av projektet planeras med provning av modifierade utföranden av mätaren.

Utprovning och uppbyggnad av försöksanläggningen har till största delen utförts av forskningsingenjör Lars-Ove Sörman. För elektroniken har ingenjör Bengt Carlsson svarat. Dessa båda har också bidragit med värdefulla råd och idéer under arbetets gång.

Göteborg i mars 1987

Torbjörn Svensson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850278-0 och 851099-4 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

## SAMMANFATTNING

## DEL I

Två olika principer har provats för att mäta ispåväxt på en sjöförlagd kollektorslang. Den ena var baserad på volymsutvidgning vid frysning och den andra på elektrisk kapacitans. Den senare metoden visade sig mindre lämplig på grund av kapacitansens starka temperaturberoende. De försök som gjorts med denna princip beskrivs därför inte närmare.

Volymsutvidgningen vid frysning kan användas som mätparameter genom att frysa in ett vattenfyllt plexiglasrör som monteras mot kollektorslangen. Vi har utvecklat ett instrument där volymförändringen överförs till ett tunt U-rör som delvis är fyllt med kvicksilver. Vid förskjutning av kvicksilverpelaren uppstår ett övertryck i den ena skänkeln vilket mätes med en piezoresistiv tryckgivare. Två lika prototyper av fältinstrument med detta utförande har tillverkats.

## DEL II

I föreliggande projektetapp har två prototyper av instrumentet provats vid sjövärmearläggningen Motala V under vintern 1985-86. Vattentemperaturen var mycket låg i januari och februari, vilket medförde en maximal påfrysning till en isdiameter av något mer än 30 cm.

Mätarna har fungerat under hela mätperioden. Påfrysningsförloppet har återgivits på ett realistiskt sätt medan däremot isens avsmältning inte uppmätts på ett korrekt sätt. Hos den ena av mätarna har viss drift av kalibreringen uppträtt. I rapporten diskuteras olika möjliga orsaker till mätfelen med förslag till modifierat utförande av mätarna.

## INNEHÅLL

	sid
FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	ii
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	iii
DEL I KONSTRUKTION OCH LABORATORIEPROVNING	1
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Målsättning	2
2 MÄTPRINCIPER	3
3 MÄTARE BASERAD PÅ VOLYMSÖKNING	5
3.1 Utförande, kravspecifikation	5
3.2 Teori	6
3.3 Mätfel	8
4 PROVNING I LABORATORIUM	11
5 SLUTSATSER, PROTOTYP, UTVECKLINGSMÖJLIGHETER	21
DEL II FÄLTPROVNING I MOTALA VINTERN 1985-86	23
1 BAKGRUND	23
2 MÄTINSTRUMENTET	23
3 INSTALLATION AV TVÅ MÄTARE I MOTALA V	25
4 RESULTAT FRÅN MÄTNINGAR VINTERN 1986	27
5 ERFARENHETER OCH REKOMMENDATIONER	30
Bilaga Mätdata jan, febr 1986	32

## 1 INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Vid värmeuttag ur sjöar och vattendrag med slangsystem är ett av de mest påtagliga praktiska problemen den isbildning som sker på slangarna under vintern. Graden av påfrysning beror på vattentemperaturen, slangens nedsjunkning i botten samt av den uttagna effekten. Kraftig påfrysning uppträder i stillastående vatten vid temperaturer under  $0.5^{\circ}\text{C}$  och värmeuttag över  $20\text{ W/m}$ .

Påfrysningen leder till en uppkraft på slangen vilken måste kompenseras genom någon form av förankring, eller genom att säkerställa fastfrysning vid botten. Det senare kräver att slangen har anliggning mot botten samt att bottenmaterialet har tillräckligt hög densitet. I lös dybotten kan fastfrysning ej påräknas, och nedsjunkning bidrar dessutom till en ökad ispåfrysning, vilket innebär att anläggningar i sådana miljöer är speciellt känsliga.

Uppflytning av kollektorslangar har rapporterats i flera fall med kostsamma reparationer som följd. Slangbrott medför också läckage av köldbärarvätska. Man kan förmoda att de flesta skadorna beror på bristande kännedom om vattentemperatur och andra förhållanden i värmekällan och därmed felaktiga antaganden om maximal ispåfrysning.

Även i de fall då värmekällan är väl dokumenterad är det emellertid svårt att helt gardera sig mot risken för en onormalt stor ispåfrysning. Detta beror på att vattentemperaturen varierar mellan olika år och under extrema vädersituationer kan onormalt låga vattentemperaturer uppträda. Någon form av kontroll- eller varningssystem kan därför vara motiverad, speciellt för stora anläggningar, så att ispåväxten begränsas till den omfattning som förankringssystemet är dimensionerat för. Det finns också ett behov att mera systematiskt mäta ispåväxten på någon experimentanläggning i drift för att kunna jämföra med teoretiska beräkningar.

Mätningar av ispåväxt har hittills endast gjorts i ringa omfattning, och då genom dykinspektion, fotografering eller mekaniska anordningar. För att möjliggöra rutinmässiga mätningar behöver man utveckla ett robust och noggrant instrument som kan avläsas från land.

## 1.2 Målsättning

Detta projekt syftar till att utveckla ett mätinstrument för ispåväxtmätning. Instrumentet skall baseras på skillnader i fysikaliska egenskaper mellan is och vatten. Utprovning av mätprinciper utföres i en vattentank i V-sektionens klimatrum vid sådana yttre förhållanden som är typiska för sjövärmearläggningar vintertid med en maximal ispåfrysning av 20-30 cm. Som resultat av projektet avses att bygga prototypinstrument som kan utprovas i fält, t ex i samband med uppföljningsprogrammet för sjökollektorn vid Motala V. Mätmetoden bör medge anslutning till ett automatiskt datainsamlingssystem.

## 2 MÄTPRINCIPER

Flera olika principer kan användas för att mäta isskiktets tjocklek, bl a temperaturregistreringar och mekanisk avkänning. För vårt ändamål synes dock mera ändamålsenligt att utnyttja någon av de fysikaliska egenskaper vilka skiljer sig mellan is och vatten. Följande mätprinciper valdes att prova i första hand.

- 1) Volymsökning vid frysning av en innesluten vattenmassa. Ett mätinstrument enligt denna princip kan bestå av ett vattenfyllt plaströr vilket fästes vinkelrät mot kollektorslangen. Den övre änden av röret tillslutes med ett gummimembran och anslutes till en slang eller ett rör fyllt med exempelvis silikonolja. Den volymökning som överförs via membranet till oljan kan avläsas på flera sätt. Enklast är att dra upp en slang till isen och avläsa stighöjden direkt i en graderad pipett. För överföring längre sträckor kan man t.ex. låta volymändringen förskjuta ett elektriskt skjutmotstånd och via kabel till land enkelt mäta det elektriska motståndet som ett mått på isfrontens läge.
- 2) Skillnad i kapacitans mellan is och vatten. Ett instrument enligt denna princip utformas som en elektrisk kondensator där fältet passerar igenom en längre eller kortare sträcka av is respektive vatten. Kapacitansen hos isen är frekvensberoende och påverkas i viss mån av temperatur och föröreningar i isen. Avläsning och växelströmsmatning sker genom kabel från land. Fördelen med ett instrument enligt denna princip är att det kan göras mycket oömt och saknar rörliga delar. Ett utförande kan t ex vara i form av en bandkabel som fästs ut från kollektorslangen.

Andra egenskaper som skulle kunna utnyttjas är t ex skillnaden i värmeledningstal mellan is och vatten. Genom att sända en elektrisk ström genom en delvis infrusen motståndstråd och mäta dess uppvärmning kan i princip den infrusna sträckan bestämmas. Utvärderingen blir emellertid komplicerad, varför denna metod inte utvecklats närmare.

Volymöknings- och kapacitansmetoden har provats i laboratoriet under förhållanden som liknar fältförhållanden. Kapacitansmetoden visade sig emellertid mindre lämplig vilket främst beror på att kapacitansens temperaturberoende är för stor relativt skillnaden mellan is och vatten. Dessa prov redovisas därför inte närmare.



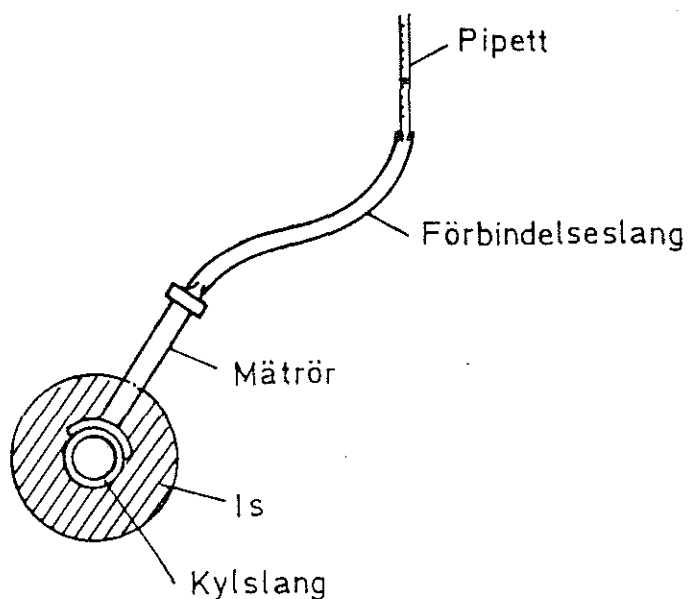
## 3 MÄTARE BASERAD PÅ VOLYMSÖKNING

3.1 Utförande, kravspecifikation

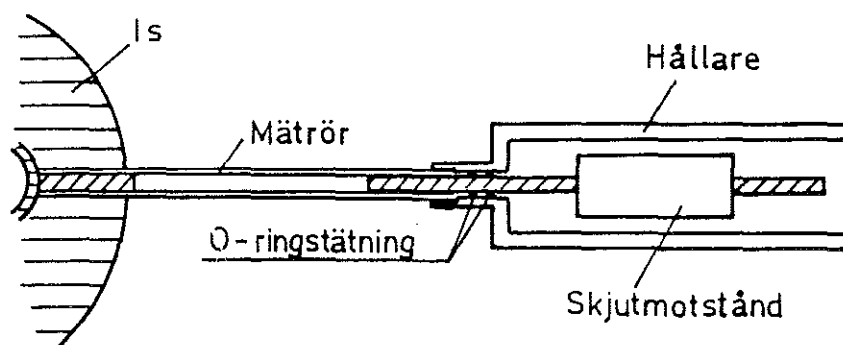
Mätaren utföres i form av ett vattenfyllt rör som fästes vinkelrät mot den kollektorslang eller det istäcke som skall studeras. Vattnet i röret kommer då att frysa i samma takt som isfronten utanför röret. Volymökningen på den inneslutna vattenmängden vid ökande andel i frusen form mäts.

För avläsning och registrering kan olika metoder användas. Två av dessa visas i figur 1 och 2. I figur 1 avläses volymsökningen direkt i en tunn, graderad pipett som är ansluten med en slang till mätröret. Mätröret bör i detta fall vara relativt grovt för att få lämplig avläsningsnoggrannhet. En variant av denna metod, med pipetten ersatt av ett U-rör som delvis fyllts med kvicksilver, beskrivs närmare i kap. 3.3.

En annan typ av avläsning illustreras i figur 2. Volymsutvidgningen i mätröret får här direkt påverka ett elektriskt skjutmotstånd via en O-ringstättad axelgenomföring. Det elektriska motståndet skall då direkt svara mot istjockleken och avläsning kan göras på stort avstånd via en mätkabel. Skjutmotståndet har en upplösning av 0.05 mm vilket medger att ett relativt tunnt mätrör kan användas.



Figur 1 Ispöväxtmätare med direkt avläsning av volymsökningen i en graderad pipett.



Figur 2 Ispåväxtmätare med elektriskt skjutmotstånd.

Oavsett avläsningsprincip bör mätaren uppfylla följande krav:

- o Mätnoggrannhet  $\pm 0.5$  cm
- o Liten påverkan på frysförloppet vid slang eller istäcke - högst 0.5 cm avvikelse
- o Robust och tåligt utförande med hänsyn till ström, vågor, rörelser hos kollektorslang, påväxt, nedsjunkning i botten-sediment m m
- o Operationsdjup max 20 m

Notera att mätaren i normalutförande endast är avsedd för sötvatten. I saltvatten kan sannolikt inte denna mätprincip användas. Inte heller i luft är denna metod användbar.

### 3.2 Teori

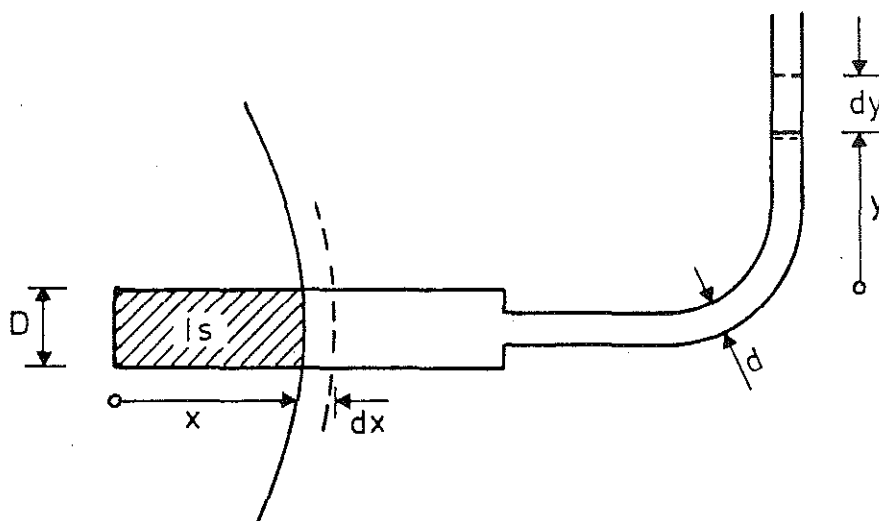
Volymen hos en innesluten vattenmassa påverkas dels av temperaturutvidgning och dels av volymsförändring vid fasövergång. Med hänsyn till det ringa temperaturintervall som är aktuellt under mätsäsongen blir temperaturutvidgningen försumbar. Detta gäller även för rörmaterialets utvidgning. Den låga temperaturen gör att lösligheten hos inneslutna gaser ökar vilket bidrar till att man inte bör få någon fri gas. Volymförändringen genom frysning blir således dominerande.

Rörelsen hos en kolv eller en vätskepelare, som är ansluten till ett rör i vilket frysning sker enligt figur 3, kan beräknas på följande sätt. Isfrontens läge betecknas  $x$  och läget hos kolven eller vätskepelaren med  $y$ . Vid en förändring av isfrontens läge med sträcka  $dx$  får man en motsvarande förskjutning  $dy$  vilken uppmättes. Skillnaden i massa mellan ofruset och fruset tillstånd inom sträckan  $dx$  skall vara lika med vattnets massa vid förflyttning av vätskefronten sträckan  $dy$ . Detta villkor ger

$$\frac{\pi}{4} D^2 dx \cdot (\rho_{vtn} - \rho_{is}) = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot dy \cdot \rho_{vtn} \quad (1)$$

där  $\rho_{vtn}$  är vattnets densitet =  $1000 \text{ kg/m}^3$  vid  $0^\circ\text{C}$

$\rho_{is}$  är isens densitet =  $917 \text{ kg/m}^3$  vid  $0^\circ\text{C}$



Figur 3 Samband mellan is- och vätskefrontens rörelse - definitionsskiss.

Ur ekv. (1) erhålles

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\rho_{vtn} - \rho_{is}}{\rho_{vtn}} \left( \frac{D}{d} \right)^2 = 0.083 \left( \frac{D}{d} \right)^2 \quad (2)$$

Vid direkt avläsning enligt figur 1 kan det vara lämpligt att mätutslaget blir lika stort som istjockleken, dvs  $dy/dx = 1$ . Förhållandet mellan mätrörets och avläsningsrörets diametrar skall

då vara  $D/d = 3.47$ . Om en volymsgraderad pipett används för avläsning gäller följande formel för volymsförändringen  $dV$ :

$$\frac{dV}{dx} = \frac{\pi}{4} \frac{(\rho_{vtn} \cdot \rho_{is})}{\rho_{vtn}} \cdot D^2 = 0.0652 \cdot D^2 \quad (3)$$

Om mätrörets innerdiameter är t ex 16 mm blir volymförändringen 0.167 ml per cm is.

I det fall att volymsutvidgningen får påverka en kolv direkt i mätröret, figur 2, gäller att  $D/d \approx 1$ . Kolvens förskjutning blir således 0.83 mm per cm is. Det elektriska skjutmotståndet kan fås med en upplösning av 5/100 mm, vilket motsvarar en upplösning i bestämningen av isfrontens läge på 0.6 mm.

### 3.3 Mätfel

Avvikelse från korrekta mätvärden kan uppstå av flera anledningar. Vissa av dessa är kopplade till den aktuella tillämpningen, varför det är nödvändigt att ha insikt i såväl dynamiken i det isbildningsförlopp som skall studeras som mätarens egenskaper. Uppträdande feltyper kan klassificeras enligt följande

#### a) Påverkan på det studerade frysförloppet

Mätröret leder värme från isfronten mot kollektorslangen och från omgivande vatten mot isfronten. Dessutom påverkar mätröret den naturliga strömningen (konvektion) intill isytan. Om dessa värmeflöden avviker från motsvarande utan mätrör, kommer istjockleken invid röret att avvika från det naturliga värdet. Felet kan minimeras genom att välja material och dimensioner så att värmeledningen i röret så nära som möjligt överensstämmer med naturliga värmetransporter.

Under istillväxtperioder dominerar värmetransport genom isen över värmeöverföringen från vattnet. Om rörmaterialet har samma värmeledningsförmåga som is bör därvid påverkan bli obetydlig. Under avsmältperioder dominerar konvektiv värmeöverföring från vattnet till isfronten. Mätröret bör då

snarare ha vattnets värmeledningsförmåga, vilken är väsentligt lägre än isens. Om röret har högre värmeledningstal kommer isen att avsmälta snabbare närmast röret.

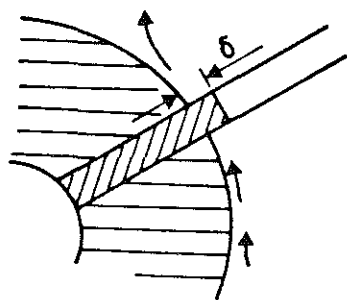
I praktiken är det således inte möjligt att konstruera ett mätrör så att istjockleken blir opåverkad under hela vinterperioden. Generellt bör röret ha så liten diameter och så tunna väggar som möjligt. Rörmaterialets värmeledningstal bör ligga mellan det för vatten resp is ( $0.56-2.24 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ). Vid mätning på sjövärmekollektorer är intresset främst knutet till istillväxtperioden varför värmeledningstal närmare isens i regel bör väljas, t ex plexiglas ( $1.9 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ).

b) Absorption av kortvågig strålning

Mätrör som utsätts för solstrålning kan värmas upp och därigenom påverka isfrontens läge såväl inom röret som omedelbart utanför detta. Röret bör ges reflekterande egenskaper för att minimera uppvärmningen.

c) Skillnader i isfrontens läge i mätröret och utanför

Värmeöverföringen från vattnet till isytan sker genom naturlig och påtvingad konvektion samt genom värmeledning. Inne i mätröret är de konvektiva rörelserna väsentligt svagare eller saknas helt. Detta bör leda till att isproppen i röret bör sträcka sig något längre än den yttre isfronten. Samtidigt kringströmmas mätröret av de konvektiva strömmar som



alstras av nedkyllningen invid isen. Mätröret, som närmast utanför isfronten blir kallare än omgivande vatten, värms därför i radiell led vilket bidrar till att begränsa avvikelserna mellan isfrontens läge inne i och utanför röret. För att få minsta möjliga fel bör rörväggens värmemotstånd vara litet (tunnväggigt, hög värmeledningsförmåga) och rördiametern liten. Rörmaterial med hög värmeledningsförmåga kan, enligt tidigare, inte väljas varför tunna rörväggar och liten diameter blir väsentliga. Felets storlek torde inte överstiga rördiametern.

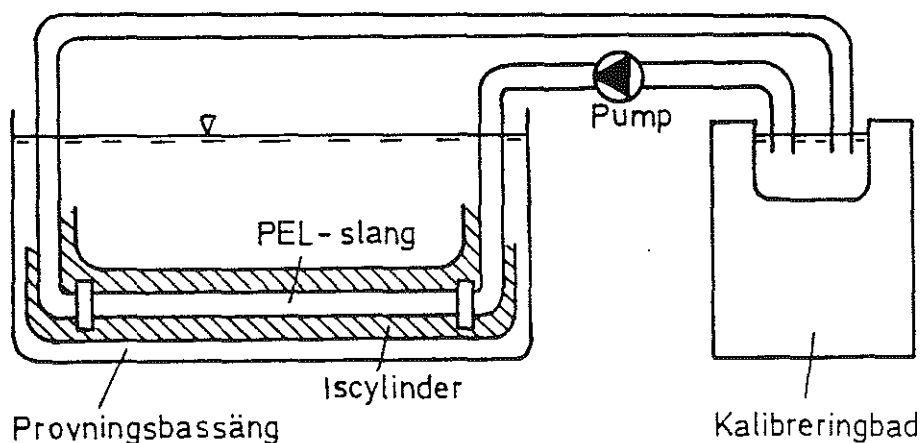
liga fel bör rörväggens värmemotstånd vara litet (tunnväggigt, hög värmeledningsförmåga) och rördiametern liten. Rörmaterial med hög värmeledningsförmåga kan, enligt tidigare, inte väljas varför tunna rörväggar och liten diameter blir väsentliga. Felets storlek torde inte överstiga rördiametern.

- d) Läckage av vatten ur mätröret eller ur stigarröret vid direktavläsning  
Kräver god tätning. Kontroll kan erhållas vid slutet av säsongen då isen smält (ej vid halvöppna system).
- e) Volymförändringar hos mätrör och stigarrör  
Torde vara försumbara i de flesta fall. Vid direktavläsning med långa mätavstånd blir mätavståndet avgörande. Stigarrör (slang) bör väljas i formstabil material.
- f) Avläsningsnoggrannhet  
Bör kunna bli ca  $\pm 1$  mm vid båda systemen. Detta inkluderar fel på grund av avläsningsinstrumentens onoggrannhet. Instrumentkalibrering och nollställning måste göras på platsen i samband med installation av mätutrustningen.

## 4 PROVNING I LABORATORIUM

Olika typer av mätörer och avläsningsformer har provats i ett klimatrumsrum. Rummet hölls vid en temperatur av omkring  $+5^{\circ}\text{C}$ . Isbildning i mätörret åstadkoms genom simulerad infrysning i iscyllindern runt ett kollektorror eller genom successiv nedsänkning av roret i ett köldbädd.

Simulerad infrysning gjordes med hjälp av en vattenbassäng i vilken placerats en PEL-slang  $\varnothing 40$  mm. Genom slangen cirkulerades köldbärare i form av glykolblandat vatten från ett kalibreringsbädd, se figur 4.



Figur 4 Utrustning för simulering av påfrusen sjövärmekollektor.

I det följande redovisas resultatet av de olika prov som utförts.

Försök 1 30 aug - 2 sept.

Simulerad påfrysning på slang.  
 Plexiglasrör  $\varnothing 4.8$  mm anslutet till  
 elektriskt skjutmotstånd  
 PVC-rör  $\varnothing 16$  mm med manuell avläs-  
 ning i pipett (figur 2).

Plexiglasröret anslöts direkt till skjutmotståndets rörliga axel vilken hade diametern  $\varnothing 5.0$  mm. Tätning mellan röret och axeln var utförd med två O-ringar.

Skjutmotståndet har en upplösning av 0.05 mm och rörelser hos axeln ger ett utslag av 170 /mm. Enligt ekv. (2) skall istillväxten i mätröret ge en rörelse hos axeln av  $0.083 (4.8/5.0)^2 = 0.076$  cm/cm. Istillväxten skall således teoretiskt ge ett ökat elektriskt motstånd av 130  $\Omega$ /cm.

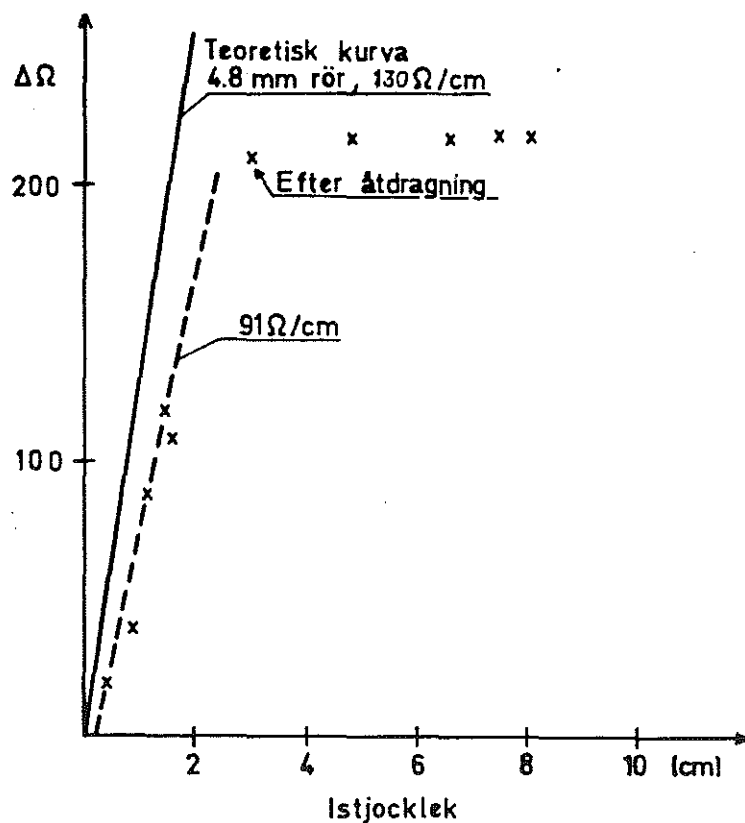
Mätaren monterades vertikalt över kollektorslangen med plexiglasrörets öppna ände i kontakt med slangen. Kollektorslangen kylades med cirkulerande köldbärare under nära fyra dygn. Under denna tid tillväxte ett ca 8 cm tjockt isskikt. Man kunde inte se någon nämnvärd avvikelse mellan isfrontens läge inuti och intill mätröret jämfört med den opåverkade iscylindern.

Resultatet av försöket med plexiglasröret framgår av figur 5. Potentiometern följde istillväxten relativt väl upp till 15 mm istjocklek men avtog sedan något. Detta tolkades som läckage i genomföringen av axeln varför tätningen drogs åt ytterligare något. Detta resulterade i fortsatt rörelse upp till en istjocklek av 30 mm, men sedan stannade skjutmotståndets rörelse helt. Under avsmältningsförloppet, som påskyndades genom omrörning i vattenbassängen, skedde heller ingen återgång av potentiometern. Uppenbarligen blev friktionsmotståndet i axelgenomföringen och skjutmotståndet så stort att man fick läckage från röret i stället för rörelse hos axeln. Under den första delen av försöket svarade axelns rörelse mot en motståndsändring av ca 91  $\Omega$  per cm is, vilket är 70% av det teoretiska värdet.

För den manuella mätaren bör istillväxten teoretiskt ge en ökning av nivån i pipetten med 0.167 ml/cm is. Resultatet av provningen blev emellertid bara en volymökning av 0.03 ml upp till 5 cm is. Vid ytterligare ispåfrysning sjönk nivån i pipetten något.

Detta felaktiga resultat kan bara tolkas så att läckage förekommit vid anslutningarna mellan förbindelseslangen och mätröret respektive pipetten. För att konstatera att det verkligen frös i PVC-röret mättes istjockleken direkt i ett parallellt monterat PVC-rör som var öppet upptill. Ingen nämndvärd avvikelse kunde konstateras mellan nivån i röret och omedelbart utanför.





Figur 5 Ändring av potentiometervärde som funktion av påfrusen istjocklek. Försök 1.

Avsmältningen av isen, vilken skedde med avstängd brinecirkulation och omrörning i provbassängen (temperatur  $1.0 - 1.7^{\circ}\text{C}$ ), gick snabbast på rörets undersida så att till slut endast is återstod över rörets undersida så att till slut endast is återstod över röret enligt vidstående skiss. Invid PVC-rören blev avsmältningen också snabbare så att en "krater" med några få cm diameter uppstod i isen.

Försök 2            4-10 sept. 1985

Simulerad påfrysning på slang.

Plexiglas rör  $\phi$  7mm anslutet till  
skjutmotstånd.

PVC-rör  $\phi$  16 mm anslutet till pipett.

Plexiglasröret anslöts till skjutmotståndets axel med en enkel O-ringstättning och monterades mot kollektorslangen med ca  $30^{\circ}$  lutning.

Vid start av påfrysning erhöles ingen rörelse hos skjutmotståndet alls för de första 2.5 cm is. Motståndets axel trycktes då ned mot mätröret manuellt. Axeln kunde röras ca 1 mm innan stopp. Fortsatt påfrysning till 8 cm tjocklek (+2.5 cm) gav ett i det närmaste linjärt samband mellan istjocklek och elektriskt motstånd; se figur 6. Mätpunkterna ligger på en linje med lutningen ca 175  $\Omega$ /cm. Detta utgör endast 63% av det teoretiska sambandet, 277  $\Omega$ /cm. Sannolikt har ett visst läckage kunnat ske förbi O-ringstättningen. Vid avsmältningen återgick inte mätaren.

Den manuella mätningen med mätrör anslutet till pipett misslyckades även denna gång trots att tätningen till slangen förbättrats.

### Försök 3 11-16 sept

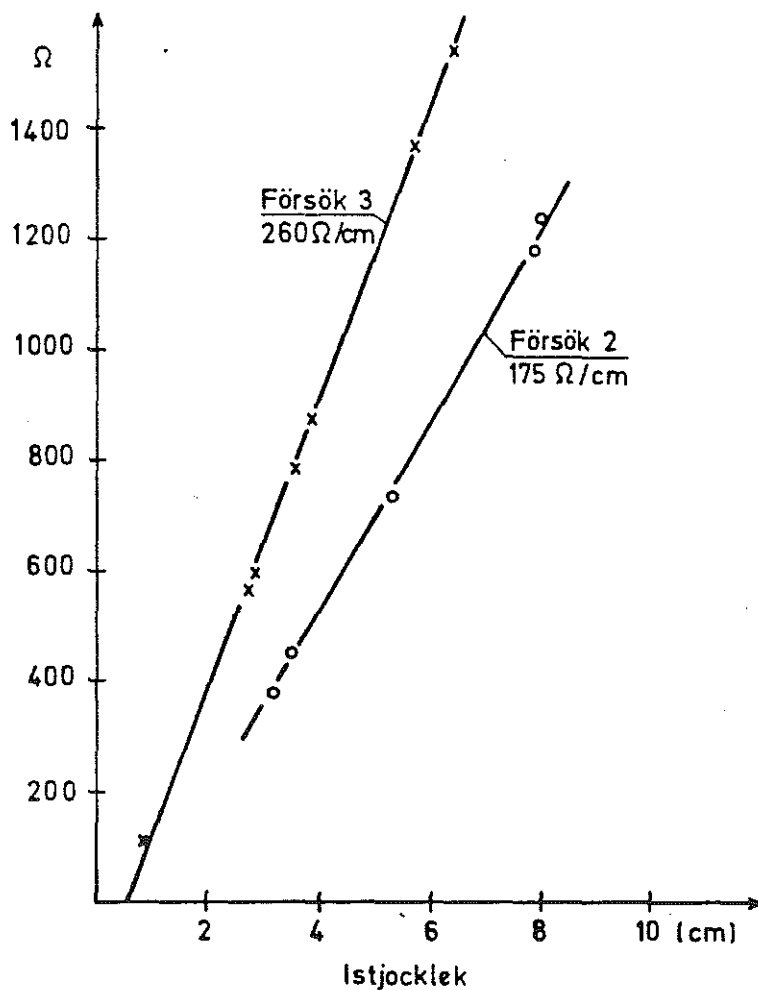
Simulerad påfrysning på slang.

Plexiglasrör  $\varnothing$ 7 mm anslutet till  
skjutmotståndet.

Plexiglasrör  $\varnothing$ 16 mm anslutet till pipett.

Försöket med den elektriska mätaren utfördes på samma sätt som försök 2 med den skillnaden att dubbla O-ringstättningar användes. Så fort ett tunt isskikt bildats pressades potentiometeraxeln ned i bottenläge. Mätutslaget under tillväxtfasen, som pågick under närmare fem dygn visas i figur 6. Mätpunkterna ligger på en rät linje med lutningen 260  $\Omega$ /cm, vilket nästan når upp till det teoretiska värdet. Startvärdet är emellertid osäkert.

Den manuella mätningen gav inte heller denna gång positivt resultat, troligen som följd av läckage. Vidare konstaterades under påfrysningsförloppet att istjockleken omedelbart intill mätröret kunde bli upp till en cm större än det opåverkade värdet.



Figur 6 Ändring av potentiometervärde som funktion av påfrusen istjocklek. Försök 2 och 3.

### Slutsatser av försök 1-3

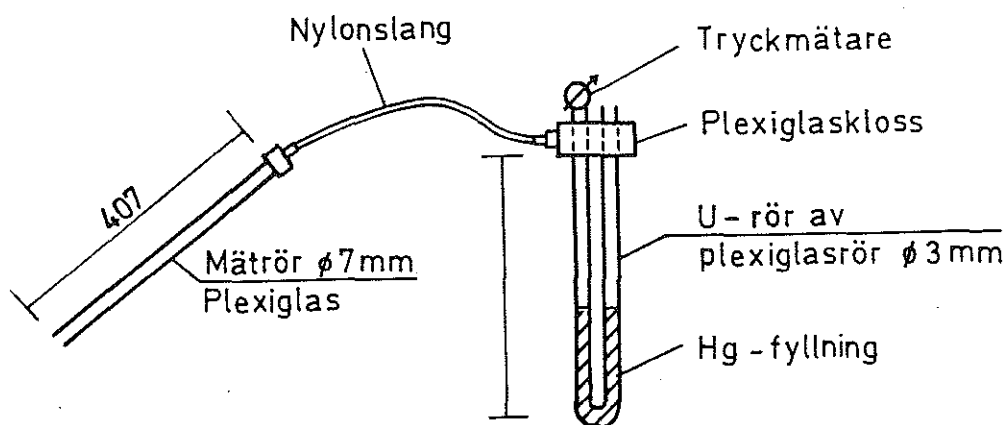
Försöken visar att den föreslagna principen fungerar som avsett och ger mätvärden som närmar sig de teoretiska värdena. Utförandet med en förskjutbar kolv tycks dock vara alltför känsligt med hänsyn till läckage och friktion i axelgenomföringen. Denna typ tycks inte heller kunna återgå till startläget vid avsmältning och är därför inte lämplig för praktiskt bruk.

Kravet på täthet hos mätaren blir mycket högt genom att den kommer att stå under tryck mycket lång tid. Hos den manuella mätaren lyckades inte detta med de enkla anslutningar som provats. Det bör dock inte vara omöjligt att göra tätare kopplingar som klarar detta. Däremot synes det grövre mätröret,  $\emptyset$  16 mm, ge en alltför

stor påverkan på istjockleken samt kollektorröret för att kunna accepteras. Detta gäller speciellt under upptiningsförloppet. Försöken med dessa mätrör avbröts därför.

#### Nytt utförande med Hg-fyllt U-rör

De redovisade problemen ledde fram till en helt ny metod att mäta och registrera volymökningen. Mätröret anslutes här via ett nylonrör med O-ringskopplingar till ett U-rör av plexiglas, vilket delvis fylls med kvicksilver, figur 7. Mätröret är öppet i änden och fyllt med vatten, medan förbindelseledningen och övre delen av U-röret innehåller silikonolja.



Figur 7 Ismätare med mätrör anslutet till kvicksilverfyllt U-rör.

U-rörets fria ände avses stå i förbindelse med det fria vattnet runt mätaren. Härigenom kommer trycket i båda skänklarna att bli lika stort när mätröret ej är fruset. Mätaren återgår därmed automatiskt till jämviktsläge när isen smält i mätröret.

Vid frysning i mätröret pressas kvicksilverpelaren ned i den vänstra skänkeln genom volymsökningen. Härigenom uppstår ett övertryck i mätaren, vilket kan mätas med en tryckmätare. Övertrycket blir då direkt proportionellt mot isproppens längd i mätröret. Som tryckmätare används en piezoresistiv tryckgivare av fabrikat SENSYM. Denna givare har fördelen att vara liten och ge en kraftig utsignal. Mätaren är temperaturkänslig, men har en inbyggd temperaturkompensering.

För att prova denna princip tillverkades en mätare med de mått som framgår av figur 7. Kvicksilverpelarens rörelse skall enligt ekv. (2) uppgå till 0.45 cm per cm is.

Försök 4a och b. 24-28 okt. resp 31 okt. - 1 nov.

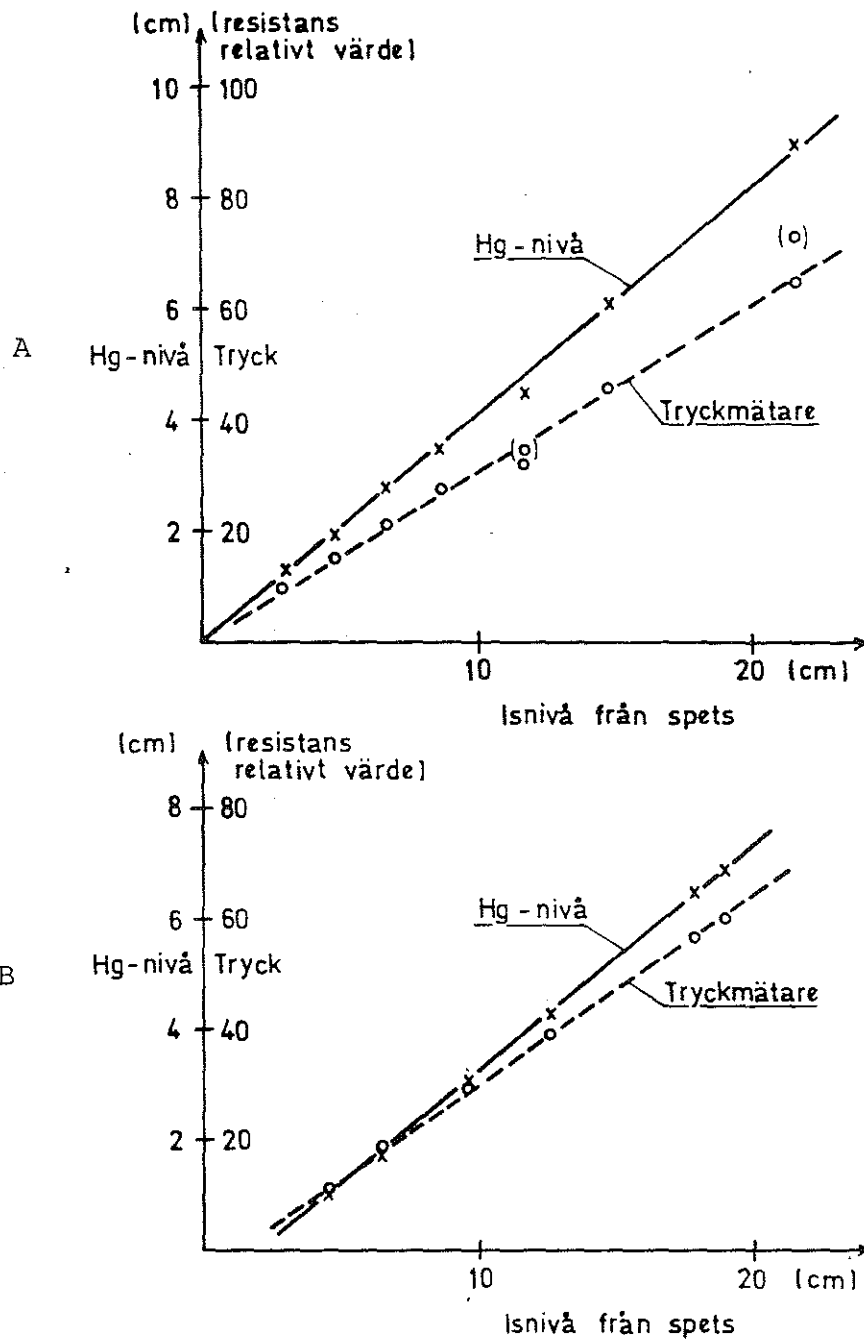
Frysning i köldbädd

Plexiglasrör  $\varnothing$  7 mm anslutet till Hg-  
manometer med tryckmätare.

Två lika försök utfördes där mätröret doppades ned successivt i ett köldbädd med ca  $-10^{\circ}\text{C}$ . Mätaren i övrigt, enl. figur 8, monterades fritt i luften invid bädden. Röret sänktes ned 2-3 cm åt gången och avläsning av isnivå, kvicksilvernivå och tryckmätare gjordes när en stabil isnivå uppnåtts. I början av det andra försöket trängde glykol från bädden in någon cm i mätröret varför frysning påbörjades först en bit upp i röret.

Resultatet framgår av figur 8a och b. Den direkt uppmätta kvicksilvernivån följer mycket väl ett linjärt samband med istjockleken i röret med lutningskoefficienten 0.41. Detta är 90% av det teoretiska värdet.

Tryckmätaren följer också ett linjärt samband med isen i mätröret. Spridningen är dock något större än vid direktavläsning.



Figur 8 Ändring i kvicksilvernivå och tryckmätarvärde vid neddoppning i köldbadd. Förorsök 4a och b.

Förorsök 5 1-11 nov

Simulerad frysning på slang.

Plexiglasrör  $\varnothing$  7 mm anslutet till Hg-manometer med tryckmätare.

Mätröret tillslöts i änden med en limmad plexiglaspropp varefter två små hål borrades i röret ca 5 mm från spetsen. Detta gjordes

främst av praktiska skäl för att hindra utbytet av vatten mellan mätrör och omgivning. Röret monterades sedan i ca  $45^{\circ}$  vinkel från kylslangen.

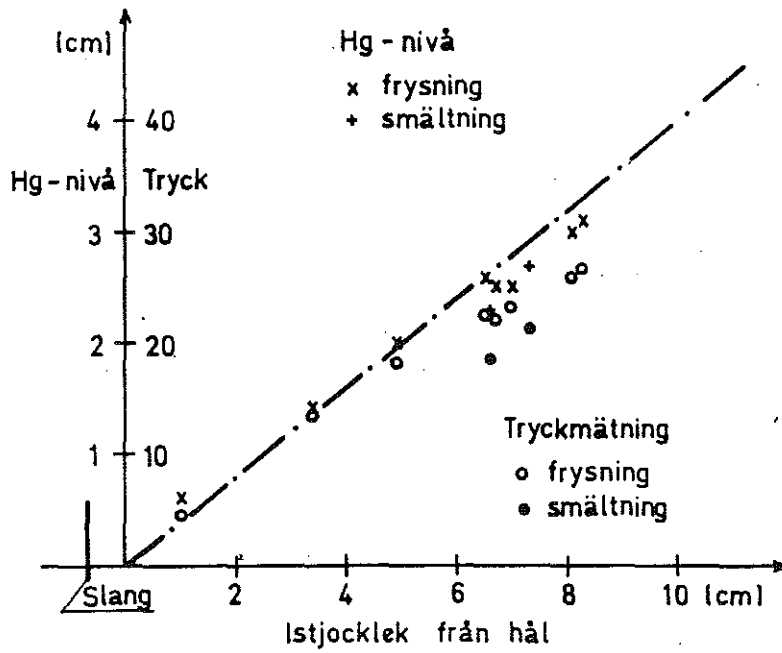
Påfrysning på slangen gjordes under 4 dygn varefter isen fick tina utan omrörning och med fortsatt brinecirkulation vid  $-2^{\circ}\text{C}$  under två dygn. Maximal istjocklek var 8.3 cm.

Mätresultaten visas i figur 9. I diagrammet har Hg-nivåns och tryckets avvikelse från jämviktsläget avsatts som funktion av avståndet mellan isfronten utanför mätröret och hålen vid spetsen av röret.

Avläsningen av Hg-nivån ger en god uppfattning om försöksförloppet. Vid begynnande frysning fryser det snabbare inne i mätröret än utanför. Mätvärdeskurvan går därför inte mot noll vid isläget motsvarande hålen i mätröret. Denna avvikelse bör dock utjämnas senare. Man kan möjligen tolka de fyra första mätpunkterna som asymptotiskt gående mot en rät linje från origo i lutning 0.40. Detta överensstämmer i så fall med försök 4 där lutningskoefficienten blev 0.41.

Vid en istjocklek mellan 6.5 och 7 cm inträffar ett litet språng i mätvärdeskurvan. Sannolikt beror detta på en volymförändring i systemet orsakad av hantering av utrustningen (rörelse i skarv-kopplingar?). Därefter följer mätvärdena samma trend som tidigare.

Tryckmätningen följer i stort samma förlopp som den manuella avläsningen. Överlagrat denna finns emellertid slumpmässiga avvikelser, som senare konstaterats bero på temperaturvariationer i mätrummet. Temperaturhöjningar på upp till  $7-8^{\circ}\text{C}$  från det inställda värdet  $+5^{\circ}\text{C}$  har inträffat i samband med avfrostning av rummets kylanläggning. Avvikelserna hos mätvärdena har således sin grund i tryckgivarens temperaturkänslighet, vilken inte är exakt utbalanserad inom det aktuella temperaturintervallet.



Figur 9 Försök 5. Ändring av kvicksilvernivå och tryckmätarvärde som funktion av isfrontens avstånd från hålen i mät-röret.



## 5 SLUTSATSER, PROTOTYP, UTVECKLINGSMÖJLIGHETER

Försöken visar att den föreslagna mätutrustningen med infruset mätrör kopplat till kvicksilverfyllt U-rör och tryckgivare ger reproducerbara mätvärden och en acceptabel mätnoggrannhet. En prototyp bör därför tillverkas och provas i fält.

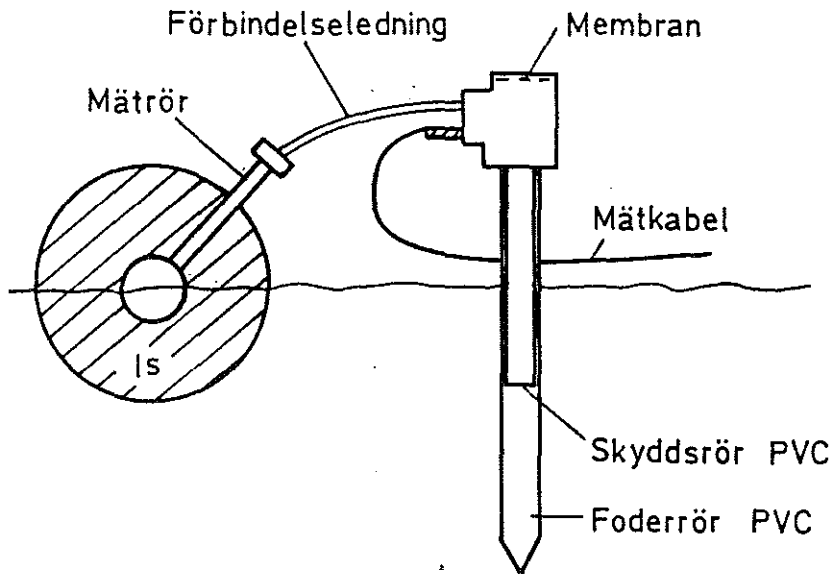
Utformningen måste speciellt ta sikte på att minimera läckage-risken för tryckutsatta delar. Temperaturkompenseringen för tryckgivaren bör också förbättras inom intervallet 0-4 °C. Ett speciellt problem utgör läckage i själva tryckgivaren vilken inte garanteras vara helt tät. Fabrikanten uppger att läckagearean uppgår till högst  $10^{-7}$  cm<sup>2</sup>, vilket sannolikt innebär att läckaget under en säsong kan uppgå till att motsvara någon cm is.

En prototyp till mätinstrument visas i figur 10. Denna består i princip av mätaren i figur 6 monterad i ett PVC-rör. Den övre delen av mätaren med tryckmätare samt anslutningar för kabel och tryckslang placeras i en T-krök som limmas samman med PVC-röret. Hela denna instrumenthållare fylls med silikonolja och avgränsas uppåt med ett gummimembran som skall ta upp volymsförändringarna. Även förbindelseslangen till mätröret och de icke kvicksilverfyllda delarna av U-röret fylls med silikonolja.

Tryckmätaren väljes av en typ som mäter differensen mellan det inre och det yttre trycket. Härigenom blir man oberoende av vattenståndsvariationer. Givaren monteras på kopplingsklossen tillsammans med ett elektronikkort som innehåller signalförstärkare och en temperaturkompensationskrets.

Mätaren avses att placeras vertikalt med PVC-röret nedstucket i ett foderrör vilket slås ned i botten intill den kollektorslang som skall studeras. Mätröret monteras med spetsen mot kollektorslangen med en hållare som kläms fast på slangen.

Avläsning kan göras via mätkabeln med ett enkelt motståndsmätinstrument.



Figur 10 Prototyp för ispåväxtmätning med infruset mätrör.

Materialkostnaden för denna mätare uppgår till ca 500 kr exkl kostnad för kabel och avläsningsinstrument. Härav utgör tryckgivaren den dominerande biten. Totalkostnaden inkl. arbetskostnad torde bli omkring 1500 kr.

Flera olika utvecklingsmöjligheter finns för mätaren. Man kan t ex tänka sig en variant med flera mätrör kopplade till samma mätenhet. Om mätrören placeras i olika riktningar (uppåt, nedåt, åt sidan) skulle man få en integrerad bild av den totala isvolymen kring kollektorn oavsett hur denna fördelas. En annan möjlighet vore att montera två separata mätare i samma enhet med gemensam kabel till land. Mätarna kan då t ex kopplas till fram och returledning om dessa går nära varandra.

Om mätaren enbart skall användas för övervakning, dvs kontroll att istjockleken ej överstiger ett dimensionerande värde kan en enkel och billig optisk avläsning användas i stället för tryckmätningen.

Andra användningsområden för mätaren kan vara t ex tjäldjupsmätning och ispåväxt på ytjordvärmslangar.

## 1. Bakgrund

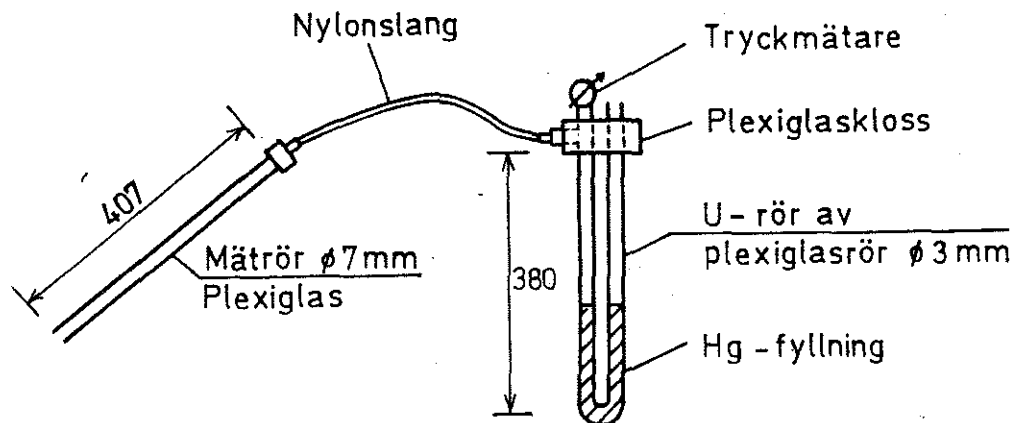
Värmeuttag ur sjöar och vattendrag till värmepumpar görs ofta med sk sjövärmekollektorer i form av plastslang som placeras i vatt-net, på botten eller nedsjunkna i bottensedimenten. När vattentemperaturen är låg på vintern fryser en iscylinder av varierande diameter på runt slangens. Isen åstadkommer en lyftkraft som måste motverkas genom belastning eller förankring av slangarna så att dessa ej flyter upp. Ispåfrysningens omfattning är svår att fastställa på förhand då förväntade vattentemperaturer och slangarnas nedsjunkning ofta är dåligt kända.

För att kunna övervaka kollektorns ispåfrysning, och ev styra driften med hänsyn till tillåten lyftkraft, krävs någon form av instrument som kan mäta isskiktets tjocklek. Något sådant instrument finns, mig veterligt, inte kommersiellt tillgängligt. Vid Institutionen för vattenbyggnad, CTH, har därför utvecklats ett instrument som baseras på volymsökningen vid frysning av vatten i ett smalt mätrör som fästes mot en kollektorslang. Resultat från utprovning under laboratorieförhållanden har tidigare redovisats (anslagsrapport 850278-0, daterad nov 1985). I samband med laboratorieproven byggdes två prototyper till fältinstrument.

I föreliggande projektetapp har de båda prototyperna monterats på sjövärmekollektorerna för värmepumpanläggningen Motala V och provats under en vintersäsong. Vattentemperaturen i området har under vintern varit så låg att en kraftig påfrysning skett.

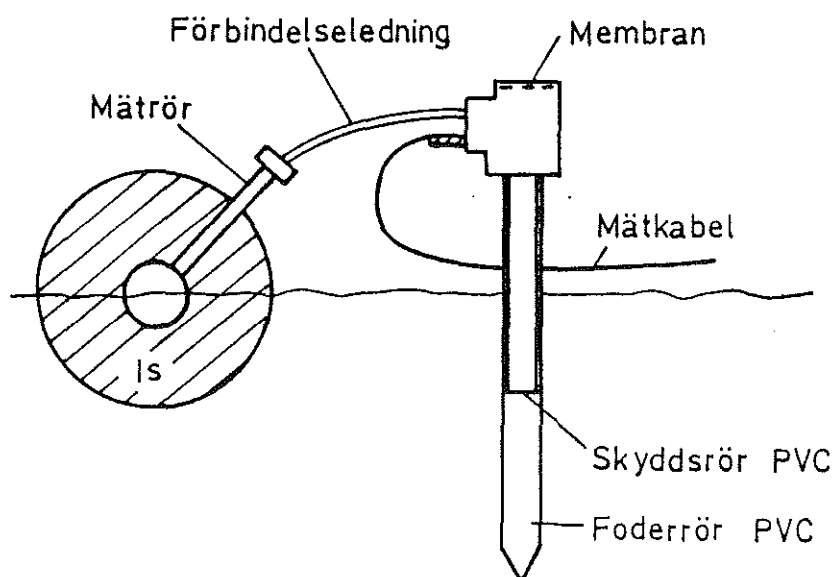
## 2. Mätinstrumentet

Mätinstrumentets principiella uppbyggnad framgår av figur 1. Mät-röret monteras med spetsen mot kollektorslangen, så att frysning sker successivt från spetsen och uppåt. Volymsökningen vid vatt-nets frysning i mätröret fortplantar sig till U-röret och snedställer kvicksilverpelaren. Detta ger upphov till ett övertryck i den vänstra skänkeln, vilket mätes med en piezoelektrisk tryckgi-vare. Trycket blir således direkt proportionellt mot isproppens längd i mätröret. Utslagets storlek blir beroende av förhållandet mellan tvärsnittsareorna hos mätröret och U-röret.



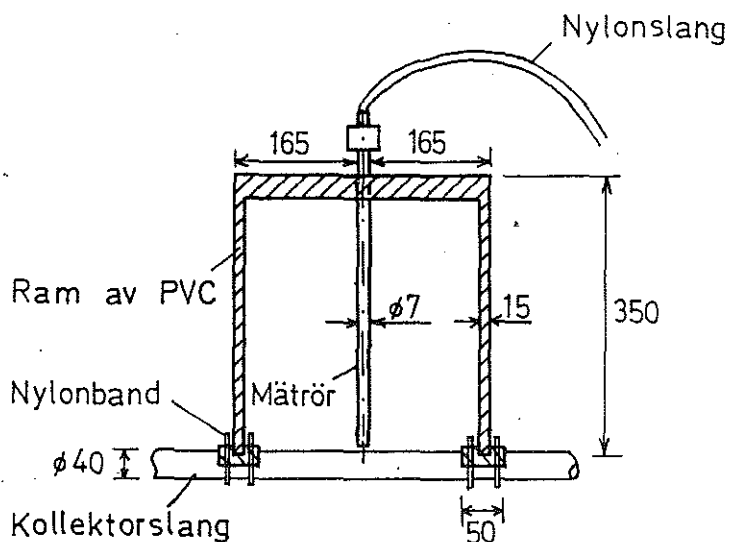
Figur 1 Ismätare med mätrör anslutet till ett kvicksilverfyllt U-rör.

- I prototyputförande har mätaren monterats i ett PVC-rör enligt figur 2. Den övre delen, med tryckgivare och anslutningar för kabel och tryckslang, har placerats i en T-krök som limmats samman med PVC-röret. Hela instrumenthållaren fylls med silikonolja och avgränsas uppåt med ett gummimembran som skall ta upp volymsförändringarna. Även tryckslangen mellan mätröret och den kvicksilverfyllda delen av U-röret är fylld med silikonolja för att skydda tryckgivaren.



Figur 2 Prototyp till ispåväxtmätare med infruset mätrör.

Mätaren monteras intill den kollektorslang som skall studeras. För att hålla U-röret med kvicksilver vertikalt slås ett foderrör ned i botten intill slangen, och skyddsröret sticks ned i detta. Givarröret monteras mot slangen med en särskild hållare som kläms fast på slangen, figur 3. Mätkabeln dras in till en avläsningsenhet i land.

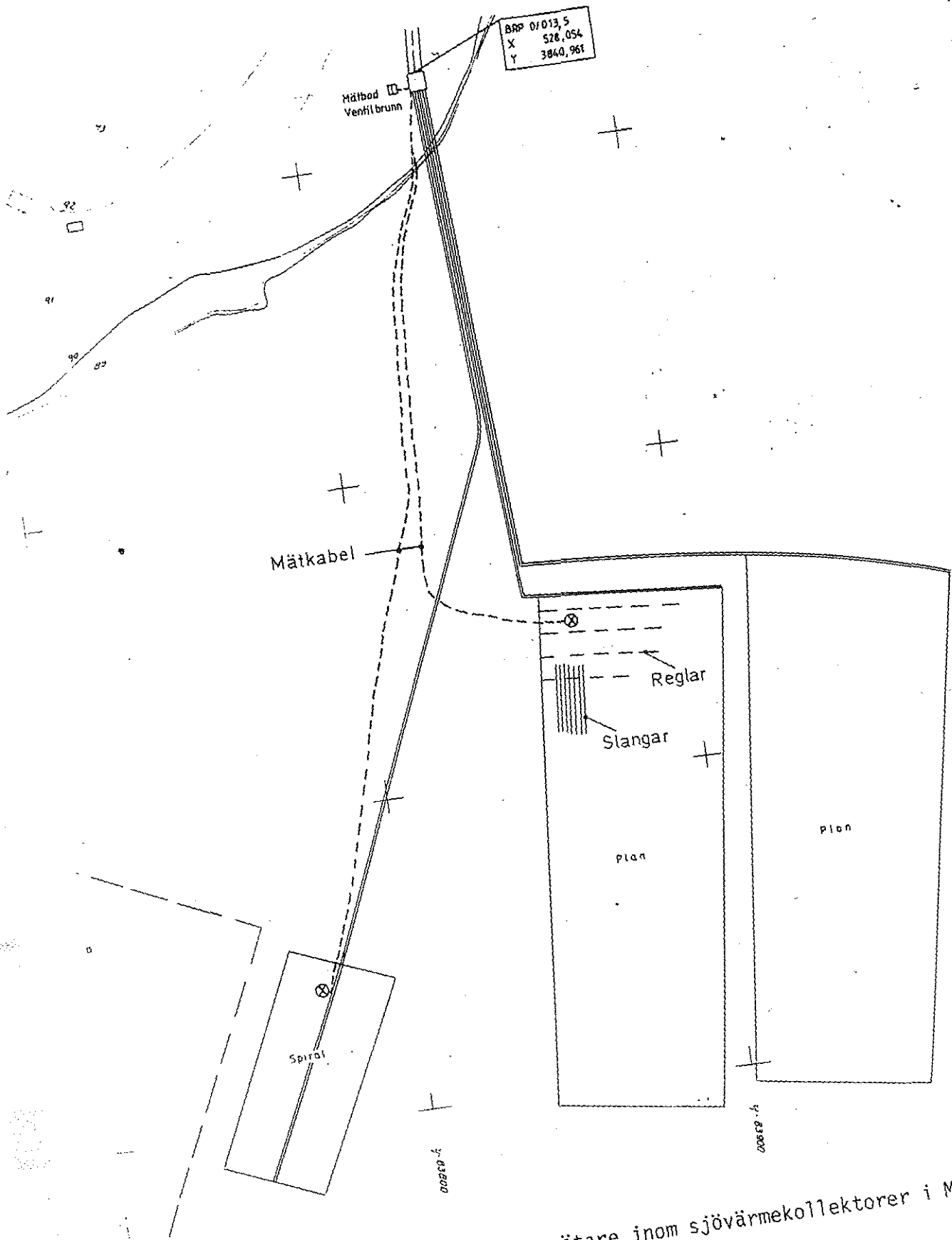


Figur 3 Montage av mätrör mot slang.

### 3. Installation av två mätare i Motala V

De två prototypmätare som tillverkats installerades i Motala V i början av december 1985 med hjälp av dykare. En mätare placerades i spiralkollektorn och den andra i plankollektor I, se figur 4. Avsikten var att mätarna skulle monteras ca 5 m från respektive fördelningsrör på en utgående slang, där det bedömdes att den största ispåväxten skulle uppträda. Av misstag blev emellertid mätaren på plankollektorn monterad på en ingående slang.

Mätkablarna drogs in till den befintliga mätstation som drivs av CTH ( BFR-projekt 850226-4) och bl a registrerar vattentemperaturer och driftdata för värmepumpen. Kablarna drogs genom nedgrävda skyddsrör från strandkanten och in till mätstationen. Skyddsröret fortsatte omkring 5 meter ut i vattnet som skydd mot is- och vågpåverkan.



Figur 4 Placering av ismätare inom sjövärmekollektorer i Motalaviken.

För mätning och registrering av mätvärden kopplades de båda tryckgivarna in på det befintliga mätdatorsystemet. Kalibreringskonstanter för omräkning av givarnas elektriska motstånd till aktuell istjocklek programmerades in i mätdatorn, tillsammans med utskrift- och lagringsrutiner.

Mätdatorn avläser mätvärden en gång per minut och bildar sedan timmedelvärden som lagras på en skiva. Ytterligare bearbetning kan sedan göras utgående från lagrade timvärden.

Som exempel visas i bilaga 1 utskrifter av dygnsmedelvärden under januari och februari månad 1986. De båda kolumnerna längst till höger visar uppmätt istjocklek på respektive kollektorslang. De höga värdena för kollektor 1 skall kommenteras senare. De övriga kolumnerna innehåller uppgifter om datum, utelufttemperatur, brinetemperaturer (kolumn 3-6) och uttagen effekt i respektive kollektor (kolumn 7-9). Nederst på sidan redovisas månadsmedelvärden.

#### 4. Resultat från mätningar vintern 1986

Mätarna monterades i sjön och kopplades in till mätdatorn den 1-2 dec 1985. Kontinuerlig registrering av mätvärden från båda mätarna har erhållits från den 1 januari fram till den 12 maj 1986, då mätarna togs upp för översyn. Mätkablar och foderrör har lämnats kvar på plats för att underlätta förnyade mätningar.

Mätaren inom spiralkollektorn har givit mätvärden av realistisk storlek under hela mätperioden. Den andra mätaren, inom plankollektorn, har däremot lämnat för höga värden, som visats i Bilaga 1. Felet har yttrat sig som en i det närmaste konstant förskjutning av nollvärdet med 19-20 cm. Detta har senare visats bero på läckage av olja från mätarinkapslingen in i mätkabeln. Med avdrag av denna nollpunktsförskjutning kan även denna mätare sägas ha gett realistiska mätvärden.

Mätarna visar isskiktets tjocklek i den riktning från slangen som mätröret är fäst. Under ett ispåfrysningsförlopp är iscylinderns tvärsnitt nära nog cirkulärt. Värmeflödet från vattnet till is-

ytan är emellertid större på sidorna än över slangen, vilket, speciellt under avsmältningsföropp, visar sig i form av ett ovalt istvärsnitt. För att få ett representativt värde på isskiktets tjocklek har därför mätrören fästs snett uppåt i ungefär 45 graders vinkel. Iscylinderns diameter kan beräknas med följande uttryck:

$$D = 0.040 + 2 \cdot T \quad (\text{m})$$

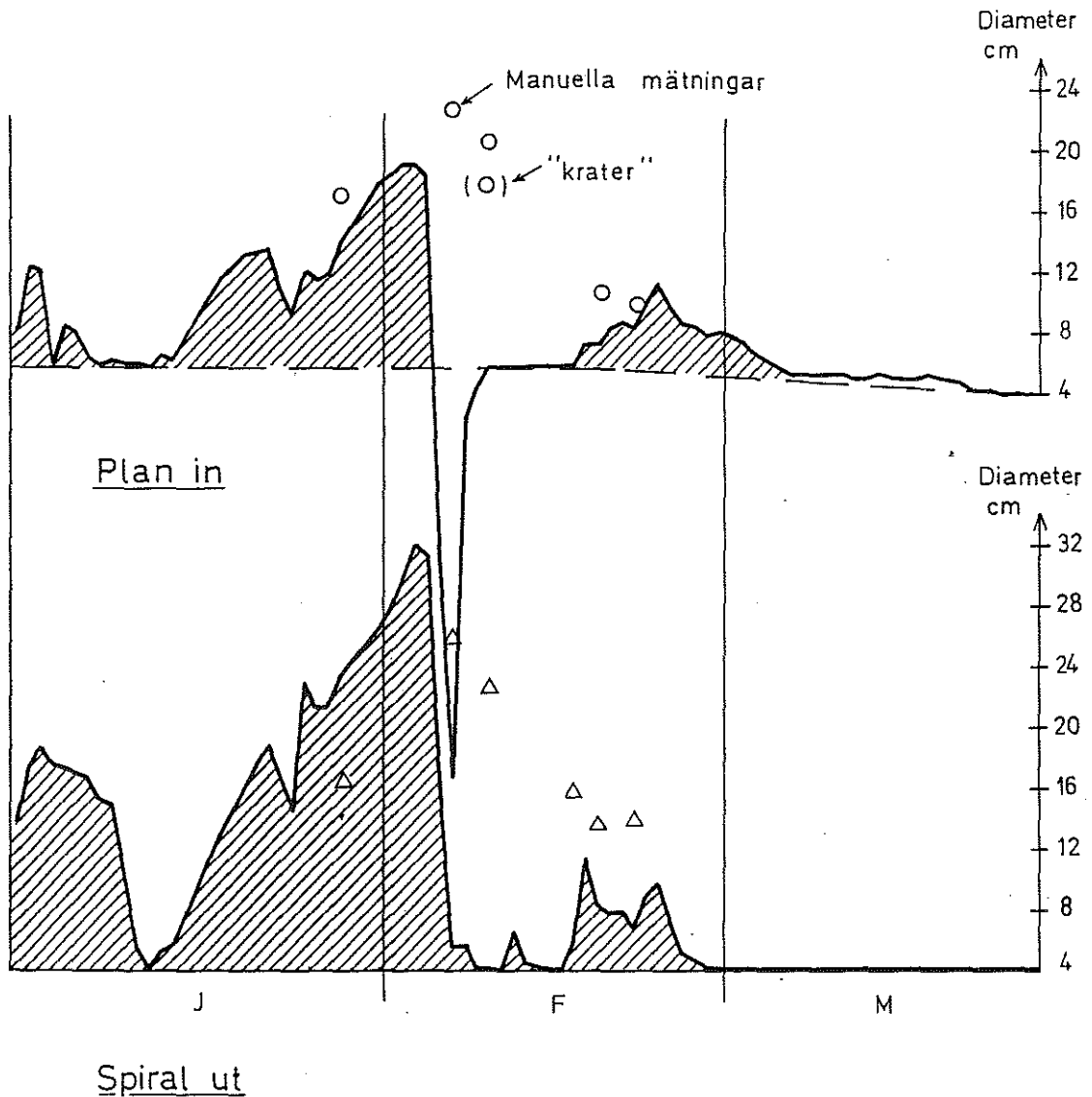
där D är iscylinderns diameter och T den uppmätta tjockleken hos isskiktet. Konstanten 0.040 står för kollektorslangens ytterdiameter.

Uppmätt och beräknad isdiameter under månaderna januari t o m mars 1986 visas i figur 5. I samma figur är inlagt resultaten av några manuelle mätningar som gjorts med hjälp av dykare. De senare har i första hand syftat till att kontrollera att inte dimensionerande islyftkraft överskrides och har utförts i nära anslutning till våra mätare. De manuelle mätningarna har dock inte gjorts direkt intill mätrören, varför avvikelser på någon cm bör kunna finnas.

Mätningarna visar en period med ispåfrysning på slangarna omkring årsskiftet. Detta har samband med en period med mycket låg vattentemperatur, 0.0 till 0.2 grader Celcius. Från den tredje januari kom varmare vatten in i Motalaviken, 0.3 till 0.5 grader, vilket medförde en successiv avsmältning av isen.

En andra period med mycket kallt vatten inleddes omkring den 16 januari och varade under cirka en månad. Under denna period ökade isdiameteren kontinuerligt, utom under ett par dygn med reducerat värmeuttag, fram till den 4 februari då värmepumpen av säkerhets-skäl stängdes av. Den dimensionerande islasten hade då uppnåtts, och ytterligare värmeuttag bedömdes medföra risk för uppflytning av delar av kollektorerna.





Figur 5 Uppmätt isdiameter på sjövärmekollektorer i Motala V under perioden jan-mars 1986. Heldragen kurva är uppmätt med CTH:s ismätare, medan de inlagda punktmätningarna är utförda manuellt av dykare.

Förnyat värmeuttag med reducerad effekt påbörjades den 16 februari, och från den 22 februari kördes värmepumpen med full effekt. Vattentemperaturen steg kontinuerligt under denna period från 0.3-0.4 grader i mitten av månaden till 0.6-0.8 grader vid slutet. Mätningarna visar en mindre topp i istjocklek mellan 20 till 25 februari.

Båda mätarna synes ha gett en realistisk bild av istjockleken under påfrysningförloppet, eller så länge värmepumpen körs kontinuerligt. Detta bekräftas även vid en jämförelse med uttagen effekt och erhållen brinetemperatur, vilka i princip kan kopplas direkt till istjockleken på kollektorslangarna. En direkt jämförelse med manuellt uppmätt isdiameter kan tyvärr bara göras för ett tillfälle, den 28 jan. Avvikelsen vid detta tillfälle var +2-3 cm för mätaren på plankollektorn, och ca -7 cm på spiralkollektorn. Det senare kan antas bero på drift av kalibreringen av tryckgivarutslaget, vilken vid efterkontroll visat ändrade värden.

Under avsmältningförloppen, eller då värmepumpen varit avstängd under kortare eller längre tider, visar mätarna en snabbt avtagande istjocklek. För plankollektorn går t o m utslaget väsentligt under den antagna nollnivån under ett par dygn. Detta beteende är inte fysikaliskt rimligt. Detta bekräftas också av de manuelle mätningarna, som visar en successivt avtagande isdiameter under perioden 4 - 18 februari. Någon entydig förklaring till denna avvikelse hos mätarna har inte kunnat finnas. En tänkbar förklaring är att temperaturhöjningen i iscylindern och/eller smältning av isen i ett tunnt skikt närmast slangen medfört ändrade tryckförhållanden intill spetsen på mätröret och läckage av vatten förbi isproppen i mätröret. Detta skulle i så fall kunna åtgärdas genom att försluta änden på mätröret.

Under avsmältningen iakttogs också en tendens till lokal avsmältning som en krater med någon cm djup omkring mätröret. Detta inträffade även under laboratorieproven, men kan inte förklara ovannämnda, större avvikelse.

##### 5. Erfarenheter och rekommendationer

Den utförda fältprovningen av ismätarinstrumentet har visat att det fungerar även under fältmässiga förhållanden. Inget läckage har kunnat påvisas i tryckmätaren eller kopplingar, vilket befarats. Läckage av olja in i kabeln har däremot uppträtt, vilket är lätt att åtgärda.

Kalibreringen av mätarutslaget har vid efterkontroll visat sig blivit något förändrad för för den ena mätaren jämfört med den ursprungliga kalibreringen. Vidare uppvisade mätutslaget för båda mätarna en viss nollpunktförskjutning efter fältinstallation, vilket dock kompenseras för i mätdata. Innan mätarna åter placeras ut bör en noggrann kontroll av kalibrering och reproducerbarhet göras, och orsakerna till nollpunktsförskjutningen utredas.

Under ett ispåfrysningsförlopp synes mätaren ge en riktig bild av istjocklekens förändring. Vid avsmältning, eller då värmeuttag inte sker, blir mätresultatet däremot inte acceptabelt. Detta kan möjligen undvikas genom att göra mätröret helt slutet istället för med öppen spets. Med detta utförande balanserar inte mätaren automatiskt tillbaka till nollutslag då inte mätröret är infuset. Mätutslaget blir i någon mån beroende av vattentemperaturen, men denna effekt blir försumbar under vinterförhållanden. Ur hanterings- och installationssynpunkt är däremot ett slutet system att föredra. Fortsatta prov med mätaren bör därför ske med slutet mätrör.

Den provade registreringsmetoden som bygger på tryckmätning har visserligen fungerat, men ur driftsäkerhetssynpunkt bör även andra alternativ provas, speciellt om instrumentet skall användas för driftövervakning under lång tid. En sådan möjlighet vore att använda optisk mätning, så att kvicksilverpelaren får bryta ljusinfallet till fotoceller på olika nivåer längs U-röret. Härigenom skulle man få indikationer på när vissa isdiametrar överskrides. Det bör också vara möjligt att ordna en automatisk styrning av värmepumpens drift så att ispåväxten på slangarna håller sig inom bestämda gränser.

Sammanfattningsvis kan sägas att den provade ismätaren i princip fungerar, även under fältmässiga förhållanden. Vissa modifikationer är dock nödvändiga för att få acceptabel mätnoggrannhet, speciellt under avsmältningsperioder. Resultaten få anses så uppmuntrande att en fortsatt utprovning och vidareutveckling är motiverad.

Page 1 5:25 PM FRI., 7 FEB., 1986

	GT100 Temp ute	GT550 Tempmv till koll	GT561 Tempmv fran koll 1	GT564 Tempmv fran koll 2	GT567 Tempmv fran koll 3	GQ101 Energi fran koll 1	GQ102 Energi fran koll 2	GQ103 Energi fran koll 3	GL100 Is koll 1	GL101 Is koll 3
601	gr C	gr C	gr C	gr C	gr C	MWh	MWh	MWh	cm	cm
1	-9.8	-5.0	-1.9	-2.1	-1.9	17.51	17.60	18.45	21.0	4.8
2	-3.4	-5.5	-2.4	-2.6	-2.4	17.10	17.18	17.87	23.1	6.6
3	-3.2	-5.6	-2.5	-2.7	-2.6	17.23	17.09	17.57	22.9	7.3
4	-6.4	-5.5	-2.2	-2.6	-2.3	18.50	17.93	18.89	19.9	6.7
5	-8.9	-5.8	-2.4	-2.7	-2.5	18.84	18.41	19.34	21.1	6.6
6	-7.9	-5.8	-2.4	-2.7	-2.5	19.04	18.63	19.72	21.0	6.4
7	-10.4	-5.6	-2.3	-2.6	-2.2	18.19	17.90	20.04	20.1	6.3
8	-10.7	-5.2	-2.0	-2.3	-1.8	15.12	14.89	16.90	19.9	5.5
9	-9.6	-5.3	-2.1	-2.4	-2.0	17.98	17.75	19.80	20.0	5.4
0	-12.0	-5.2	-2.0	-2.3	-1.9	14.45	14.28	16.02	19.9	3.3
1	-1.9	-4.8	-1.8	-2.1	-1.7	16.60	16.29	18.39	19.9	.6
2	1.2	-4.4	-1.6	-1.9	-1.5	15.33	15.06	16.93	19.8	.0
3	.7	-4.7	-1.8	-2.0	-1.8	15.94	15.75	16.97	20.2	.6
4	-.1	-4.8	-1.9	-2.1	-1.9	16.03	15.85	17.07	20.0	.8
5	-2.6	-5.3	-2.2	-2.5	-2.2	17.18	17.04	18.27	20.8	1.7
6	-7.3	-5.7	-2.5	-2.8	-2.5	17.72	17.68	19.09	21.5	2.5
7	-6.3	-5.7	-2.7	-2.9	-2.7	17.06	16.97	17.99	22.1	3.6
8	-5.4	-5.9	-2.8	-3.1	-2.9	17.19	17.03	17.79	22.7	4.5
9	-5.0	-6.0	-2.9	-3.2	-3.0	17.05	16.84	17.49	23.1	5.1
0	-6.4	-5.9	-2.9	-3.2	-3.0	16.50	16.28	16.77	23.5	5.9
1	1.8	-5.2	-2.6	-2.8	-2.7	14.41	14.21	14.58	23.6	6.7
2	1.6	-5.3	-2.7	-2.9	-2.8	14.65	14.41	14.73	23.7	7.4
3	1.0	-4.7	-2.3	-2.6	-2.5	5.37	5.28	5.34	22.4	6.4
4	-.8	-5.1	-2.4	-2.7	-2.6	8.74	8.54	8.65	21.5	5.2
5	-2.2	-5.8	-2.9	-3.2	-3.1	16.39	15.89	16.14	23.0	9.5
6	-3.8	-5.8	-2.9	-3.2	-3.1	16.33	15.87	16.57	22.7	8.6
7	-6.7	-5.9	-3.0	-3.3	-3.0	16.41	16.02	17.22	22.9	8.6
8	-4.9	-6.0	-3.1	-3.4	-3.1	16.26	15.87	16.99	23.9	9.7
9	-1.8	-5.6	-2.9	-3.2	-3.0	15.09	14.71	15.52	24.6	10.2
0	-1.3	-6.0	-3.2	-3.5	-3.3	15.75	15.30	15.98	25.3	10.8
1	-2.3	-6.0	-3.2	-3.5	-3.4	15.37	14.90	15.47	25.9	11.3

Page 1 5:55 PM FRI., 7 FEB., 1

	GT100 Temp ute	GT550 Tempmv till koll	GT561 Tempmv fran koll 1	GT564 Tempmv fran koll 2	GT567 Tempmv fran koll 3	GQ101 Energi fran koll 1	GQ102 Energi fran koll 2	GQ103 Energi fran koll 3	GL100 Is koll 1	GL101 Is koll 3
36	gr C	gr C	gr C	gr C	gr C	MWh	MWh	MWh	cm	cm
11	-4.4	-5.5	-2.5	-2.7	-2.5	495.3	487.4	518.5	22.0	5.8

	GT100	GT550	GT561	GT564	GT567	GQ101	GQ102	GQ103	GL100	GL101
	Temp	Tempmv	Tempmv	Tempmv	Tempmv	Energi	Energi	Energi	Is	Is
	ute	till	fran	fran	fran	fran	fran	fran		
		koll	koll 1	koll 2	koll 3	koll 1	koll 2	koll 3	koll 1	koll 3
3602	gr C	gr C	gr C	gr C	gr C	MWh	MWh	MWh	cm	cm
11	-1.8	-6.0	-3.2	-3.5	-3.4	15.20	14.72	15.25	26.1	11.9
12	-3.8	-6.1	-3.4	-3.7	-3.5	15.49	14.99	15.43	26.5	13.0
13	-7.0	-6.3	-3.5	-3.8	-3.7	15.65	15.08	15.45	26.5	14.0
14	-7.2	-5.8	-3.2	-3.5	-3.4	8.80	8.48	8.64	26.2	13.6
15	-8.6	-2.6	-.7	-.8	-.7	.44	.44	.43	14.0	6.0
16	-12.6	-1.0	-.4	-.4	-.4	.19	.19	.19	6.3	.8
17	-12.5	-.7	-.2	-.2	-.2	.13	.13	.12	18.1	.8
18	-9.3	-	-	-	-	.00	.00	.00	19.2	.0
19	-7.8	-	-	-	-	.00	.00	.00	19.8	.0
20	-4.9	-.3	-.1	-.1	-.1	.13	.14	.12	19.8	.0
21	-5.3	-.3	-.1	-.1	-.1	.08	.09	.08	19.9	1.2
22	-5.9	-.2	-.0	-.0	-.0	.07	.07	.06	19.9	.2
23	-3.6	-.2	-.0	-.0	-.0	.06	.06	.05	19.9	.1
24	-4.7	-	-	-	-	.00	.00	.00	19.9	.0
25	-4.3	-	-	-	-	.00	.00	.00	19.9	.0
26	-7.9	-3.9	-1.4	-1.6	-1.6	4.14	4.05	3.97	19.9	.9
27	-7.5	-2.6	-1.1	-1.3	-1.3	8.18	7.92	7.88	20.6	3.5
28	-8.2	-4.2	-1.7	-1.9	-1.9	7.06	6.83	6.91	20.6	2.1
29	-13.9	-3.0	-1.3	-1.5	-1.5	9.26	8.89	9.00	21.1	1.9
30	-11.2	-3.5	-1.6	-1.8	-1.7	10.64	10.23	10.47	21.3	1.9
31	-9.4	-4.8	-2.0	-2.3	-2.2	8.29	7.97	8.22	21.1	1.3
32	-12.6	-5.4	-2.5	-2.8	-2.6	16.29	15.61	16.19	21.9	2.3
33	-10.0	-5.7	-2.7	-3.0	-2.9	16.78	16.13	16.76	22.6	2.9
34	-10.9	-5.4	-2.5	-2.8	-2.6	12.39	11.95	12.40	21.8	1.6
35	-11.8	-5.4	-2.5	-2.8	-2.6	12.41	11.91	12.43	21.2	.5
36	-7.5	-5.2	-2.3	-2.7	-2.5	13.40	12.79	13.40	21.1	.3
37	-5.6	-4.8	-2.2	-2.5	-2.3	14.88	14.21	14.99	20.9	.0
38	-8.7	-5.5	-2.5	-2.8	-2.6	16.69	15.94	16.91	21.0	.0

	GT100	GT550	GT561	GT564	GT567	GQ101	GQ102	GQ103	GL100	GL101
	Temp	Tempmv	Tempmv	Tempmv	Tempmv	Energi	Energi	Energi	Is	Is
	ute	till	fran	fran	fran	fran	fran	fran		
		koll	koll 1	koll 2	koll 3	koll 1	koll 2	koll 3	koll 1	koll 3
36	gr C	gr C	gr C	gr C	gr C	MWh	MWh	MWh	cm	cm
02	-8.0	-3.7	-1.7	-1.9	-1.8	206.6	198.8	205.4	20.6	2.9