



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.

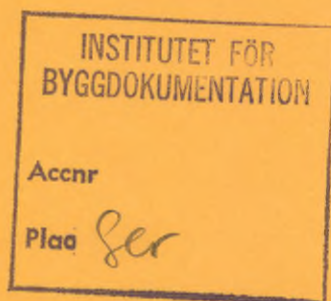


Rapport

R91:1986

# Älvvatten som värmekälla

Hans Jelbring



Byggeforskningsrådet

R91:1986

ÄLVVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA

Hans Jelbring

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810648-4  
från Statens råd för byggnadsforskning till Inventex  
Aqua AB, Stenhamra.

## REFERAT

Värmepumpanläggningen i Kaunisjoensuu tullstation har varit i drift två säsonger. Under denna tid har i stort sett all effekt och energi för uppvärmning levererats från densamma. Värmepumpen har i sin tur hämtat energi från den under sex av årets månader isbelagda Muonio älv genom energiupptagning via en så kallad slangvärmväxlare.

Den erforderliga energin har vintertid i medeltal erhållits till 60% från värmväxling och 40% från is som kontinuerligt har bildats och ackumulerats på värmväxlarna så att total ismängd efter en säsong uppgått till cirka 200 m<sup>3</sup>. Värmepumpanläggningen vid Kaunisjoensuu visar på den praktiska och generella möjligheten att utnyttja vatten som energikälla oberoende av vilken temperatur som råder i vattendraget. Dimensioneringen av en älvförlagd slangvärmväxlare bör variera mellan 6-15 W/m. I rapporten beskrivs fördelar och nackdelar med den utprovade värmväxlarkonstruktionen.

Vissa tekniska nymodigheter har prövats för att uppnå en god värmefaktor med bra resultat. Betald energi per uppvärmd kvm och år har uppgått till 88 kWh för eldnings-säsongen 82/83. Denna kostnad överförd till Stockholms breddgrad motsvarar 57 kWh. Värmepumpanläggningen i Kaunisjoensuu utgör således ett gott exempel på vad som kan åstadkommas med en väl genomtänkt systemlösning. Trots detta skulle anläggningen kunna vara bättre och det är Bygghörsningsrådets och författarens förhoppning att denna rapport kan bidra till en insikt om teknikens möjligheter och begränsningar, speciellt beträffande svenska älvars potential som energiresurs.

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

R91:1986

ISBN 91-540-4644-0  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sidan	3
2.	SAMMANFATTNING		5
3.	HISTORIK OCH INLEDNING		6
4.	FÖRUTSÄTTNINGAR		9
4.1	Temperaturdata		9
4.2	Vattenmiljön		9
4.2.2	Vattenflödet		9
4.2.3	Förhållanden i älven		9
4.3	Byggnaden		10
4.4	Värmeanläggningen		10
4.4.1	Dimensionering		10
4.4.2	Systemlösning		10
4.5	Värmeväxlaren		11
4.5.1	Konstruktion		11
4.5.2	Dimensionering och förläggning		11
4.5.3	Förläggningsrisker		11
4.6	Driftläge eldningssäsongen 82/83		12
4.6.1	Tekniskt driftläge		12
4.6.2	Operativt driftläge		12
5.	DRIFTPRESTANDA		13
5.1	Driftprestanda våren 1982		13
5.1.1	Akkumulerade mätvärden		13
5.1.2	Påfrysning		13
5.1.3	Verkligt effektbehov		13
5.1.4	Slutsatser beträffande värmeväxlaren		13
5.2	Driftprestanda eldningssäsongen 82/83		14
5.2.1	Drifttid och service		14
5.2.2	Mätresultat från varma sidan		14
5.3	Mätresultat från värmeväxlarsidan 82/83		15
5.3.1	Effektupptagning från vattnet		15
5.2.3	Ispåfrysning		15
5.4	Resultat från eldningssäsongen 83/84		16
6.	DIMENSIONERING AV ÄLVFÖRLAGDA VÄRMEVÄXLARE		17
6.1	Lärdomar från Kaunisjoensuu		17
6.2	Förslag till principutförande		17
6.3	Rekommenderat utförande för Kaunisjoensuu		17
6.4	Dimensioneringsgrunder för svenska älvvatten		18
6.4.1	Dimensionerande faktorer		18
6.4.2	Förslag till dimensioneringsgrund		19
	FIGURER		20



KAUNISJOENSUU TULLSTATION



KAUNISJOENSUU TULLSTATION

" Våra sjöar och älvar - Sveriges  
obegränsade energiresurs "

## 2. SAMMANFATTNING

Värmepumpanläggningen i Kaunisjoensuu tullstation har varit i drift två säsonger. Under denna tid har i stort sett all effekt och energi för uppvärmningen levererats från densamma. Värmepumpen har i sin tur hämtat energi från den under sex av årets månader isbelagda Muonio älv genom energiupptagning via en så kallad slangvärmväxlare.

Den erforderliga energin har vintertid i medeltal erhållits till 60 % från värmväxling och 40 % från is som kontinuerligt har bildats och ackumulerats på värmväxlarna så att total ismängd efter en säsong uppgått till cirka 200 m<sup>3</sup>. Värmepumpanläggningen vid Kaunisjoensuu visar på den praktiska och generella möjligheten att utnyttja vatten som energikälla oberoende av vilken temperatur som råder i vattendraget. Dimensioneringen av en älvförlagd slangvärmväxlare bör variera mellan 6-15 W/m. I rapporten beskrivs fördelar och nackdelar med den utprovade värmväxlarkonstruktionen.

Vissa tekniska nymodigheter har prövats för att uppnå en god värmefaktor med bra resultat. Betald energi per uppvärmd kvm och år har uppgått till 88 kWh för eldnings säsongen 82/83. Denna kostnad överförd till Stockholms breddgrad motsvarar 57 kWh. Värmepumpanläggningen i Kaunisjoensuu utgör således ett gott exempel på vad som kan åstadkommas med en väl genomtänkt systemlösning. Trots detta skulle anläggningen kunna vara bättre och det är Bygghörskningsrådets och författarens förhoppning att denna rapport kan bidra till en insikt om teknikens möjligheter och begränsningar, speciellt beträffande svenska älvars potential som energiresurs.

### 3. HISTORIK OCH INLEDNING

Författaren hävdade i början av 80-talet att energiupptagning i kombination med en värmepump borde vara möjlig från i stort sett alla Sveriges sjöar och vattendrag. Tekniken baseras på en sluten slinga av polyetenrör innehållande en köldbärare liksom i ett vanligt jordvärmesystem. Det tekniskt nya vid förläggning av sådana slingor i kalla vattendrag är att mer eller mindre is kommer att frysa till på slingorna. Teoretiskt kan ett sådant system även fungera om vattentemperaturen är  $0,00^{\circ}\text{C}$  genom att energin helt och hållet hämtas via isbildning på värmeväxlarna. Den stora poängen med ovanstående koncept är att alla sjöar och vattendrag är en potentiell energikälla för en värmepumpanläggning oberoende av vattentemperaturen i desamma.

Byggeforskningsrådet och Generaltullstyrelsens byggnadssektion visade intresse för de framförda idéerna. Bruno Söderlund, byggnadschef på Generaltullstyrelsen gav klartecken till att prova ut idéernas praktiska bärighet vid en planerad ny tullstation i Kaunisjoensuu, en ort belägen cirka 6 mil norr om polcirkeln. Den tilltänkta energikällan utgjordes av Muonio älv, som är istäckt cirka sex månader per år. Baktanken var att ett lyckat resultat på ett uppenbart sätt skulle demonstrera vilken enorm potentiell energikälla som finns förbunden med alla våra vattendrag. För säkerhets skull försågs dock tullstationen dessutom med både olje- och elvärme.

Värmepumpanläggningen togs i drift i början av mars 1982 och fram till sommaren levererade värmepumpanläggningen i stort sett all uppvärmningsenergi till tullstationen. Under sommaren 1982 modifierades värmeväxlarna och Byggeforskningsrådet lämnade en riskgaranti avseende haveri på värmeväxlaren. Anledningen till detta var att ett maximalt kapacitetsutnyttjande av värmeväxlaren skulle leda till så kraftig ispåfrysning att värmeväxlarna skulle kunna flyta upp eller frysa fast i istäcket med påföljande haveri vid islossningen.

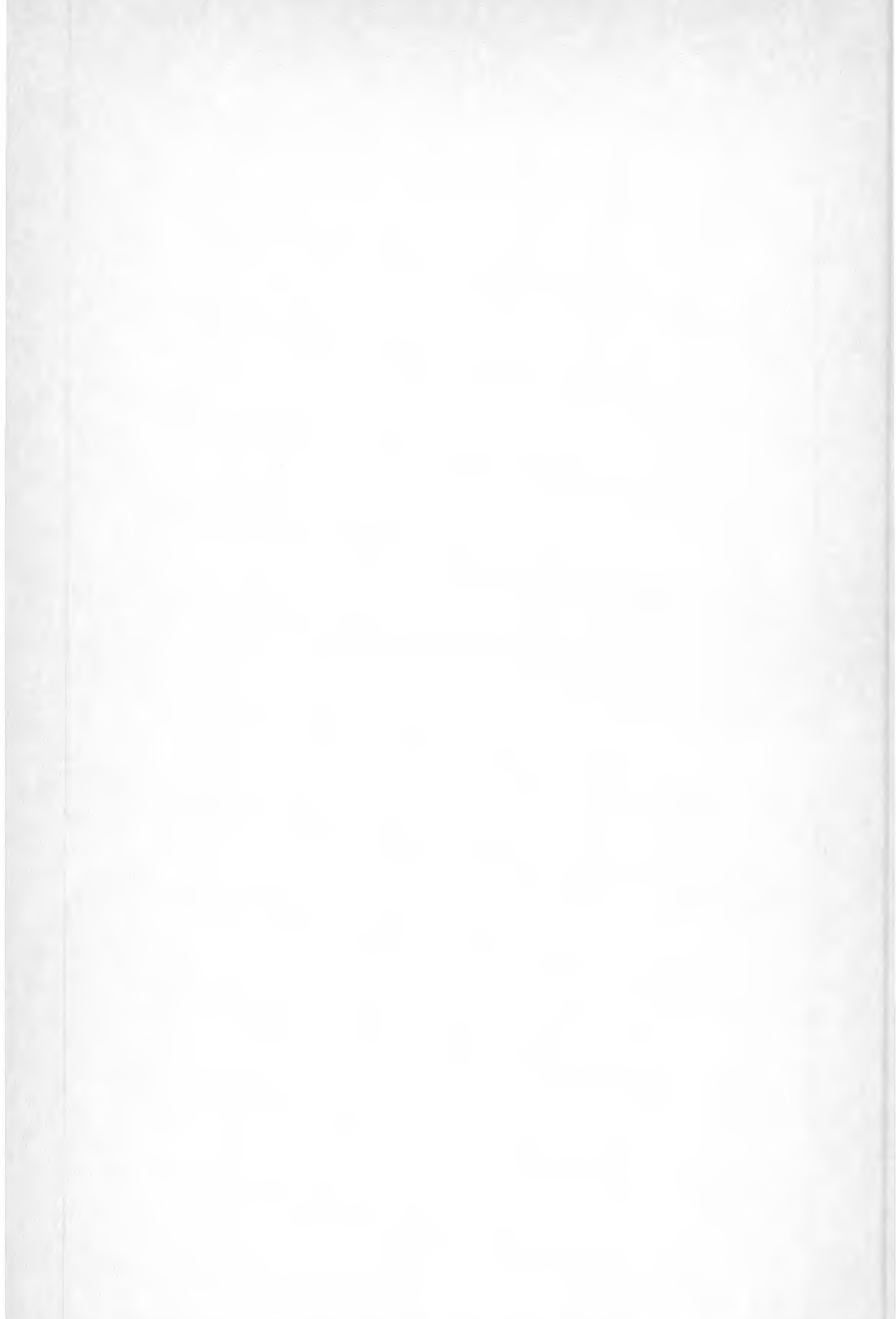
Intensionerna med maximal belastning av värmeväxlaren genomfördes med resultatet att värmepumpanläggningen täckte 100 % av tullstationens effekt- och energibehov för uppvärmning under eldningssäsongen 82/83. Detsamma upprepades under eldningssäsongen 83/84 utom att det under denna säsong var betydligt kallare än  $-30^{\circ}\text{C}$  vid några tillfällen varvid stödel till-sattes. Värmepumpanläggningen stod för cirka 98 % av energi-behovet under denna eldningssäsong frånräknat maj och juni 1984. Den 2:a maj 1984 konstaterades ett läckage i köldbärarsystemet. Läckaget uppstod i samband med att isen lyfte sig ungefär en halv meter före islossningen, vilken inträffade klockan 14.15 den 4:e maj, varefter älvens vattennivå kontinuerligt höjs cirka 3 meter under vårfloden, vilken kulminerar i maj eller juni.

Vid en dykarinspektion i juli 1984 konstaterades att 6 slangar hade dragits av i värmeväxlarens nedströms belägna ände, medan värmeväxlaren för övrigt låg kvar intakt. Brotten hade skett vid värmeväxlarens djupaste förläggningsspunkt 2,5 meter under älvens istäcke. Troligen hade isblock drivit in under istäcket och hakat fast i slangarna nedströms. Generaltullstyrelsen



har under säsongen 84/85 erfarit vad anläggningen kostat att värma upp med hjälp av el och olja och har planer på att installera en ny värmeväxlare trots risken för mekaniskt haveri i den oreglerade älven.

I denna rapport ligger tonvikten på en redovisning av de betydelsefullaste resultaten och slutsatserna medan tekniska beskrivningar av anläggningen har begränsats. I kapitel 4 lämnas förutsättningar beträffande miljö, installationer och driftsätt. Kapitel 5 redovisar driftprestanda för i främsta hand eldningssäsongen 82/83 och en del smärre utvärderingar av resultatet. Kapitel 6 behandlar värmeväxlarens prestanda, dimensionering och huvuddragen till ett lämpligt utförande.



#### 4. FÖRUTSÄTTNINGAR

##### 4.1 Temperaturdata

Pajala ligger cirka 20 km från Kaunisjoensuu. SMHI:s statistik visar en årsmedeltemperatur av  $-0,7^{\circ}\text{C}$  för Pajala med en standardavvikelse av  $1,0^{\circ}\text{C}$ . Enligt VVS-handboken innebär detta 154.900 respektive 164.000 gradtimmar vid uppvärmning till  $+18$  respektive  $+20^{\circ}\text{C}$ . Vidare hade säsongen 82/83 i Pajala cirka 6,5 färre gradtimmar än normalt. Samma förhållande gällde troligen i Kaunisjoensuu. Antalet uppmätta gradtimmar vid tullstationen juni 1982 - maj 1983 var 152.500 vid uppvärmning till  $18^{\circ}\text{C}$ . Uppvärmningsbehovet i Kaunisjoensuu mätt i gradtimmar är cirka 55 % högre än i Stockholm innebärande ungefär motsvarande skillnad i behov av energitillförsel för identiska byggnader på de båda orterna. 5-dagarsvärden för medeltemperatur och gradtimmar i Kaunisjoensuu för 82/83 finns grafiskt representerade i figur 8.A och figur 8.B.

##### 4.2 Vattenmiljön

###### 4.2.1 Vattentemperaturen

SMHI:s registreringar vid Kengis bruk liksom vid Kukkolaforsen framgår för två säsonger vardera i figur 1. Kukkolaforsen, som i stort sett är fri från istäcke nästan hela året, visar en temperatur av  $0,00-0,01^{\circ}\text{C}$  november-mars. Temperaturen vid Kengis bruk överensstämmer väl med förhållandena vid Kaunisjoensuu. Vid isläggningen är temperaturen  $0,00^{\circ}\text{C}$  och stiger därefter till en balans runt  $+0,03^{\circ}\text{C}$ , vilket normalt råder fram till och med mars. Denna temperaturnivå har verifierats med direkta mätningar med hjälp av dykare och precisionstermometer vid ett flertal tillfällen i Muonio älv vid tullstationen.

###### 4.2.2 Vattenflödet

Vattenflödet vid Kaunisjoensuu har enligt SMHI ett minimum under januari-mars, vilket normalt ligger mellan  $25-40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Det maximala flödet är cirka  $500-800 \text{ m}^3/\text{s}$ , vilket inträffar i maj eller juni. Flödeshastigheten på den plats, där värmeväxlarna ligger, varierar under vintern mellan  $15-25 \text{ cm/s}$ .

###### 4.2.3 Vattenförhållanden

Muonio älv är relativt bred vid Kaunisjoensuu tullstation, men älvens huvudfåra passerar ett tiotal meter från den svenska stranden och är endast ett tiotal meter bred. Värmeväxlarna är placerade i huvudfåran på ett vattendjup (vid lågvatten) mellan  $2,3-4$  meter. På vintern blir istäcket  $70-120 \text{ cm}$ , varför det fria vattendjupet vintertid i huvudfåran uppgår till  $1,3-3$  meter. Botten består av relativt stora stenar, som är täckta med ett tunt lager sand. Huvudfårans läge varierar med tiden liksom gränsen mellan Sverige och Finland som följer huvudfåran. Detta kan således utgöra både en teknisk och juridisk komplikation vid värmeupptagning ur Muonio älv.

### 4.3 Byggnaden

Byggnadens yttre utseende framgår av omslagsbilden. Byggnaden består av huvudbyggnad, en bilvisitationshall och ett garage. Huvudbyggnaden har ett uppehållsrum i ett övre plan medan yrkesverksamheten sker i bottenplanet. Bilvisitationshallen rymmer en dragbil eller släp. Total uppvärmd yta är 375 m<sup>2</sup> exklusive garaget, som ej är anslutet till värmepumpanläggningen. Huset är av lätt konstruktion med träreglar och torpagrund. Byggnadernas och värmeväxlarens placering framgår av figur 2. Byggnaden färdigställdes 1982.

### 4.4 Värmeanläggningen

#### 4.4.1 Dimensionering

Anläggningen dimensionerades för 65 kW vid en dimensionerande utetemperatur av -36°C enligt följande ungefärliga effektbehov:

Transmission	22 kW
Ventilation	20 kW
Tappvarmvatten	5 kW
Luftvärmare 4x5	20 kW
	<u>67 kW</u>

Beräknat energibehov vid 100 % verkningsgrad blir 123.000 respektive 116.000 kWh vid uppvärmning till 20 respektive 18°C. Detta energibehov är beräknat exklusive tappvarmvatten och energi till de speciella luftvärmarna i entré, torkrum och bilvisitationshall.

#### 4.4.2 Systemlösning

Ovanstående beräkningar medförde följande val av uppvärmningssystem:

1. Värmepump	25 kW
El på topp	36 kW
2. Oljepanna	75 kW

Elpatronerna sitter i oljepannans varmvattenberedare, vilket gör att anläggningen även kan värmas med enbart el.

Systemlösningen för varma sidan framgår av figur 3. Denna kännetecknas av:

- o Lågtemperaturradiatorer med termostatventiler och luftvärmare.
- o Radiatorkretsens flöde varierar på grund av termostatventilernas läge.
- o Värmebatterier vid entré, i klädtork och i bilvisitationshall. Höga effektuttag i den senare är möjlig genom ackumulator T2.
- o Vid olje- eller ren eldrift stängs P3 av.
- o Vid VP-drift drivs ett konstant flöde genom värmepumpens kondensator till bufferttank T1. Vid behov kan toppeffekt erhållas från oljepannans varmvattenberedare.
- o Värmepumpen styrs enbart on-off. Styrningen sker via impulser från givare utomhus och i bufferttanken. Denna konstruktion leder till att värmepumpen bara behöver producera varmvatten, som är några grader varmare än framledningstemperaturen, vilket främjar värmefaktorn.

- o Tappvarmvattnet produceras alltid av oljepannans varmvattenberedare (olja eller el).

Systemlösningen på anläggningens kalla sida kännetecknas av:

- o Slangvärmväxlaren består av två separata enheter, varför fyra ledningar leder till värmecentralen. (Se figur 4)
- o Köldbärarflödet är stort för att befrämja jämn ispåfrysning. Värmepumpen sänker köldbärarens temperatur cirka 2°C. Trots detta är tryckfallet lågt (9 mvp) för att spara drivenergi till cirkulationspumpen.
- o Cirkulationspumpen körs endast när värmepumpen är i drift.

#### 4.5 Värmväxlaren

##### 4.5.1 Konstruktion

Värmväxlaren består av två identiska delar, där vardera delen är uppbyggd enligt figur 5 med följande delar:

Transportledning:	2x70 m PEL $\phi$ 75 mm
Grenrör:	2 st. med 6 avstick
Värmväxlarytor:	6x100 m PEL $\phi$ 40 mm
Distanshållare:	5 st. c/c 150 mm
	5 st. c/c 300 mm
Vikter:	Vid grenrör 2x400 kg
	Vid distanshållare 20x200 kg

##### 4.5.2 Dimensionering och förläggning

Värmväxlaren är konstruerad så att slangarna ska ligga fritt i vattnet för att maximal ispåfrost yta ska exponeras mot strömmande vatten. Effektupptagningen per/m värmväxlarslang blir cirka 13 W/m vid kontinuerlig drift av värmepumpen vintertid. Vid en ispåfrysning med en diameter större än 15 cm börjar värmväxlaren frysa ihop vid de kortare distanshållarna. En ispåfrysning med i medeltal 20 cm isdiameter innebär en påfrysning av cirka 40 m<sup>3</sup> is medförande en lyftkraft av 3,3 ton. Monterade vikter har en sjunkkraft av cirka 4,6 ton. För att motstå förväntad stor ispåfrysning och stora lyftkrafter över 4,6 ton begravdes varje värmväxlare med sand på två punkter. Vid ihopfrysning minskar nämligen den värmeöverförande ytan mot vattnet och isbildningen förväntas öka kraftigt. Idealet är att ispåfrysningen uppnår en jämvikt. Denna jämvikt beror förutom av värmepumpens effektuttag på älvens vattentemperatur och vattnets strömningshastighet. Den energi som inte kan tas upp via värmväxling mot älvens vatten tas upp via ny isbildning på värmväxlarna. Om älvens vatten var 0,00°C hela vintern skulle den förväntade isbildningen under vinterhalvåret bli cirka 500 m<sup>3</sup>.

##### 4.5.3 Förläggningsrisker

Flera faror hotade värmväxlarens förläggning. Dessa utgjordes av:

1. Hopfrysning med istäcket.
2. Uppflytning på grund av stor ispåfrysning.
3. Mekanisk förstörelse i samband med islossning och vårflod.
4. På sikt kan värmväxlaren begravas i sand, vilket sänker

värmeöverföringsförmågan.

Vid början av eldningssäsongen 82/83 hade åtgärder vidtagits för att eliminera riskfaktorerna 1 och 2 medan 3 och 4 är svåra att kombinera med önskemålet att ha slangarna fritt förlagda i vattnet.

#### 4.6 Driftläge eldningssäsongen 82/83

##### 4.6.1 Tekniskt driftläge

För att verkligen testa värmepumpanläggningen och speciellt värmeväxlarnas kapacitet vidtogs följande åtgärder:

- o Shuntventilen V1 från oljepannans varmvattenberedare blockerades så att ingen energi utöver värmepumpens kunde levereras till radiatorsystemet (se figur 3). Denna fick endast öppnas manuellt vid låg temperatur i byggnaden. Detta skedde inte under hela perioden.
- o Shuntventilen V2 blockerades så att framledningstemperaturen varierade i takt med regleringen i buffertanken T1.
- o Temperaturen i bilvisitationshallen hölls vid +18°C för att öka värmebehovet.
- o Temperaturen i lokalerna skulle vara minst +20°C. Personalen reglerade detta med hjälp av termostatventilerna.
- o Tappvarmvattnet belastade ej värmepumpanläggningen (elvärmes till varmvattenberedaren).
- o Ventilationen skedde med hjälp av springventiler under fönstren. Dessa fryser fast på vintern och har därför varit stängda vintertid.

##### 4.6.2 Operativt driftläge

Proven med värmepumpanläggningen fick inte inverka på den operativa driften av anläggningen. Följande operativa beteenden har påverkat uppvärmningsbehovet:

- o När en kund öppnar ytterdörren startar en värmebläkt i entrén och går några minuter. Ungefärlig besöksfrekvens är 40-60 personer per dag.
- o När portarna till bilvisitationshallen öppnas startar två värmebläkter, vilka går tills en inställd temperatur av 15°C uppnåtts igen. Bilvisitationshallen har mest använts för att tina upp eller hålla en tjänstebil varm vintertid, vilket skett ofta.
- o En värmebläkt finns i ett torkrum. Denna har använts regelbundet men ej så ofta för att torka patrullerande personals blöta kläder.
- o Personalen har antecknat driftdata klockan 24, 06, 12 och 18 varje dag hela säsongen juni 1982 - maj 1983, vilket har givit ett unikt material för utvärdering. Personalen tackas varmt för sin hjälpsamhet i detta projekt.

## 5. DRIFTPRESTANDA

5.1 Driftprestanda våren 1982

## 5.1.1 Ackumulerade mätvärden

Värmepumpanläggningen togs i provdrift 82-03-03 och besiktningen ägde rum 82-03-09. Från 82-03-03 t.o.m. 82-05-14 var värmepumpen ej i drift 18 dagar. Den sista månaden av perioden levererade värmepumpen 100 % av energibehovet för tullbyggnadens uppvärmning. 82-04-05 gällde följande:

Värmepumpanläggning	
Drifttid (h)	1270
Kompressor gångtid (h)	395
Energi till kompressormotor (kWh)	3620
Energi till cirkulationspump (kWh)	430
Energi från värmeväxlare (kWh)	7200
Vattentemperatur mitten april (°C)	+0,05
Medeleffektuttag per m värmeväxlarslang april/maj (W)	6,0

## 5.1.2 Ispåfrysning

Vid dykarbesiktning av värmeväxlarna 82-04-07 kunde följande fakta konstateras:

- o Isbeläggningen var cirka 12 cm och relativt jämnt fördelad. (Jämför bild 6A och bild 6B)
- o Total isbildning uppgick till ungefär 12 m<sup>3</sup> med en lyftkraft av cirka 1 ton.
- o Påfrusen is befann sig oroväckande nära istäcket på 2 ställen (cirka 30 och 50 cm).
- o Av upptagen energi från vattnet (cirka 7200 kWh) hade 1000 kWh erhållits från isbildning.

## 5.1.3 Verkligt effektbehov

Driften under våren gav tillfälle att justera in anläggningen. I figur 7 visas hur det verkliga temperaturkravet på radiatorvattnet ser ut. Värmepumpen klarar anläggningens uppvärmningsbehov ned till cirka -30°C. Överskattningen av effektbehov i projekteringsstadiet fick till följd att R12 valdes till köldmedium i kompressorn. Det hade gått utmärkt med R22, vilket inneburit en väsentligt lägre kostnad för densamma.

## 5.1.4 Slutsatser av driften våren 1982 avseende värmeväxlaren

Anläggningen fungerade tekniskt mycket bra. Värmeväxlaren skulle säkert frysa ihop vid högre last. I detta läge garanterade BFR kostnaden för en ny värmeväxlare vid provning med hög last i händelse av haveri på värmeväxlaren eldningssäsongen 82/83. För att ge värmeväxlaren en större möjlighet att klara uppgiften modifierades densamma så att slangarna separerades vid varannan tråhållare till c/c 30 cm enligt figur 5 för att förhindra eller försena ihopfrysning av slangarna.

## 5.2 Driftprestanda eldningssäsongen 82/83

### 5.2.1 Drifttid och service

Under perioden 1982-06-01 t.o.m. 1983-06-01 har värmepumpanläggningen varit i drift utom vid 3 tillfällena:

1. 1982-06-01 - 06  
Personalen stängde av anläggningen därför att det var varmt ute. Den 6:e juni blev det kallt igen (+3°C) varför anläggningen startades.
2. 1982-11-26  
Anläggningen blev stående 18 timmar på grund av elavbrott.
3. 1983-04-12  
Anläggningen proveldades med olja i 22 timmar.

Ovanstående driftavbrott kompenseras i följande statistik med en energitillförsel av 347 kWh till kompressorn och en drifttid på kompressorn av 34,5 timmar. Ingen energi utöver värmepumpens har tillförts för uppvärmning utom normal tillskottsenergi från lampor m.m.. Under eldningssäsongen 82/83 t.o.m. 83-06-01 har ingen service av kompressorn eller värmepumpanläggningen skett.

### 5.2.2 Mätresultat för varma sidan

Figur 8 och figur 9 ger en sammanfattning av anläggningens prestanda under eldningssäsongen 82/83. Alla data är redovisade som medelvärde under 5 dygn. Basen för dessa värden är registreringar gjorda var 6:e timme. I figur 8A visas den verkliga temperaturen vid Kaunisjoensuu tullstadion. Figur 8B är likformig med temperaturkurvan men upp- och nedvänd. Gradtimmarna beräknas som skillnad mellan +18°C och verklig utetemperatur. +18°C har valts därför att bilvisitationshallen inte har hållit högre temperatur än mellan +16 - +18°C under vintern. Tillförd energi till kompressormotorn visas i figur 8C. Det är intressant att notera hur väl denna kurva följer kurvan för gradtimmar, vilken bör motsvara uppvärmningsbehovet. Detta innebär i stort sett att värmepumpanläggningen inte har några större förluster utan tillförd energi till kompressorn står i proportion till uppvärmningsbehovet. Man kan notera att värmepumpanläggningen slutar leverera energi för uppvärmning vid en medelutetemperatur av + 18 C.

Sammanfattningen av figur 8 är att 375 m<sup>2</sup> tullstation har värmts upp 152.500°C h med hjälp av en eltillförsel av 33.100 kWh. Detta motsvarar 88 kWh/m<sup>2</sup> vilket i sin tur motsvarar 57 kWh/m<sup>2</sup>, om anläggningen varit belägen i Stockholm. För ett normalår ska dessa siffror dock vara 6,5 % högre, emedan 82/83 var en relativt varm eldningssäsong.

I figur 9A visas hur mycket elektrisk energi per grad som måste tillföras kompressormotorn för att värma upp tullstationen. Detta värde beror både på värmepumpens värmefaktor och väderlekens inverkan på tullstationens energibehov liksom av operativt beteende. De låga värdena på hösten beror mest på hög vattentemperatur och låg last. De höga värdena i februari beror mest på hög last och ihopfrysning av värmeväxlaren. De lägre värdena i mars-maj beror huvudsakligen på ökad solinstrålning.



Vid uppvärmning med elpannan blir det specifika effektbehovet cirka 3 ggr så högt och vid eldning med olja cirka 4 ggr högre. Vid olja antages 1 m<sup>3</sup> olja vara ekvivalent med 10.000 kWh. Observera att energi till cirkulationspumpen ej har inräknats i figur 9A.

Figur 9B visar den faktiska effekttillförseln till kompressorns motor då denna varit i drift. Vid låg förångstemperatur och hög kondensortemperatur sjunker både värmefaktorn och detta effektbehov. Man kan relativt lätt utläsa både isläggning (1) och islossning (2) från dessa förhållandena. Det låga effektbehovet i mars-april härrör från att värmeväxlaren bara frös ihop mer och mer, vilket tvingade ner utgående köldbärartemperatur till cirka -4,5°C som lägst.

Slutligen visar figur 9C hur stor procentuell gångtid kompressorn har haft. Denna figur visar tydligt hur överdimensionerad kompressorn blev även om 82/83 var varmare än normalt. Värmepumpen har levererat 100 % av effektbehovet för uppvärmningen under hela eldningssäsongen!

### 5.3 Mätresultat från värmeväxlaren

#### 5.3.1 Effektupptagning ur vattnet

Beträffande värmeväxlaren kan man konstatera att densamma levererade energi från vattnet till värmepumpenläggningen under hela eldningssäsongen 82/83. Effektupptaget per meter slang har till stor del berott på kompressorns procentuella gångtid. (Se figur 9C) Under 6 månader har effektupptagningen överstigit 5 W/m och under 2,5 månader har effektupptagningen varit större än 8 W/m men mindre än 13 W/m. Ovanstående värden kan jämföras med jordvärmesystem som normalt dimensioneras runt 10 W/m.

#### 5.3.2 Ispåfrysning

Ispåfrysningens utveckling i form av m<sup>3</sup> is framgår nedan:

	datum	isvolym (m <sup>3</sup> )	lyftkraft (ton)
(isläggning på älven)	82-10-15	10	0,8
	82-11-10	25	2,1
	82-12-15	55	5
	83-01-31	140	12
	83-03-03	170	14
	83-04-07	200	17

Värmeväxlaren frös ihop till två isblock omkring mitten av december. Vid samma tillfälle motsvarade viktningen ungefär isens lyftkraft. Köldbryggor bildades mellan tyngderna och älvbotten så att värmeväxlaren ej flöt upp trots fortsatt isbildning. 83-01-31 hade isen frusit mot botten på stora områden medan isen 83-03-03 var frusen mot botten i stort sett överallt. Vid detta tillfälle bildade värmeväxlarna två isklumpar cirka 0,7x2,5x50 m<sup>3</sup>, vilka var fastfrusna i botten. (Se bild 10) Troligen utgör lutningen mellan punkterna 3 och 4 i figur 9B en indikation på att isblocken under denna period frös mot botten och därigenom minskades värmeväxlarytan mot fritt rinnande vatten till cirka 2/3 mot tidigare. Detta ledde i sin tur till ytterligare ispåfrysning under april trots att belast-

ningen minskat på grund av varmare väder och varmare vatten (+0,05°C).

Grovt räknat har 55.000 kWh hämtats från älven under eldnings-säsongen. Av denna del har cirka 40.000 kWh hämtats upp när älven varit frusen. En enkel beräkning visar att cirka 42 % av vinterns energibehov har hämtats via isbildning och 58 % via värmeväxling mot det kalla vattnet.

#### 5.4. Resultat från eldningssäsongen 83/84

Värmeväxlaren fullgjorde sin plikt även under följande säsong. Vid ett par tillfällen, när temperaturen varit lägre än -30°C, måste dock stödvärme kopplas in. Den 2:a maj 1984 uppstod köldbärläckage innan islossningen skedde den 4:e maj. Vid dykarinspektion framkom att 6 slangar hade dragits av mekaniskt i värmeväxlarnas bortre ände. Således blev problemet att förlägga en värmeväxlare i en oreglerad älv avgörande för värmepumpans läggningens funktion och inte problemet att utvinna energi ur mycket kallt vatten, vilket man kanske hade förväntat sig.

## 6. DIMENSIONERING AV ÄLVFÖRLAGDA VÄRMEVÄXLARE

### 6.1 Lärdomar från Kaunisjoensuu

Följande faktorer har visat sig vara positiva:

- o Värmeväxlarna har levererat all erforderlig energi till värmepumpen under eldningssäsongen 82/83 för tullstationens uppvärmning.
- o Anläggningen har hämtat cirka 30 % av årsenergibehovet från vattendraget genom ackumulering av is trots att värmeväxlarna ej var konstruerade för så stor isackumulering. Detta faktum visar direkt det realistiska i att konstruera anläggningar där isackumulering bidrar med en väsentlig del av årsenergibehovet, om mycket låga vattentemperaturen kräver en sådan lösning.
- o Ett högt köldbärarflöde bidrar till en relativt jämn ispåfrysning. (2°C temperatursänkning av köldbäraren)
- o Flera parallella slingor med grenrör förlagda i vattnet bidrar till att kombinera högt köldbärarflöde med lågt tryckfall i värmeväxlaren, vilket innebär lågt energibehov till cirkulationspumpen.
- o Vid nybyggnation kan en god värmefaktor uppnås så att värmepumpanläggningen blir ekonomiskt försvarbar.

Nedanstående faktorer har visat sig mindre bra:

- o Förläggning av värmeväxlaren ovan botten medför, dels hög sårbarhet för drivis och drivande föremål och dels risk för fastfrysning i istäcket.
- o Ihopfrysning av värmeväxlarens grenar ska undvikas.

### 6.2 Förslag till principutförande

Lämpligen prutar man på kravet att förlägga slangarna fritt i vattnet, vilket är lämpligt för värmeväxlingsförmågan. En förläggning av slangarna direkt mot botten bör minska risken för haveri genom fastfrysning eller på grund av drivis. Slangarna separeras till ett avstånd som tillåter avsevärd ispåfrysning utan ihopfrysning av desamma. Ihopfrysning mot älvens botten måste däremot säkerställas. Det minsta avståndet bestäms av normal vattenflödes hastighet och vattentemperatur vintertid.

### 6.3 Rekommenderat utförande på en värmeväxlare i Kaunisjoensuu

Emedan total effektupptagning från vattnet bland annat beror på värmeväxlarens isyta mot fritt vatten är det av intresse att se hur denna förhåll sig under teståret. Vi ser här hur värmeväxlarens fria yta mot vattnet varierade:

isdiameter (cm)	isyta (m <sup>2</sup> )	kommentar
4	150	Slangyta
10	380	
15	560	
20	650	Hopfrysning börjar
25	550	Hopfrysning nästan klar
50 (skikt-tjocklek)	600	Fri undertill
70 ( " )	400	Frusen mot botten

Under vinterhalvåret var medeleffektupptagen per meter slang 7,5 W. Av denna effekt hämtades 3 W från isbildning och 4,5 W från värmeväxling i medeltal under samma period. Antag att den fria isytan i medeltal var 550 m<sup>2</sup> enligt ovanstående tabell. Denna fria isyta kan åstadkommas med mot botten förlagda slangar genom att en halvcylinder av is fryser på. Diametern på en sådan halvcylinder blir i medeltal 30 cm. Volymen av denna is blir 45 m<sup>3</sup>. Vid i övrigt lika villkor bör således värmeväxlaren modifieras så att dess 1200 m slang ligger an mot botten med ett inbördes avstånd större än 40 cm. I detta driftläge förväntas att en effekt av 1 W/m hämtas från isbildning och 6,5 W/m hämtas från värmeväxling mot älvens vatten i medeltal under en vintersäsong.

Den uttagna medeleffekten under vinterhalvåret kan ökas från 7,5 W/m till 10 W/m genom att slanglängden minskas från 1200 m till 900 m. Det förväntade resultatet i detta fall blir att kravet på fri isyta ökar till 735 m<sup>2</sup>, vilket innebär att medeldiametern på den påfrusna isen blir 51 cm. I detta fall kommer cirka 2 W/m att erhållas från isbildning och cirka 8 W/m från värmeväxling mot älven i genomsnitt under vinterperioden. Totalt bildad ismängd förväntas bli 90 m<sup>3</sup>, vilket fortfarande är mindre än de 200 m<sup>3</sup>, som faktiskt bildades under eldnings-säsongen 82/83.

#### 6.4 Dimensioneringsgrunder för svenska älvvatten

##### 6.4.1 Dimensionerande faktorer

Avgörande för dimensioneringen av en älvförlagd värmeväxlare blir följande faktorer:

1. Vattentemperaturen
2. Vattenflödes hastigheten
3. Vintersäsongens varaktighet
4. Effektupptagningen per m slang

Beträffande vattentemperaturen i en istäckt älv så kan den vara mellan 0,00-0,10°C. Efter isläggningen uppnås en temperaturjämvikt, vilken är högre ju längre söderut man kommer. Få platser har kallare vatten än Kaunisjoensuu. Undantaget utgör vatten i forsar eller straxt nedströms forsar i Norrland.

Vattenflödes hastigheten har varit 0,15-0,25 m/s i Muonio älv vid Kaunisjoensuu. Detta förhållande är rätt så normalt men många älvar rinner saktare på många platser vintertid. Ett sådant förhållande gynnar större ispåfrysning än i Kaunisjoensuu.

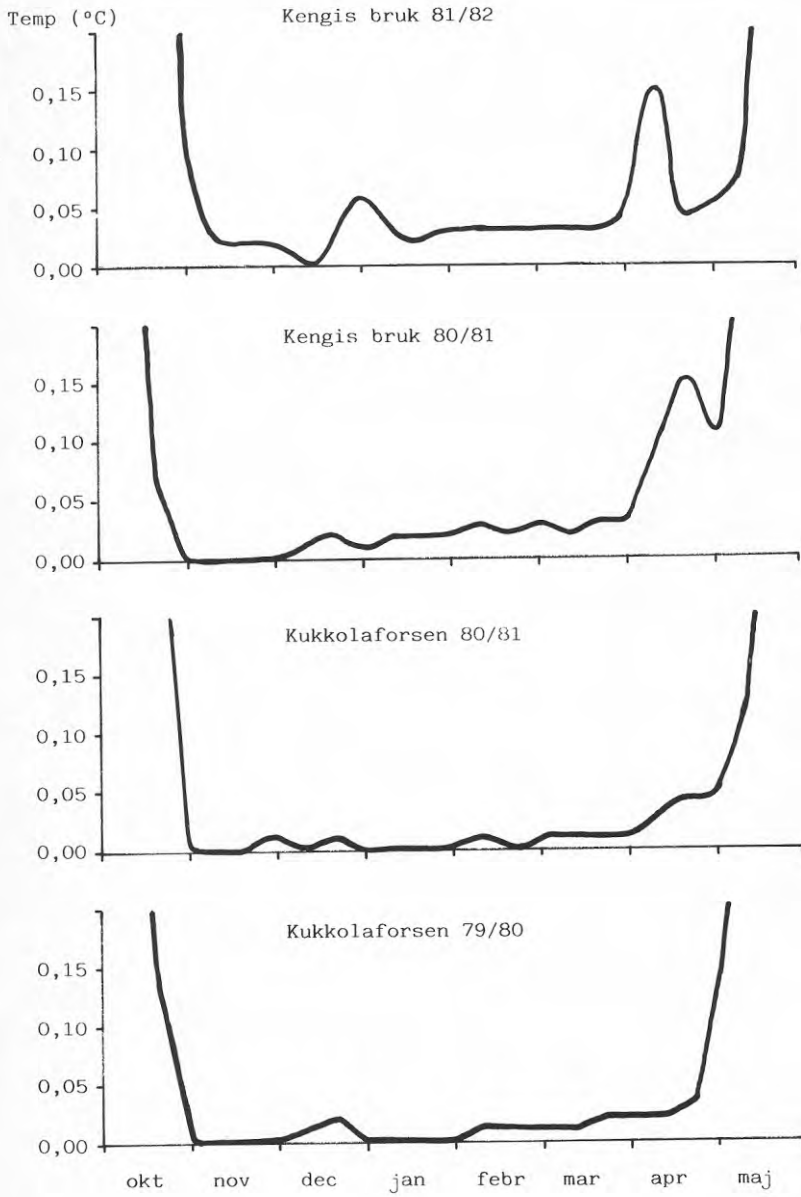
Vintersäsongens varaktighet är lång i Kaunisjoensuu och därigenom blir mängden ackumulerad is på värmeväxlaren stor under densamma. Nästan alla orter har gynnsammare betingelser beträffande denna faktor. Effektupptagningen per meter slang bestäms av konstruktören, om han lyckas dimensionera anläggningen korrekt. En hög effektupptagning per meter leder till större isackumulering under säsongen och därigenom större krav på förankring av värmeväxlaren, vilket medför ökade anläggningsskostnader.

#### 6.4.2 Förslag till dimensioneringsgrund

Det är rimligt att karaktärisera älvvatten med hjälp av vattentemperatur i balans med istäcke och vattenflödes hastigheten på den aktuella orten. Variationer i detsamma kan erhållas av SMHI:s statistik. Det maximala effektuttaget bestämt därefter av hur stor ispåfrysning den aktuella värmväxlarkonstruktionen tål. Dimensioneringen av värmväxlaren vid Kaunisjoensuu bör vara 10 W/m om värmväxlaren tål 50 cm ispåfrysning enligt punkt 6.3, vilket förefaller vara ett rimligt minimikrav. Om Kaunisjoensuu hade varit belägen straxt nedströms om Kukkola-forsen i lugnt vatten hade en lämplig dimensionering varit 6 W/m. Förväntad ispåfrysning skulle på denna plats bli 70-80 cm i diameter.

Med hänsyn till de resultat som uppnåtts vid Kaunisjoensuu och vid en del beräkningsarbete kan man utgå från att lämplig medeleffektupptagning från en värmväxlare i älvvatten med istäcke är mellan 6-15 W/m vintertid. Kaunisjoensuu representerar en plats, där en rimlig dimensionering bör vara 8-10 W/m. 6-8 W/m gäller för sämsta tänkbara värmväxlingsförhållanden i Sverige. 12-15 W/m gäller för gynnsamma förhållanden i södra Norrland och längre söderöver, där istäcket på älven ligger en kortare period och där vattentemperaturen är något högre än norra Norrland.

VATTENTEMPERATURER



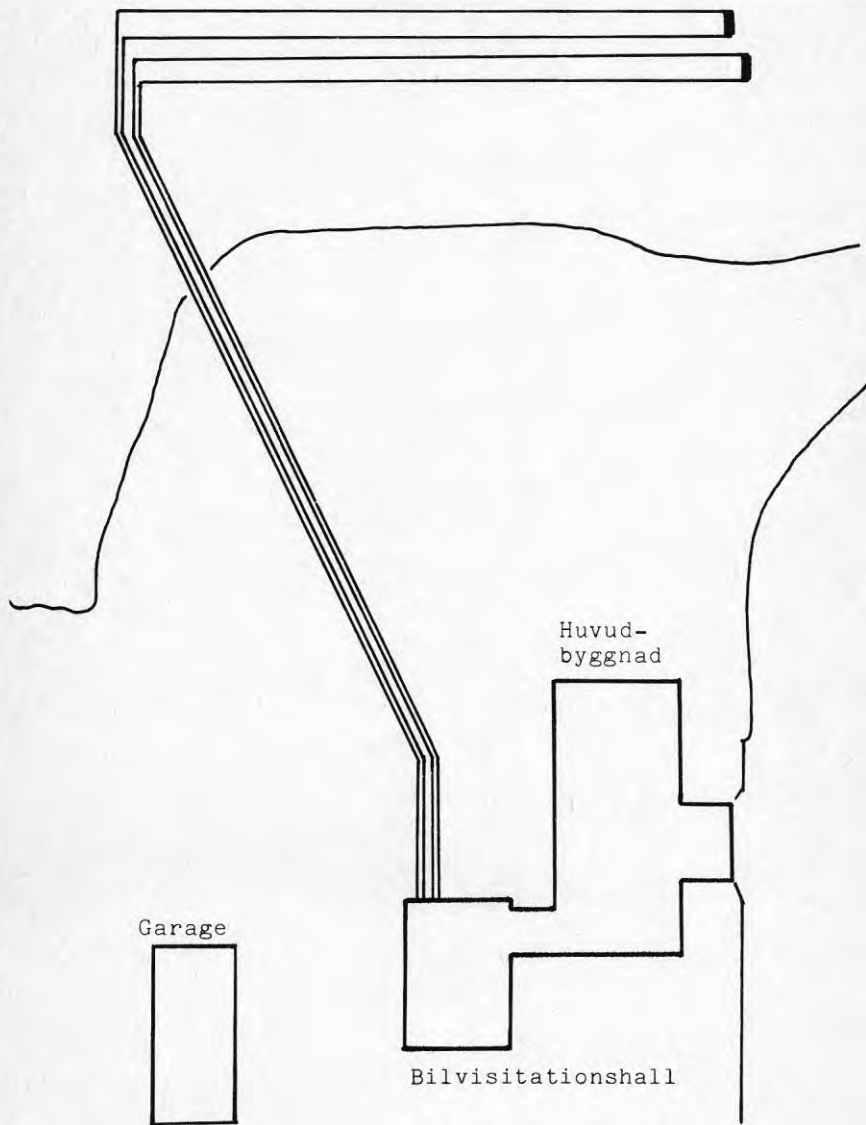
INVENTEX AQUA

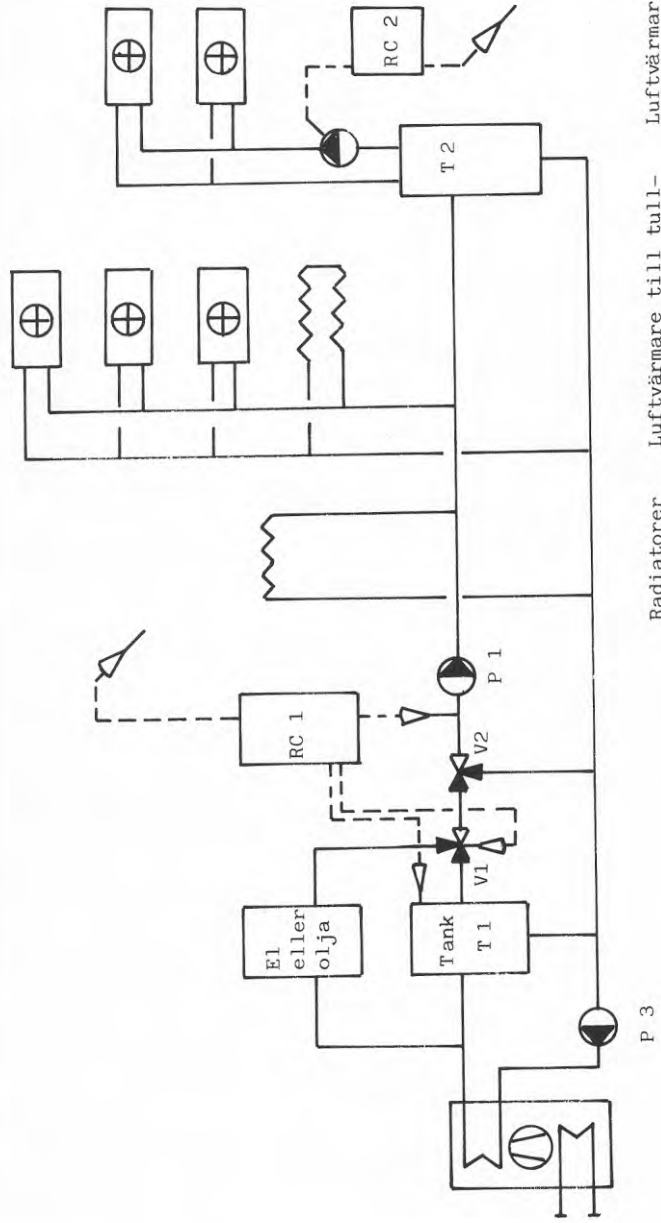
Tullstation och värmeväxlarförläggning

Figur 2

Skala 1 : 500

Muonio älv





Radiatorer tullhus  
Luftvärmare till tullhus och radiatorer i bilvisitationshall  
Luftvärmare till bilvisitationshall

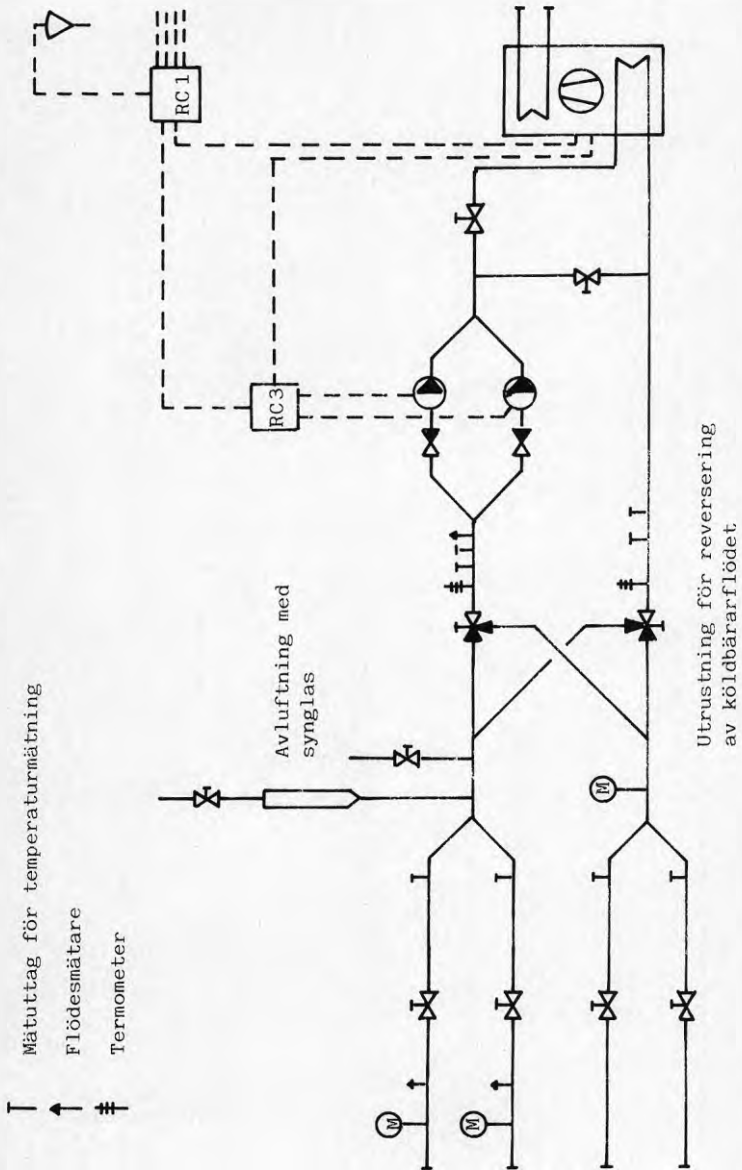
P 3



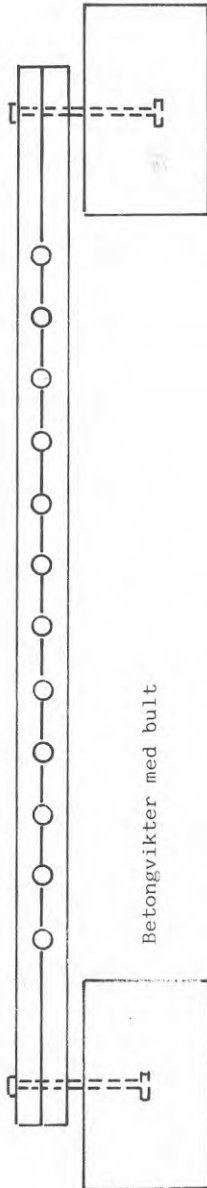
INVENTEX AQUA

Värmepumpinstallation kalla sidan  
utom värmeväxlaren

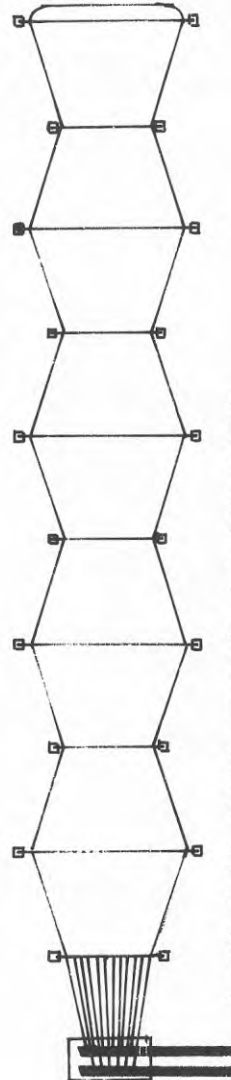
Figur 4



Distanshållare av trä med c/c 150 eller 300 mm



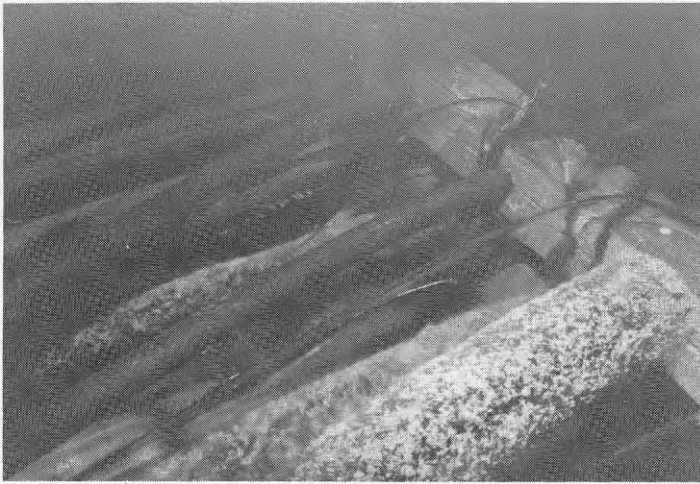
Värmeväxlarenhet med 6x100 m polyetenslang



Grenrör med 6 avstick monterade på en betongplatta

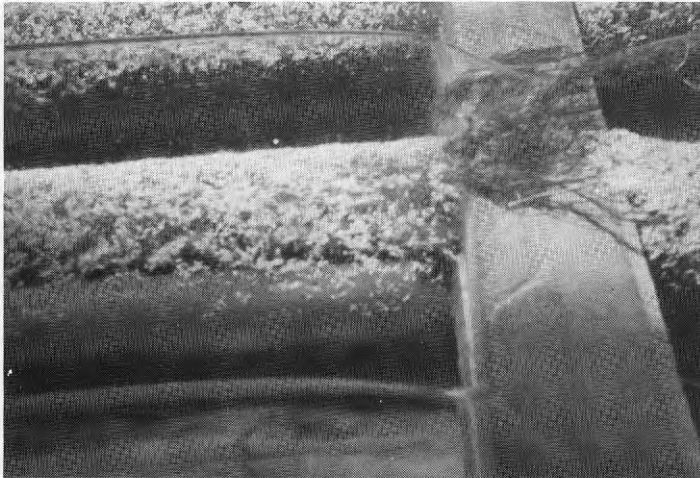
Skalan på bredden 2 gånger förstorad i relation till skalan på längden

Bild 6A



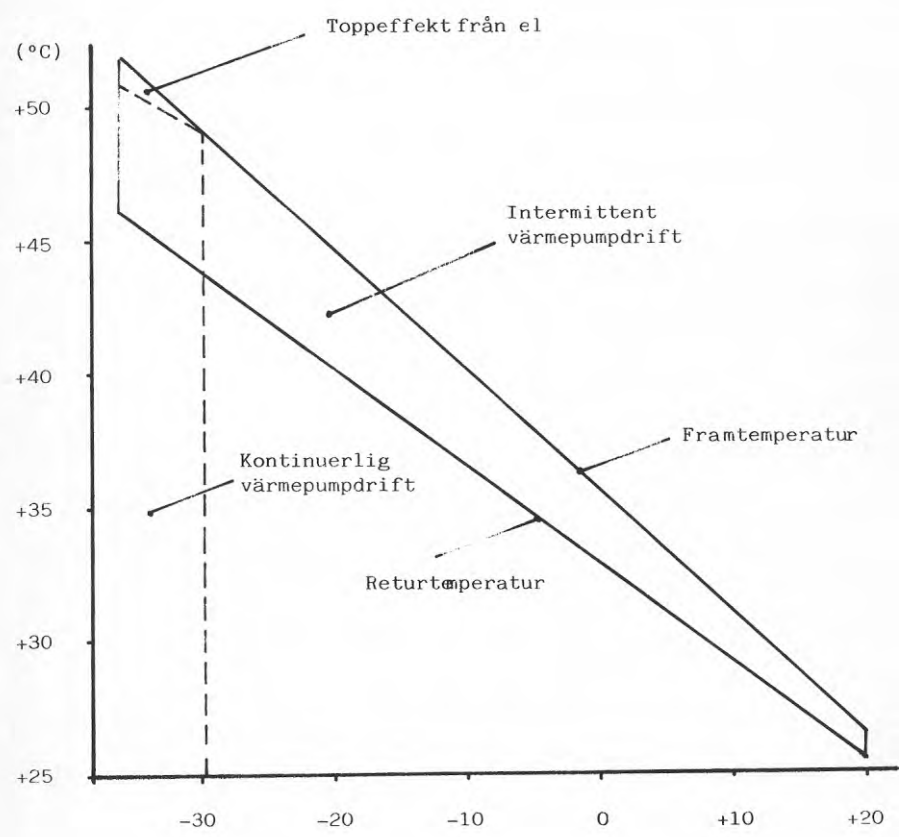
Bilderna är tagna 83-12-15 Observera att isen syns i två skikt med c:a 11 cm och 24 cm isdiameter. Den förstnämnda härstammar från älvens isläggning när sand har frusit fast i isens ytskikt.

Bild 6B



Träregelns isolerande verkan kan observeras genom inbuktningen på isdiametern.

Radiatorvatten-  
temperatur

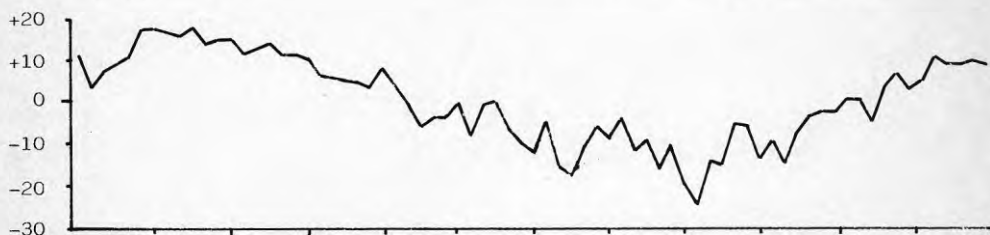


INVENTEX AQUA

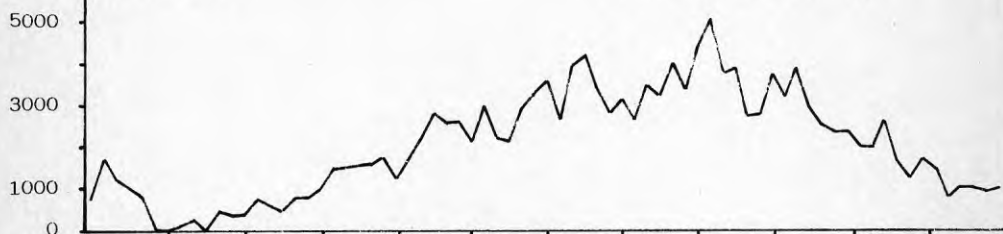
Mätresultat eldningssäsongen 82/83  
Kaunisjoensuu tullstation

Figur 8

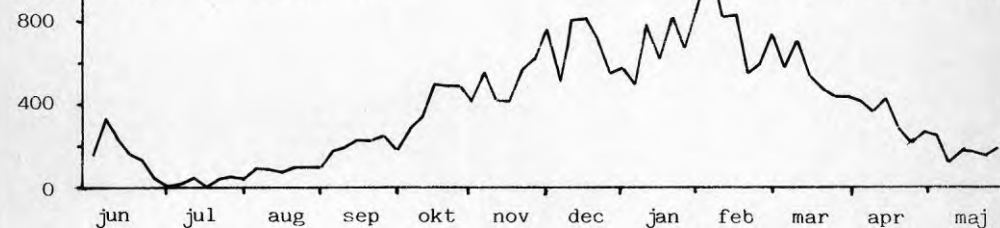
Figur 8A  
(°C) Utetemperatur Årsmedeltemperatur +0,6 °C



Figur 8B  
(°Ch) Gradtimmar Årssumma 152.500 °Ch



Figur 8C  
(kWh) Energi till kompressorn Årssumma 28.300 kWh



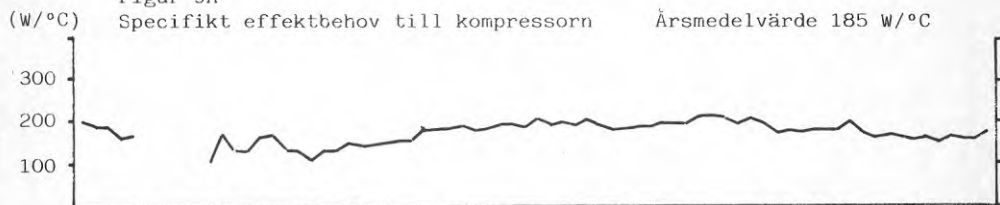
Energi till kompressorn	28.300 kWh
Energi till cirkulationspump	<u>4.800 kWh</u>
Summa energi för uppvärmning (betald)	33.100 kWh
Behov av betald energi vid normalår	35.000 kWh
Kompressordrifttid vid normalår	3.395 tim

INVENTEX AQUA

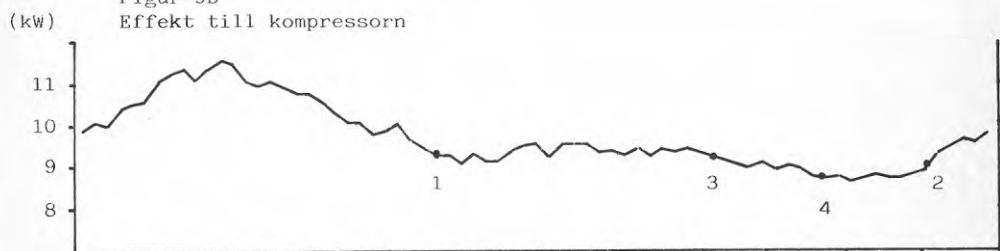
Mätresultat eldningssäsongen 82/83  
Kaunisjoensuu tullstation

Figur 9

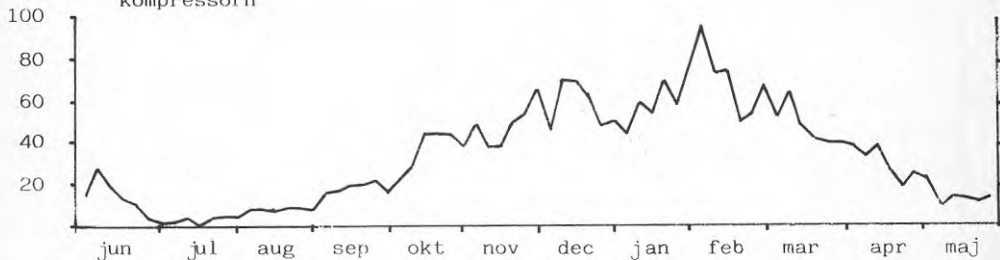
Figur 9A  
Specifikt effektbehov till kompressorn      Årsmedelvärde 185 W/°C



Figur 9B  
Effekt till kompressorn



(%)      Procentuell gångtid för kompressorn      Total gångtid under året 3.188 tim



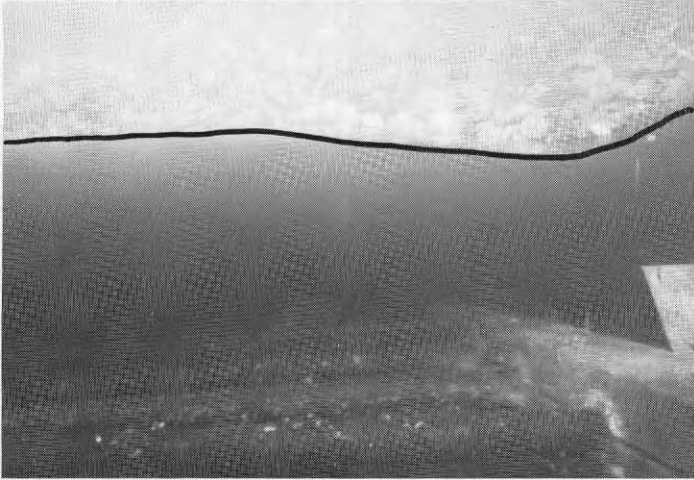


Bild 10A

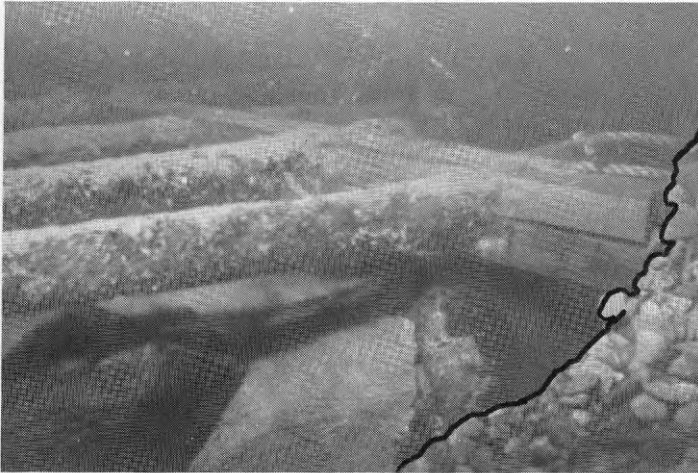
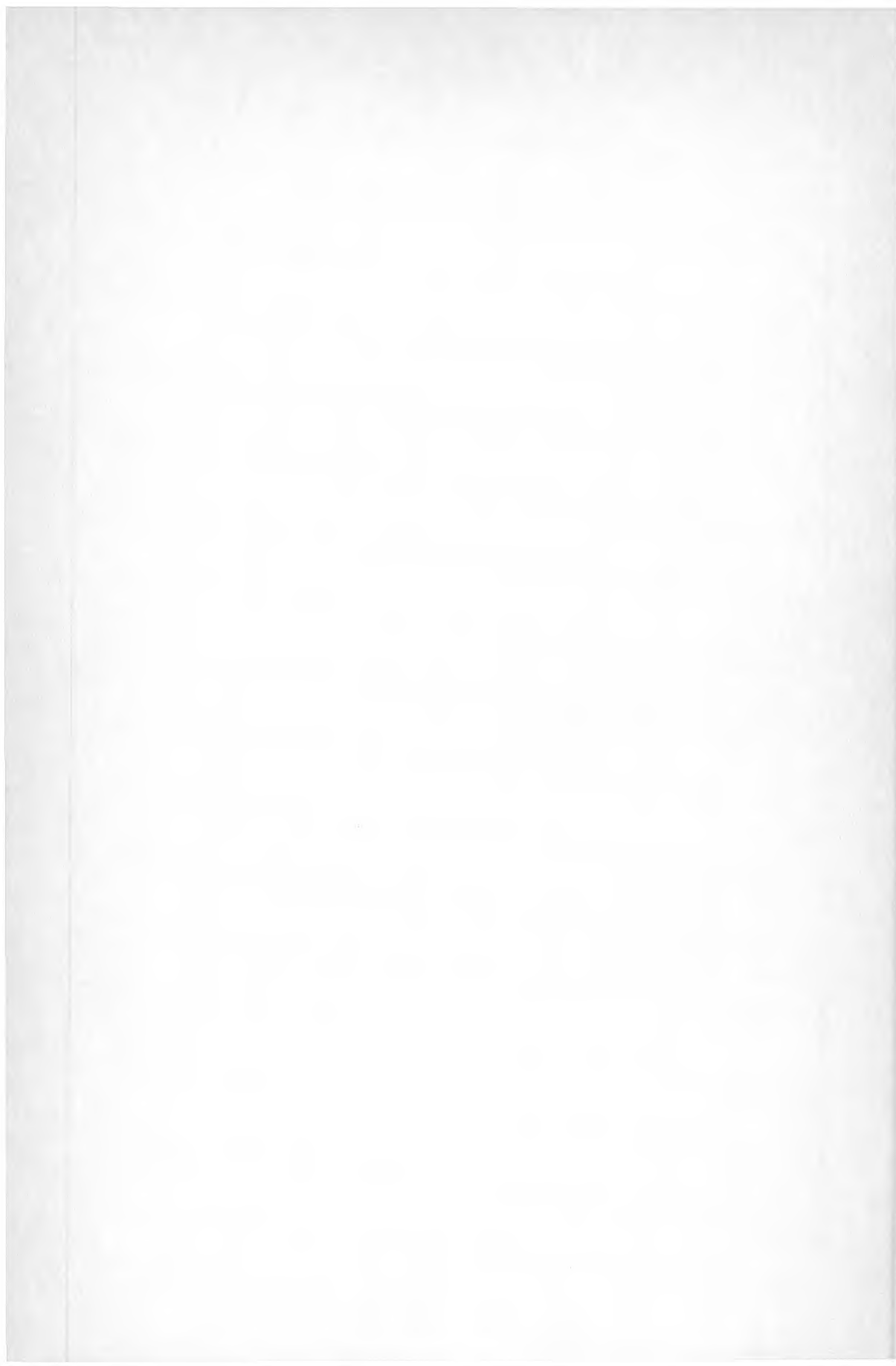
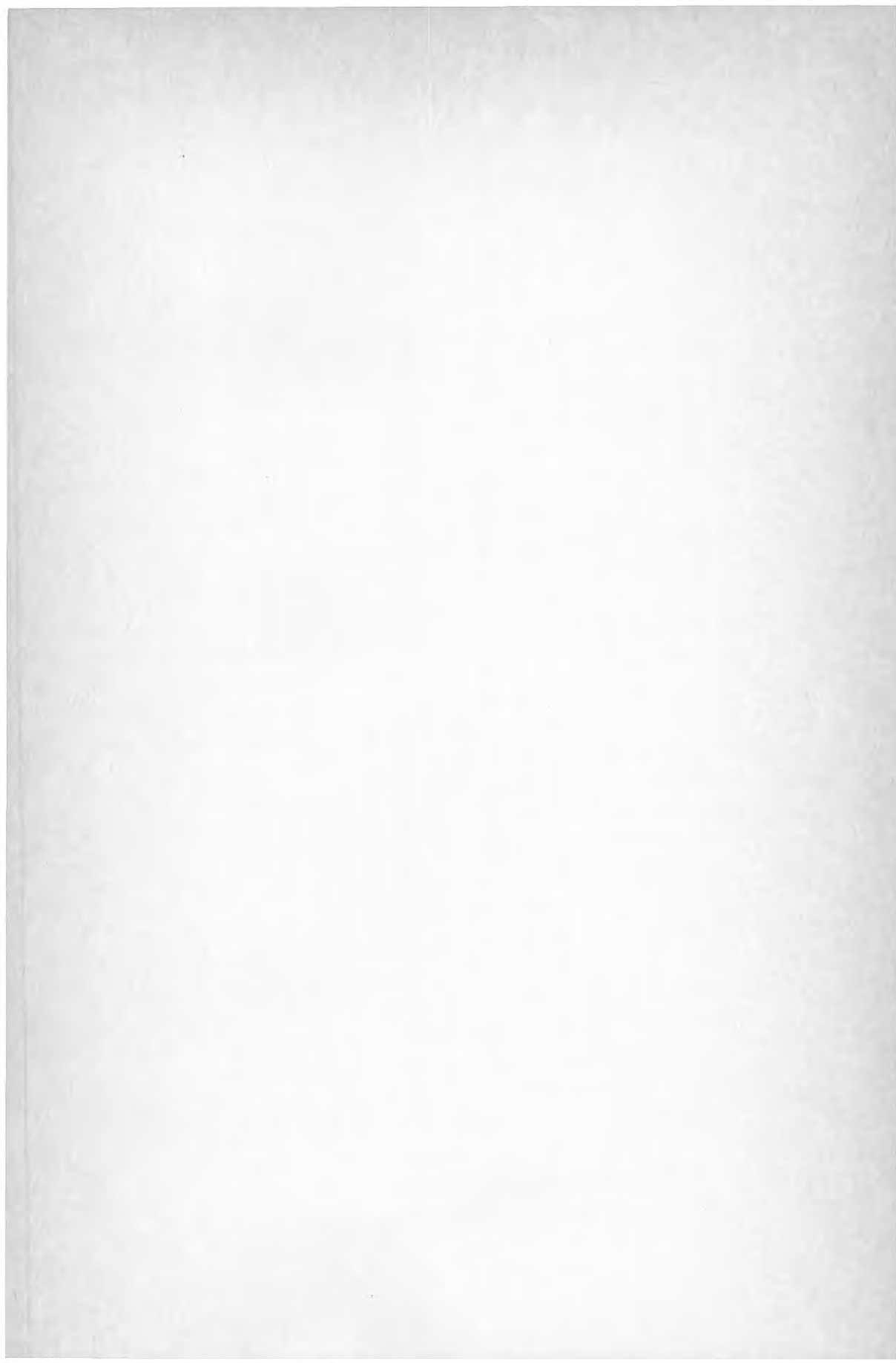


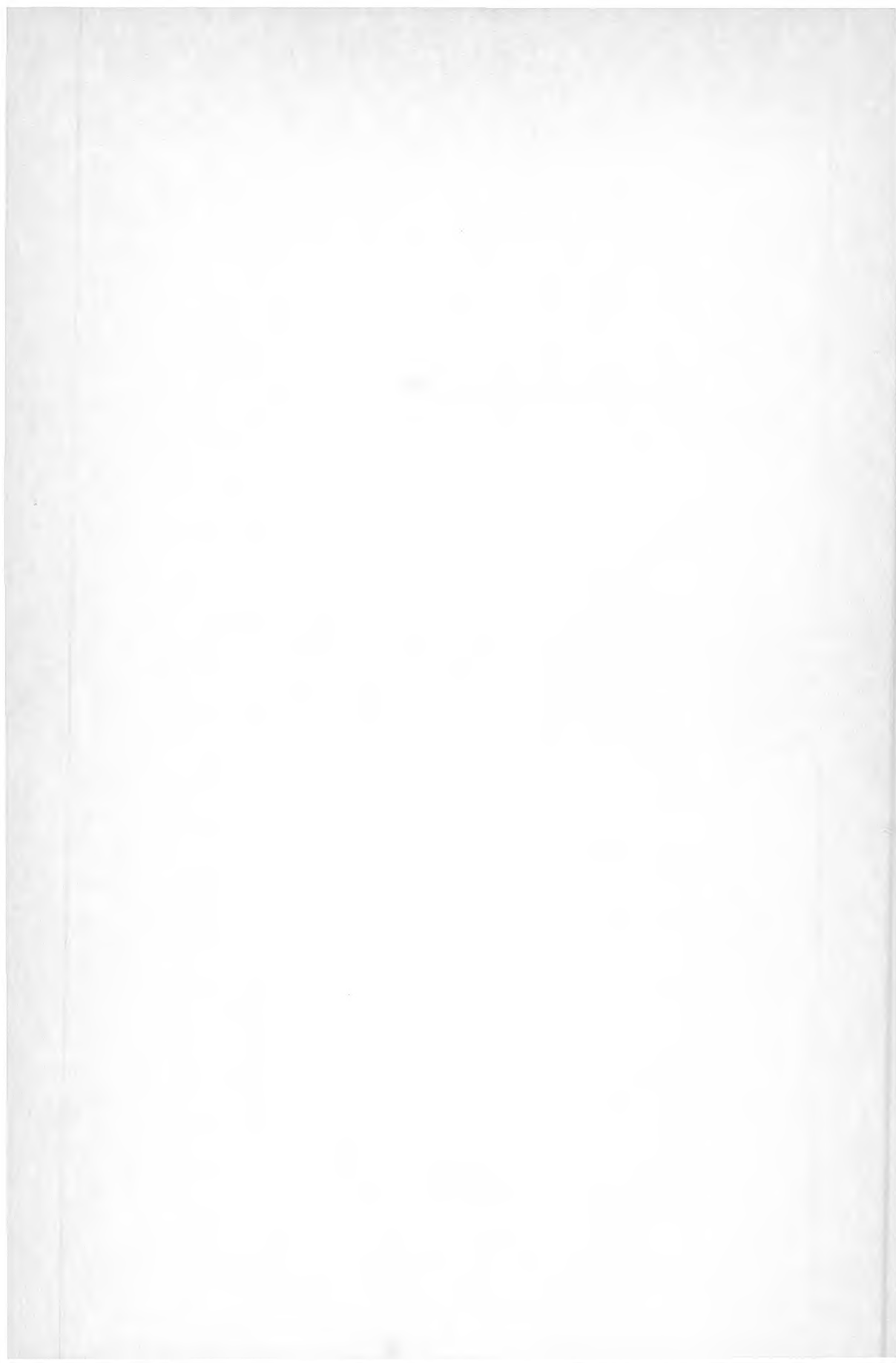
Bild 10B

Korten är tagna 83-04-07. Allting är infruset. De svarta strecken markerar isgräns.









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810648-4  
från Statens råd för byggnadsforskning till Inventex  
Aqua AB, Stenhamra.**

**R91: 1986**

**ISBN 91-540-4644-0**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6706091**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

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

**Cirka pris: 25 kr exkl moms**