



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**

**R43:1983**

**Rörmaterial för värmepumpar —  
korrosionsförsök i avloppsvatten**

**Förstudie**

**Per Almqvist  
Helge Bergström  
Börje Grönwall  
Torbjörn Olsson**

*V  
8/12*

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

*8er*

**Byggeforskningsrådet**

R43:1983

RÖRMATERIAL FÖR VÄRMEPUMPAR -  
KORROSIONSFÖRSÖK I AVLOPPS-  
VATTEN

Förstudie

Per Almqvist  
Helge Bergström  
Börje Grönwall  
Torbjörn Olsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
820338-2 från Statens råd för byggnadsforskning  
till AB Svarthålsforsen, Stockholm.

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

R43:1983

ISBN 91-540-3920-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983



## INNEHÅLL

	FÖRORD . . . . .	5
	SAMMANFATTNING . . . . .	7
1	INLEDNING . . . . .	11
1.1	Föreliggande problem . . . . .	11
1.2	Syfte och avgränsningar . . . . .	11
1.2.1	Huvudprojektets syfte . . . . .	11
1.2.2	Förstudiens syfte och avgränsningar	11
1.3	Huvudprojektets genomförande . . . . .	12
2	LITTERATURSTUDIER . . . . .	13
2.1	Sökning . . . . .	13
2.2	Resultat . . . . .	13
3.	UPPFÖLJNING AV ANLÄGGNINGAR I DRIFT	15
3.1	Allmänt . . . . .	15
3.2	Installationsdata . . . . .	15
3.3	Drifterfarenheter . . . . .	15
3.4	Resultat av utförda korrosions- försök . . . . .	15
4	ANVÄNDBARA METODER FÖR KORROSIONS- BESTÄMNINGAR I PARALLELLFÖRSÖK . . . . .	17
4.1	Synpunkter på olika metoder . . . . .	17
4.2	Campbell-apparatens funktion . . . . .	17
5	FÖRSÖKSPROGRAM . . . . .	19
5.1	Bakgrund till parameterintervall . . . . .	19
5.2	Parametrar som studeras . . . . .	19
5.2.1	Val av parametrar . . . . .	19
5.2.2	Korrosionssynpunkter på olika material . . . . .	19
5.2.3	Val av material . . . . .	20
5.2.4	Val av vattenhastigheter . . . . .	21
5.2.5	Val av rengöringsmetoder . . . . .	21
5.2.6	Val av kompletterande behandling av avloppsvattnet . . . . .	22
5.3	Vattenundersökningar . . . . .	22
5.4	Korrosionsundersökningar . . . . .	23
5.4.1	I nykonstruerade testriggar . . . . .	23
5.4.2	I Campbell-apparater . . . . .	24
5.5	Jämförande prov mellan nykonstruerad testrigg med och utan köldmedium . . . . .	25
5.6	Beläggningsundersökningar . . . . .	26
5.7	Försök med utloppsrör . . . . .	26
6	PROVNINGSANLÄGGNING . . . . .	29
6.1	Allmänt . . . . .	29
6.2	Principschema för provnings- anläggning . . . . .	29
6.3	Testriggarnas utformning . . . . .	29
6.4	Köldmediekretsens utformning . . . . .	29
7	TIDPLAN. . . . .	31
8	KOSTNADER. . . . .	33

BILAGA 1	Japansk testanläggning. . . . .	35
BILAGA 2	Frågeformulär avseende värme- pumpar i kommunala avloppsre- ningsverk. . . . .	37
BILAGA 3	Redovisning av enkätsvar/tele- fonuppgifter. Installations- data m.m. . . . .	39
BILAGA 4	Redovisning av enkätsvar/tele- fonuppgifter. Drifterfaren- heter m.m. . . . .	45
BILAGA 5	Campbell-apparatens utseende. .	51
BILAGA 6	Principschema för provningsan- läggningar . . . . .	53
LITTERATUR	. . . . .	55

## FÖRORD

Statens råd för byggnadsforskning har gett Svarthålsforsen AB, produktionsbolag för Stockholms Energiverk, ett anslag till denna utredning. VBB AB och Studsvik Energiteknik AB har därefter fått förtroendet av Svarthålsforsen att utföra studien med VBB som samordnare. För projektets genomförande har ansvarat en projektgrupp bestående av

Tekn.lic	Per Almqvist	AB Svarthålsforsen
Civ.ing	Lars Bergström	AB Svarthålsforsen
Ing	Börje Grönwall	Studsvik Energiteknik AB
Civ.ing	Helge Bergström	VBB AB
Civ.ing	Hans Grafström	VBB AB
Civ.ing	Torbjörn Olsson	VBB AB

Rapporten har utarbetats av Helge Bergström, Börje Grönwall och Torbjörn Olsson, den senare samordnare. Värdefulla synpunkter i samband med det praktiska genomförandet och redovisningen har lämnats av Lars Bergström, Hans Grafström samt civ.ing Karl-Erik Blomquist, Hugo Theorells Ingenjörbyrå AB. Ett speciellt tack riktas också till civ.ing Gunnar Lindén, Stal-Laval Apparat AB, som medverkat vid framtagning av skisser och utformning av provriggarna.

Stockholm 1982-08-31

Per Almqvist  
Projektledare



## SAMMANFATTNING

### Föreliggande problem

Flera stora värmepumpplanläggningar planeras för värmeåtervinning ur biologiskt renat avloppsvatten. Avloppsvattnet i större anläggningar värmeväxlas hittills normalt i tubvärmeväxlare.

Dessa kan levereras med tuber och mantel av olika material. Gemensamt för dessa material är att de kan korrodera under vissa betingelser samt utsättas för avlagringar och påväxt. Genom att välja lämpligt material och lämplig vattenhastighet bör således stora belopp kunna sparas.

### Syfte

I huvudprojektet avses i första hand att få fram ett underlag för dimensionering och fastställande av lämpligt material till tubvärmeväxlare vid avloppsreningsverk med avloppsvattenbeskaffenhet av Stockholmskaraktär. I andra hand syftar projektet till att utveckla en lämplig mätutrustning för korrosionsförsök.

Förstudien kan grovt uppdelas i följande arbetssteg:

- litteraturstudier avseende utförda korrosionsförsök
- uppföljning av anläggningar i drift avseende korrosionsfrågor i samband med förångare
- utvärdering av alternativa metoder för parallella korrosionsförsök med nykonstruerade testriggar
- framtagning av program för huvudprojektet innefattande korrosions- och beläggingsstudier, försök med olika metoder för tubrengöring, försök med kompletterande behandling av avloppsvattnet samt försök med utloppsrör i olika material.

### Resultat av förstudie

#### Litteraturstudie

Få korrosionsförsök har rapporterats med värmväxlartuber exponerade mot avloppsvatten. Från Japan redovisas försök med koppar, kopparnickel 90/10 och 70/30, titan, rostfritt stål (SUS 316) samt kolstål. Tuber av koppar och kopparnickel 90/10 visade inga tecken på lokala korrosionsangrepp. Titantuberna uppvisade perfekt korrosions-

hårdighet medan tuberna av rostfritt stål uppvisade allmän korrosion. Det sistnämnda är anmärkningsvärt. På ståltuberna fanns lokala angrepp. Om pH-värdet var högre än 7,5 uppvisade koppar och kopparnickel 90/10 bra korrosionshårdighet medan den var betydligt sämre vid pH-värde under 6,5. Avlagringarna i testtuberna var i allmänhet små. I ståltuberna var mängden korrosionsprodukter dock stor.

#### Uppföljning av anläggningar i drift

Data har införskaffats med hjälp av frågeformulär och telefonsamtal om 38 idrifttagna eller kontrakterade värmepumpanläggningar med kommunalt avloppsvatten som värmekälla.

Endast 6 anläggningar av undersökta har varit i drift sedan 1980 eller tidigare. Det stora flertalet har alltså levererats eller kontrakterats senare. Detta faktum medför att kraftigare korrosionsskador i allmänhet ej haft möjlighet att utvecklas. I enkätsvaren redovisas två anläggningar med skador orsakade av korrosion. Vid några installationer har rapporterats problem med igensättningar av värmeväxlare och pumpar.

Orienterande korrosionsförsök har rapporterats från verken i Skurup, Västerås, Uppsala och Loughborough (Stockholm). I Sala pågår prov med tio olika material installerade i en strilförångare.

#### Utvärdering av alternativa metoder för parallella korrosionsförsök med nykonstruerade testriggar

Testkuponger och Campbell-apparater har kortfattat utvärderats. Fördelar finns med att använda sistnämnda apparat i parallellförsök.

#### Försök

Ett antal försök avses bli utförda vid Henriksdals reningsverk dels i nykonstruerade testriggar, dels i Campbell-apparater. Dessutom planeras ytterligare några försöksserier komma till utförande.

Kortfattade data om försöken kan sammanfattas enligt följande:



<u>Försök</u>	<u>Antal provtober</u>	<u>Total provtid Månader</u>
Jämförande försök med köldmedium och utan	8	4
Korrosionsförsök i nykonstruerade testriggar	102	18
Parallellförsök med Campbellapparater	20	4
Beläggningsförsök i nykonstruerade testriggar	9	18
Försök med tvätt- lösning	8	4
Försök med mekanisk rengöring	8	4
Försök med komplet- terande vattenbe- handling	24	6
Försök med utloppsror	3	18

Ett köldmedium kommer att kyla de nykonstruerade testriggarna för beläggningsstudierna medan endast ett par av övriga nykonstruerade riggar kommer att kylas.

Vid korrosionsförsöken testas 8 olika material. Tre olika vattenhastigheter användes.

Vid beläggningsförsöken testas 3 olika material. Tre olika vattenhastigheter användes.

Vid beläggningsförsöken beräknas även värmeövergångstalen.

#### Provningsanläggning

För korrosionsprovning konstrueras tre identiska testriggar utformade som tubvärmväxlare. Maximalt kan 48 provtober, 500 mm långa, insättas samtidigt. En identisk testrigg användes för rengöringsprov, prov med kompletterande vattenbehandling samt jämförande prov. Inuti tuberna leds avloppsvattnet och omkring tuberna kan man låta ett köldmedium cirkulera.

Beläggningsproblematiken och värmeövergångstal studeras på nio identiska nykonstruerade testrigg-

gar. Dessa utformas som dubbelmantlade rör. I det inre röret, provtuben, leds avloppsvattnet och köldmediet får cirkulera utvändigt.

Köldmediekretsen består av kylaggregat, mellantank, rör, cirkulationspumpar samt reglerutrustning.

#### Tidplan

Hela projektet avses bli utfört på 24 månader.

#### Kostnader

Projektet bedöms kosta totalt 1 330 000 kronor.

## 1. INLEDNING

### 1.1 Föreliggande problem

Vid ett flertal svenska avloppsreningsverk planeras värmepumpanläggningar för värmeåtervinning ur utgående biologiskt och kemiskt renat avloppsvatten. Dessutom finns ett antal dylika anläggningar redan i drift. Avloppsvattnet i större anläggningar värmväxlas hittills normalt i tubvärmväxlare i vilka vattnet leds inuti tuberna, medan köldmedium används som värmeöverföringsmedium på växlarnas mantelsida.

Tubvärmväxlare kan levereras med tuber och mantel av olika material såsom kolstål, rostfritt stål, olika mässingssorter, koppar m.fl. Gemensamt för dessa material är att de kan korrodera under vissa betingelser samt utsättas för avlagringar och påväxt. Dessa förändringar bestämmer inte bara tubernas livslängd utan även verkningsgraden och utnyttjningsgraden hos värmväxlaren. Genom att välja lämpligt tubmaterial och lämpliga vattenhastigheter till en given värmväxlare bör man således kunna spara stora belopp eftersom driften kan göras så ekonomiskt gynnsam som möjligt.

En översiktlig litteraturgenomgång visar att omfattande undersökningar avseende systematiska studier av korrosion eller påväxt på kolstål eller andra metaller i avloppsvattenmiljö ej finns rapporterade i vare sig svensk eller utländsk litteratur. Med hänsyn till problemets stora ekonomiska betydelse och omfattning synes det därför motiverat att genomföra klarläggande korrosionsförsök samt försök beträffande inverkan av avlagringar och påväxt på värmeövergångstal när det gäller tubvärmväxlare vid avloppsreningsverk.

### 1.2 Syfte och avgränsningar

#### 1.2.1 Huvudprojektets syfte

Projektet avser i första hand att få fram ett underlag för dimensionering och fastställande av lämpligt material till tubvärmväxlare vid avloppsreningsverk med avloppsvattenbeskaffenhet av Stockholmskaraktär. I andra hand syftar projektet till att utveckla en mätutrustning som kan användas för utprovning av olika aktuella tubmaterial i olika avloppsvattenmiljöer.

#### 1.2.2 Förstudiens syfte och avgränsningar

Förstudien syftar till att

- sammanställa resultat från tidigare undersökningar genom litteraturstudier
- uppfölja anläggningar i drift
- utvärdera i dag utnyttjade metoder för korrosionsbestämningar för att utreda om de kan utnyttjas i parallellförsök.
- precisera huvudprojektet dvs fastställa vilka parametrar som skall studeras, antal prov, provtider, provtagningsmetodik, total försökstid, utformning av testriggar
- framtaga program för huvudprojektet inkl. kostnad för detsamma.

### 1.3 Huvudprojektets genomförande

Projektet avses bli genomfört vid Henriksdals avloppsreningsverk i samarbete mellan personalen på denna anläggning, AB Svarthålsforsen, Studsvik Energiteknik AB och VBB AB.

Genomförandet av försöken omfattar införskaffande av försöksmaterial, detaljutformning av försökens genomförande, provtagningsmetoder, analysmetoder osv., försöksdrift, sammanställning och utvärdering av försöksresultaten.

## 2. LITTERATURSTUDIER

### 2.1 Sökning

Litteratursökning har utförts dels med hjälp av Byggdok, dels av VBB. Som sökord har Byggdok använt värmepumpar, värmeväxlare, korrosion samt avloppsvatten. För att undersöka antal referenser i de olika databaserna har sökorden kombinerats enligt följande sammanställning:

Värmepumpar/värmeväxlare	med korrosion	(A)
Värmepumpar/värmeväxlare	med avloppsvatten	(B)
Avloppsvatten	med korrosion	(C)
Värmepumpar/värmeväxlare	med korrosion med avloppsvatten	(D)

Kombination D ansågs ge den bästa kravuppfyllelsen på uppställt problem. Kombination C medtogs för att ge en uppfattning om antal referenser som skulle kombineras med värmepumpar/värmeväxlare. Byggdoks sökning gav ett mycket magert resultat. Endast totalt åtta referenser fanns avseende kombination D i ett antal svenska och utländska databaser. Vissa av referenserna visade sig dessutom vara dubletter. Kombination B gav ca 90 träffar medan A gav fler än 1000. Den sistnämnda kombinationen bedömdes därför vara alltför omfattande och referat beställdes endast avseende kombinationen B och D. Vid intressanta referat beställdes originallitteraturen.

VBB har vidare gått igenom BFR:s skriftutgivning 1975-1981 och i första hand studerat de rapporter, skrifter etc. som behandlar värmepumpar/värmeväxlare med avloppsvatten som värmekälla.

### 2.2 Resultat

Endast en utländsk referens, Sato (1980), har påträffats som redovisar resultat från korrosionsförsök med värmeväxlartuber exponerade mot avloppsvatten. Försöken gjordes i tuber i en modellanläggning. Ett flödesschema av anläggningen samt vattenanalyser presenteras i bilaga 1. Renat och koncentrerat (2-5 gånger) avloppsvatten fick cirkulera genom tuberna med en hastighet av 3-3,9 m/s under 5.000 timmar. En inhibitor tillsattes för att justera vattnets pH till basisk reaktion, medan saltsyra användes för att få vattnet surare. Koppar, kopparnickel 90/10 och 70/30, titan, rostfritt stål (SUS 316) samt kolstål testades.

Följande resultat erhöles:

(1) tuber av koppar och kopparnickel 90/10 visade

inga tecken på lokala korrosionsangrepp. Deras korrosionshastighet var mindre än 0,01 mm/år vid pH-värde större än 7,5. Prover exponerade mot dricksvatten erhöill större korrosionshastighet. Titantuberna uppvisade perfekt korrosionshårdighet. Tuberna av rostfritt stål uppvisade allmän korrosion med ojämn yta. På ståltuberna fann man lokala korrosionsangrepp.

- (2) Korrosionshastigheten för koppar och kopparlegeringar berodde på pH-värdet, inte på mängden löst organiskt material såsom  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  och  $\text{NH}_4^+$ . Om pH-värdet var högre än 7,5 uppvisade koppar och kopparnickel 90/10 bra korrosionshårdighet. Om pH-värdet var mindre än 6,5 ökade däremot korrosionshastigheten markant.
- (3) Avlagringarna i testtuberna var i allmänhet små. I ståltuberna var mängden korrosionsprodukter dock stor. Oberoende av om inhibitor tillsattes eller ej bestod avlagringarna i huvudsak av korrosionsprodukter.
- (4) Eftersom korrosionshårdigheten för koppar och kopparlegeringar i behandlat avlopp ökade med ökande pH-värde ansågs dessa legeringar vara fria från både korrosion och avlagringar när pH-värdet var större än 7,5 genom tillsats av alkaliseringsmedel.

Följande synpunkter kan lämnas på ovanstående resultat. Att tuber av koppar och kopparnickel uppvisar lägre korrosionshastighet i avloppsvatten än i dricksvatten är anmärkningsvärt. I andra sammanhang är det även känt att koppar och kopparlegeringar har benägenhet för punktkorrosion. Det är även anmärkningsvärt att det rostfria stålet korroderar allmänt. Jämför de synpunkter som lämnas i avsnitt 5.2.2.

Lindahl m.fl. (1980) ger en exposé över olika typer av korrosion samt diskuterar påväxtproblematiken.



### 3. UPPFÖLJNING AV ANLÄGGNINGAR I DRIFT

#### 3.1 Allmänt

Uppgifter har införskaffats från ett flertal leverantörer om vilka installerade eller kontrakterade värmepumpanläggningar som har avloppsvatten som värmekälla. På basis av erhållna uppgifter har ett frågeformulär skickats till samtliga huvudmän. I princip bestod formuläret av två huvudgrupper av frågor - installationsdata och driftdata inklusive reningsanordningar och korrosionsförsök. Då enkätsvaren ej varit fullständiga har kompletterande uppgifter om installationsdata inhämtats per telefon från tillverkarer och om drifterfarenheter från huvudmännen.

Formulärets utseende framgår av bilaga 2.

#### 3.2 Installationsdata

En fullständig presentation av installationsdata framgår av bilaga 3 och kan sammanfattas enligt följande.

Flertalet av anläggningarna har biologiskt och kemiskt renat avloppsvatten som värmekälla. I två fall används orenat vatten (Skurup och Göteborg, Kodammarna).

Anläggningar levererade av Stal Refrigeration AB är med få undantag utförda utan mellankrets före förångaren. Koppar och rostfritt stål är det vanligaste rörmaterial i tubpanneförångarna.

#### 3.3 Drifterfarenheter

Endast 6 anläggningar av undersökta har varit i drift sedan 1980 eller tidigare. Det stora flertalet har alltså levererats eller kontrakterats senare. Detta faktum medför att kraftigare korrosionsskador i allmänhet ej haft möjlighet att utvecklas.

I enkätsvaren redovisas 2 anläggningar med korrosionsskador. Vid några installationer har rapporterats problem med igensättningar av värmeväxlare och pumpar.

I bilaga 4 redovisas en fullständig sammanställning av driftdata inklusive reningsanordningar och korrosionsförsök.

#### 3.4 Resultat av utförda korrosionsförsök

Orienterande undersökningar har rapporterats från verken i Skurup, Västerås, Uppsala och Loden (Stockholm).

I Skurup undersöktes rostfritt och syrafast stål, kolstål, koppar, koppar-nickel samt Al-mässing. Koppar valdes.

I Kodammarna, Göteborg, har byggts en pilotanläggning. I denna utnyttjas orenat avloppsvatten som värmekälla. Man använder en stående tubpannevärmeväxlare som förångare. Förångaren har 55 grova rör med innerdiameter 50 mm. Avloppsvattnet går inuti dessa. Kolstål valdes som tubmaterial eftersom den valda förångaren tillverkas av detta material som standard. Man är medveten om att kolstål har korroderat vid försök i Skurup.

Efter ca 4 månaders drift har ännu ej några korrosionsskador kunnat iakttagas.

En liten provanläggning kördes vid Tivoliverket, Sundsvall ca 6 månader vintern 1978-79. Inga resultat har rapporterats.

Inga korrosionsprov har gjorts i Sala före värmepumpinstallationen. Enligt enkätsvaret har dock omfattande genomgångar gjorts av tillgängligt material. Omfattande mätprogram har även etablerats för att följa upp den nya anläggningen. Hittills har man inte haft några korrosionsproblem med strilförångaren som har tuber av kolstål, som är varmförzinkat med 100 um zink. Sedan mars 1982 pågår dock korrosionsförsök. Provtuber av följande material har insatts under spridarröret i strilförångaren:

Obehandlat stål	SS-stål 1330
Varmförzinkat stål	SS-stål 1330
Rostfritt stål	SS-stål 2333
- " - "	SS-stål 2343
- " - "	Nyby Monit
- " - "	TREND TUBE Sea Cure
Koppar	SS-koppar 5015
Aluminium	SS-aluminium 4010
Aluminiummässing	SS-mässing 5217
Kopparnickel	SS-brons 5667

I tuberna cirkulerar ej något köldmedium.

Vid en planerad anläggning i Visby kommer man att ha två olika typer av plattförångare, den ena tillverkad av rostfritt specialstål, Avesta 254 SMO, den andra av Monit. Jämförelser kan därvid göras mellan de båda materialens korrosionshärdighet. Det bör i detta sammanhang påpekas att Visby-anläggningen skall använda en blandning av havsvatten och avloppsvatten som värmekälla. Den dominerande mängden kommer att vara havsvatten.

#### 4 ANVÄNDBARA METODER FÖR KORROSIONSBESTÄMNINGAR I PARALLELLFÖRSÖK

##### 4.1 Synpunkter på olika metoder

En testapparat, benämnd Campbell-apparat, har använts vid korrosionsförsök vid avloppsreningsverken i Västerås, Uppsala och Louden. Med denna apparat försöker man accelerera olika typer av korrosionsförlopp. En nackdel med apparaten är att det saknas helt tillförlitliga uppgifter om sambandet mellan de korrosionshastigheter som erhålles och de som kan förväntas i en verklig anläggning. Det anses därför värdefullt att använda Campbell-apparat i parallellförsök med de nykonstruerade testrigarna.

Testkuponger används ibland vid korrosionsförsök. Kupongerna sätts in i den vattenström som skall undersökas och exponeras under en viss tid. Metoden är mindre tillförlitlig eftersom de hydrauliska förhållandena ej överensstämmer med den strömningsbild som fås i rören i en tubvärmväxlare.

##### 4.2 Campbell-apparatens funktion

I bilaga 5 redovisas Campbell-apparatens utseende. I denna apparat kan samtidigt 10 st 500 mm långa tuber provas. Apparaten fungerar så att vattnet trycks upp genom ett i botten placerat icke metalliskt fördelningskärl, som fördelar vattnet jämnt genom de tio inloppsdysorna av högmolekylärt polyeten (tidigare har vävbakelit använts, men då detta material absorberar vatten och sväller, ändras spalten mellan dysa och bakelit). I varje inloppsdysa finns ett hål riktat i 45° vinkel mot tubväggen mot vilken vattnet sprutas med stor hastighet, vanligen 5-10 m/s. Den kraftiga strålen medför turbulens och påskyndar uppkomsten av erosionskorrosion. Det är lämpligt att accelerera provningen och låta jetstrålen få något högre hastighet än vad som kan väntas bli aktuell i verkligheten d.v.s. 5-10 m/s. Inloppsdysorna är konade 2° och bildar med tubväggen en spalt gynnsam för uppkomst av spaltkorrosion. Vattnet trycks upp genom tuberna med en strömningshastighet av 0,1-0,2 m/s. Vid utloppet av varje tub sitter, liksom vid inloppet, en dysa genom vilken vattnet trycks ut i ett uppsamlingskärl och vidare till avlopp. Även denna dysa är konad för att en spalt gynnsam för spaltkorrosion skall erhållas.

På varje tub kan dessutom träs en oljemantel i vilken olja uppvärmd till 70-80°C cirkulerar. Vid oljemanteln fås en hotspotarea. I föreliggande fall kan det vara onödigt att använda värmemantlar och eftersträva hotspoteffekt, som för övrigt påverkar enbart kopparlegeringarna. Värme-

mantlarna åstadkommer också att vattnet värms 3-4°C, vilket ökar vattnets aggressivitet dels vid avlagring, dels i spalten vid utloppsdyran.

## 5. FÖRSÖKSPROGRAM

### 5.1 Bakgrund till parameterval

I planerad värmepumpänläggning för avloppsreningsverket i Henriksdal har föreslagits tubvärmväxlare där avloppsvattnet leds inuti tuberna. På tubernas utsida cirkulerar köldmedium.

Risk finns för spalt- och avlagringskorrosion i samband med avlagring och påväxt på tubernas insida. Erosionskorrosion är tänkbar om strömningshastigheten blir tillräckligt hög. Vid låg vattenhastighet minskar risken för erosionskorrosion, medan risken för spalt- och avlagringskorrosionen ökar.

Benägenheten till att beläggningar skall uppkomma på tuberna varierar mellan olika material. Beläggningar ger upphov till dels sämre värmeövergångstal och högre tryckfall eller i värsta fall haveri, dels till att underhållskostnaderna ökar genom att tuberna måste rengöras. Typ av reningsanordning spelar även in. För att minimera driftstörningar och kostnader kan kompletterande behandling av avloppsvattnet komma ifråga.

### 5.2 Parametrar som studeras

#### 5.2.1 Val av parametrar

Mot bakgrund av vad som redovisats i föregående avsnitt kommer följande parametrars inverkan på korrosion och beläggningar att studeras:

- material
- hastighet
- rengöring av tuber
- kompletterande behandling av avloppsvattnet

#### 5.2.2 Korrosionssynpunkter på olika material

Värmväxlartuber kan som standard erhållas i rostfritt stål, kolstål, mässing, koppar och kopparnickel. Tuber av oskyddat kolstål och galvaniserat kolstål bedöms enligt erfarenhet från andra områden ha för dålig korrosionshårdighet. Kolstål kan dock ifrågakomma i aktuella värmväxlartuber om de korrosionsskyddas genom beläggning med högvärt konsthartr. Material av mässing, koppar och kopparnickel har benägenhet för punkt- och avlagringskorrosion. Det är viktigt att tuber av dessa material ej har några kolavlagringar på ytan härrörande från tillverkningsprocesser, enär sådana avlagringar kan förorsaka svårartad galvanisk korrosion. Härdigheten mot erosionskor-

rosion hos koppar samt vissa mässing- och kopparlegeringar är begränsad. Exempelvis anses erosionsrisken vara stor för koppar, aluminium-mässing och koppar-nickel 90/10 om strömningshastigheten med renvatten överskrider ca 2 m/s. Under samma betingelser har dock koppar-nickel 70/30 betydligt större hårdighet. För koppar och kopparlegeringar kan hårdigheten mot erosionskorrosion ökas med intermittent dosering av järn(II)sulfat varigenom en skyddsfilm av järnhydroxid bildas på tubväggarna. Det kan dock vidare påpekas att koppar och kopparlegeringar kan korrodera vid förekomst av svavelväte och sulfider i avloppsvatten eller vid förekomst av höga halter fri ammoniak.

Syrafast stål, SS 2343, har mycket god beständighet mot allmän korrosion i både ren- och avloppsvatten. Vid användning av detta material bör man dock beakta den risk för punktkorrosion som kan uppstå vid misslyckad svetsning eller ofullständig efterbehandling av svetsfogar. Under vissa betingelser, t ex under avlagringar, kan spalt och avlagringskorrosion uppkomma på syrafast stål. Risken för nämnda typer av korrosion ökar markant vid ökad kloridhalt, särskilt under förhållanden med stagnant vatten eller låg strömningshastighet.

Rostfritt stål, SS 2333, är betydligt känsligare för punkt- och spaltkorrosion än stål 2343.

Emedan det är tveksamt om hårdigheten mot lokal punkt-, spalt- och avlagringskorrosion för syrafast stål 2343 är tillräcklig i den aktuella miljön har det ansetts intressant att vid undersökningarna testa det mer högvärdiga stålet Avesta 254 SMO. Detta stål har nämligen enligt tillgängliga undersökningsrapporter en extrem hårdighet mot såväl allmän korrosion som lokal korrosion.

### 5.2.3 Val av material

För att hålla projektet inom en rimlig nivå har det ansetts nödvändigt att begränsa antalet testmaterial. Med stöd av de korrosionssynpunkter på olika material som redovisats i föregående avsnitt har fem kopparlegeringar, två rostfria stål och konsthartsbelagt kolstål valts att ingå i studien enligt följande sammanställning.

Material som avses ingå i studien

- |    |                                |
|----|--------------------------------|
| I  | Höglegerat stål Avesta 254 SMO |
| II | Rostfritt stål, SS-stål 2343   |



- III Koppar (grafitfri, ej värmebehandlad, fri från oljor, vaxer och andra smutsämnen)
- IV Koppar-Nickel 90/10 (grafitfri, ej värmebehandlad, fri från oljor, vaxer och andra smutsämnen)
- V Koppar-Nickel 70/30. (Grafitfri, ej värmebehandlad, fri från oljor, vaxer och andra smutsämnen)
- VI Aluminium-mässing, SS-mässing 5217-12 (grafitfri, fri från oljor, vaxer och andra smutsämnen, avspänningsglödgad om leverantören så kräver)
- VII Amiralitetsmässing (grafitfri, fri från oljor, vaxer och andra smutsämnen)
- VIII Konsthartsbelagt kolstål

Titans korrosionshårdighet är väl dokumenterad och behöver därför ej studeras. Titan är vidare av mindre intresse på grund av hög kostnad.

#### 5.2.4 Val av vattenhastigheter

Följande försök (x) ingår

Hastighet m/s	Material							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1,5		x	x	x		x	x	
3,0	x	x	x	x	x	x	x	x
5,0	x	x			x			x

Provkroppar tas ut vid 6 olika tillfällen nämligen efter följande tider: 1, 2, 4, 8, 12 och 18 månader.

Eftersom ett försök omfattar 17 provkroppar åtgår totalt 102 provtuber.

#### 5.2.5 Val av rengöringsmetoder

En metod som kan användas för rengöring av tuberna är att regelbundet ta värmeväxlarna ur drift och genomföra kemisk rengöring medelst rundpumpning av varm tvättmedelslösning innehållande alkali, tensider, komplexbildare och dispergeringsmedel. Man kan också tillämpa mekanisk rengöring av tuberna.

En jämförelse mellan dessa båda metoder ingår i studien.

Totalt kommer 16 provtuber att undersökas.

#### 5.2.6 Val av kompletterande behandling av avloppsvattnet

Vid Henriksdals avloppsreningsverk renas kommunalt avloppsvatten genom mekanisk, biologisk och kemisk rening. Av miljövärdsskäl är ingen ytterligare avloppsvattenbehandling att förutse i dagens läge.

För att motverka problem med avlagringar genom mikrobiologisk påväxt på de vattenberörda delarna i värmeväxlarna kan man överväga att genomföra en intermitterande dosering av någon algucid till avloppsvattnet. Sådan dosering kan behöva ske ett par timmar varannan dag. För motverkande av erosionskorrosion på tuber av kopparmaterial kan dosering av tvåvärt järnsulfat testas. Effekterna av ovannämnda doseringar avses bli studerade i särskilda undersökningsserier.

Totalt kommer 24 provtuber att undersökas.

#### 5.3 Vattenundersökningar

Vid planerade studier av korrosionsangrepp och bildning av beläggningar på värmeväxlartuberna bör en noggrann uppföljning av avloppsvattnets beskaffenhet göras i syfte att kunna klarlägga orsakssamband.

Rutinmässigt utförs följande regelbundna undersökningar av det utgående avloppsvattnet vid Henriksdals avloppsreningsverk.

- a. Ett flödesproportionerat dygnsprov uttas varje vecka för nedanstående analyser:

Suspenderade ämnen  
 Biokemisk syreförbrukning (BOD<sub>7</sub>)  
 Kemisk syreförbrukning (COD<sub>Cr</sub>)  
 Totalfosfor  
 Ammoniumkväve  
 Nitratkväve  
 Totaljärn

- b. Ett flödesproportionerat veckoprov bereds varje vecka för nedanstående analyser:

Kemisk syreförbrukning  
 Totalfosfor  
 Totalkväve  
 Nitratkväve  
 Totaljärn

Av de ovannämnda analysparametrarna har suspenderade ämnen och totaljärn betydelse för uppkomst av avlagringar genom fysikalisk-kemiska förlopp. Övriga parametrar har betydelse för mikrobiologisk påväxt. Ur korrosionssynpunkt har ammoniumkväve också betydelse för angrepp på koppar och kopparlegeringar.

Med hänsyn till korrosionsstudierna bör man under försökstiden utöka analyserna av det utgående avloppsvattnet enligt följande schema.

- c. Ett flödesproportionerat dygnsprov uttas varje vecka för nedanstående analyser:

pH  
 Konduktivitet  
 Kalcium  
 Magnesium  
 Mangan  
 Aluminium  
 Alkalitet  
 Klorid  
 Sulfat  
 Silikat

- d. En gång per vecka utförs dessutom följande stickprovsanalyser:

pH  
 Syrehalt  
 Redoxpotensial  
 Total bakteriehalt

Utöver ovannämnda parametrar har eventuell förekomst av svavelväte och sulfider stort intresse. Dessa substanser bedöms dock normalt ej finnas i det utgående avloppsvattnet, men kan dock tänkas bildas sekundärt under bildande beläggningar på tubernas ytor. Kontroll av svavelväte och sulfater i avloppsvattnet blir endast aktuell i det fall att syre- och redoxvärdena visar sig vara låga.

Vid genomförandet av projektet förutsätts att de rutinmässiga undersökningarna enligt a och b även utförs som tidigare. Dessa undersökningar behöver därför ej medföra några analyskostnader som belastar projektet.

#### 5.4 Korrosionsundersökningar

##### 5.4.1 I nykonstruerade testriggar

Vid spalt- och avlagringskorrosion kan lokala angrepp av typ punktfrätor och sprickor uppstå. Även angrepp som liknar allmän korrosion kan bildas. Vid de högre strömningshastigheterna finns möjlighet till erosionskorrosion.

Beroende på exponeringstiden uppstår på vattensidan beläggning bestående dels av avlagringar, dels av korrosionsprodukter. För att studera angreppen avlägsnas beläggningsen.

Vid okulärbesiktning bör avgöras om korrosionen är jämnt fördelad över hela tubprovet eller koncentrerad till vissa partier. Med hjälp av dessa iakttagelser bestäms hur tubproven skall snittas i två halvor.

I stereomikroskop studeras de båda tubhalvornas inneryta beträffande angreppens läge, karaktär och omfattning.

Angreppsdjupet mätes med spetsmikrometer och mikroindikator. Dessa mätningar gör det möjligt att bestämma mängden bortkorroderat material.

Om det bedöms intressant finns möjlighet att studera i svepelektronmikroskop angreppens minsta detaljer och återge dem fotografiskt. Korrosionsprodukter i t.ex. sprickor kan ofta analyseras med energidispersiv röntgenanalys.

Angrepps och sprickors läge och förlopp i förhållande till mikrostrukturen är av intresse och kan fås fram genom ljusoptisk mikroskopi av lämpliga snitt och provberedning av desamma.

För att korrelera de olika materialen till varandra och med exponeringstiden införes en betygsskala för angrepp av typ punktfrätning och allmän korrosion.

Med hjälp av uppmätta angreppsdjup finns det möjlighet att extrapolera livslängden hos olika komponenter vid varierande material. Korrosionshärdighet och ekonomiska aspekter är viktiga faktorer för optimalt materialval.

#### 5.4.2 I Campbell-apparater

Efter exponeringen mot avloppsvatten undersöks korrosionsomfattningen. Tuberna snittas i två halvor där hänsyn tas till erosionsangreppets placering vid inloppet, så att hela angreppet kommer på ena tubhalvan. Oxiden på tubhalvan med erosionsangreppet betas bort med 10 %-ig svavelsyra. Den andra tubhalvan tvättas i varmt vatten och sköljes i etylalkohol. Den obetade tubhalvan studeras okulärt med avseende på oxid och deponeringsskiktets färg och vidhäftning, medan den betade tubhalvan undersöks i stereomikroskop för observation av följande korrosionstyper:

1. Spaltkorrosion vid inlopp
2. Spaltkorrosion vid utlopp
3. Avlagringskorrosion vid låg vattenhastighet
4. Erosionskorrosion där jetstrålen träffar tubväggen

Vid utvärdering av korrosionens omfattning användes främst relativa betygskalor.

För att beräkna kvantitativt erosionskorrosionen betraktas varje angrepp som en sfärisk kalott varvid diametern och höjden (= gropens djup) mätes med skjutmått respektive spetsmikrometer eller mikroindikator. Gropens volym beräknas enligt följande formel:

$$V = \frac{\pi \cdot H}{6} \left( \frac{3D^2}{4} + H^2 \right)$$

där H och D är gropens djup respektive diameter.

Exponeringstiden bör väljas så lång att eventuella angrepp hinner utvecklas och det blir möjligt att göra ett urval mellan materialen. Lämpliga exponeringstider är 2 och 4 månader.

Två apparater finns tillgängliga, vilket innebär att 20 prov kan köras samtidigt. Förslagsvis tas tre prov per kopparlegering och två prov av de övriga legeringarna.

#### 5.5 Jämförande prov mellan nykonstruerad testrigg med och utan köldmedium

Från början avsågs att en gemensam köldmediekrets skulle anordnas för alla de nykonstruerade testriggarna utformade som värmväxlare. I varje växlare skulle verkliga driftbetingelser simuleras genom att välja vattenhastigheter och temperaturdifferenser som motsvarade praktiska driftförhållanden. Om man följt dessa ursprungsintentioner skulle kylbehovet bli mycket stort. Av ekonomiska skäl bedömdes det därför nödvändigt att begränsa kylbehovet genom att slopa kylningen i de testriggar som skulle användas för korrosionstester. Därigenom skulle endast resterande testriggar för beläggningsundersökningar komma att kylas. Denna modifiering bör ändå ge tillförlitliga resultat. Normalt är nämligen skillnaden ca 5°C mellan köldmediet och utgående avloppsvatten. Provtubens temperatur kommer att ligga någonstans mellan vattnets och köldmediets. Denna ringa temperaturskillnad borde därför ej påverka resultaten i alltför hög grad. För att ändå verifiera denna hypotes görs jämförande prov under en fyramånadersperiod mellan två identiska testriggar.



Endast i den ena kyls provtuberna. Vattenhastigheten i tuberna väljs i båda fallen till 1,5 m/s.

Om ej tillfredsställande resultat uppnås måste programmet modifieras.

Totalt åtgår åtta extra tuber för detta försök. Övriga är medräknade i korrosionsförsöken som beskrivits i föregående avsnitt.

#### 5.6 Beläggningsundersökningar

Det föreligger risk för att mikrobiologisk påväxt och fysikalisk-kemisk avlagring av suspenderat material, korrosionsprodukter m.m. sker på värmeväxlartubernas ytor. Beläggningsarnas sammansättning, färg och tjocklek beror bl.a. på avloppsvattnets beskaffethet, temperatur och hastighet. Vidare har exponeringstiden och tubmaterialet stor betydelse för beläggningsens omfattning.

Prover av testtuberna för beläggningsundersökningarna uttas efter olika exponeringstider t.ex. efter 4, 8 och 18 månader.

Samma vattenhastigheter som vid korrosionsförsöken användes. Tre material, SS 2343, koppar-nickel 70/30 och konsthartsbelagt kolstål, testas för varje hastighet. Detta medför att nio provtuber åtgår.

På de uttagna tuberna görs en okulärgranskning och eventuell fotografering av beläggningsarna. Vidare uppmäts beläggningsarnas tjocklek. Beläggningsarna underkastas också mikroskopisk undersökning och kemisk analys avseende aktuella metaller, organisk substans eventuell förekomst av sulfider och andra intressanta komponenter.

Vid tunna beläggningsar kan det bli aktuellt att undersöka beläggningsar med röntgenfluorescens och energidispersiv röntgenanalys. Sådana undersökningar bör dock begränsas till några få utvalda prov.

Värmeövergångstalen beräknas och sammanställs även för de olika driftfallen.

#### 5.7 Försök med utloppsrör

Ursprungligen avsågs att både inloppsrör och utloppsrör i förångarens vattenkrets skulle testas. Tre olika rörmaterial skulle därvid provas med avseende på korrosion. För att inte onödigtvis införa möjliga felkällor vid de väsentligare korrosionsförsöken med de nykonstruerade testriggar-



na kommer istället motsvarande försök att göras med utloppsrör.

De tre rören kommer att vara tillverkade av galvaniserat kolstål, epoximålat kolstål respektive rostfritt stål, SS 2333.

De tre rören kommer att parallellkopplas och exponeras mot avloppsvatten under 18 månader.

Rören kommer att studeras med avseende på korrosion och beläggningar på samma sätt som angivits i avsnitten 5.4.1 och 5.6.



## 6. PROVNINGSANLÄGGNING

### 6.1 Allmänt

Provningsanläggningen kommer att placeras i en bergtunnel omedelbart vid avloppsvattnets utlopp från reningsverket. Därigenom blir rördragningarna minimala samtidigt som ingen extra byggnad erfordras för provningsanläggningen.

### 6.2 Principschema för provningsanläggning

Principschema för provningsanläggningen presenteras på bilaga 6.

Som synes består anläggningen i princip av tre kretsar för avloppsvatten. Anläggningen för belägningsundersökningarna har uppdelats på två kretsar på grund av den stora skillnaden i tryckfall över riggarna med vattenhastighet 5 m/s jämfört med övriga.

### 6.3 Testriggarnas utformning

För korrosionsprovning konstrueras tre identiska testriggar utformade som värmeväxlare. Skisser till en prototyp har utarbetats. Denna utformas som en tubpanna med 500 mm långa provtuber. Maximalt kan 48 provtuber insättas samtidigt. Mantel och plåtar i riggen konstrueras av syrafast stål SS 2343. Inuti tuberna leds avloppsvattnet och omkring tuberna kan man låta ett köldmedium cirkulera.

En fjärde testrigg, identisk med ovan nämnda, kommer att användas för rengöringsprov, prov med kompletterande vattenbehandling samt jämförande prov.

Belägningsproblematiken och värmeövergångstal studeras på nio identiska riggar. Dessa utformas som dubbelmantlade rör. I det inre röret, provtuben, leds avloppsvattnet och köldmedium får cirkulera utvändigt. Det yttre röret konstrueras av syrafast stål SS 2343.

### 6.4 Köldmediekretsens utformning

Köldmediekretsen består av kylaggregat, mellantank, rör, cirkulationspumpar samt reglerutrustning.



## 7. TIDPLAN

En grov tidplan för huvudprojektet redovisas i nedanstående uppställning.

Aktivitet	MÅNAD									
	1	3	6	9	12	15	18	21	24	
Upphandling av utrustning, montering	-----									
Jämförande försök med och utan köldmedium			-----							
Korrosionsförsök i nykonstruerade riggar			-----							
Parallellförsök med Campbell-apparater			-----							
Beläggingsförsök i nykonstruerade riggar			-----							
Försök med tvättlösning				-----						
Försök med mekanisk rengöring						-----				
Försök med kompletterande rening							-----			
Försök med utloppsrör			-----							
Rapporter									-----	





## 8. KOSTNADER

Kostnaderna för huvudprojektet, i dagens prisnivå, fördelas enligt följande.

Aktiviteter	Kostnad Kr
1. Testanläggning exklusive Campbell-utrustning	477 000
2. Campbell-utrustning	18 000
3. Jämförande försök med och utan köldmedium	21 000
4. Undersökning av korrosions- provtuber från nya riggar	132 000
5. Undersökning av korrosions- provtuber från Campbell-apparater	60 000
6. Undersökning av tuber för beläggningsprovning	30 000
7. Försök med tvättlösning och mekanisk rengöring	34 000
8. Försök med kompletterande rening	68 000
9. Försök med utloppsrör	4 000
10. Vattenanalyser	56 000
11. Utvärdering, rapporter	310 000
12. Energikostnad, frakt, kopiering etc.	120 000
	<hr/>
Totalt	1 330 000



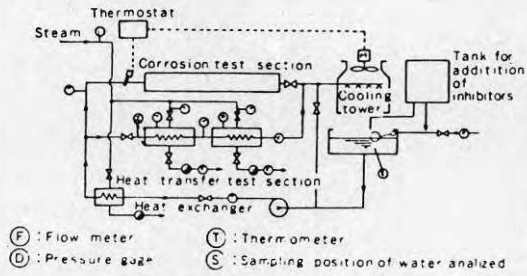
JAPANSK TESTANLÄGGNING

Fig. 1 Flow chart of equipment.

Flödesschema

	Feed water	Circulating test water
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	83~235	528~3432
Cl <sup>-</sup> (ppm)	69~110	407~450
ammoniacal nitrogen (ppm)	2.8~7.5	1.2~7.6
COD (ppm)	8~33	29~55
pH	6.8~6.9	7.4~8.4
conductivity (μg/cm)	513~1242	2364~7071

Vattenanalyser



VBB

Bil 2

E3066  
Svarthålsforsen  
Korrosion i värmepumpar

Frågeformulär avseende värmepumpar  
i kommunala avloppsreningsverk

Plats: .....

Togs i drift år: .....

Planerat idrifttagande, år: .....

Fabrikat på värmepump: .....

Antal värmepumpar: .....

Effekt per pump: .....

Förångartyp: .....

Material i tuber: .....

Några korrosions- och/eller andra problem med tubmaterialet,  
i så fall vilka: .....

.....

.....

.....

Rengöringsutrustning för tuber: .....

.....

Finns vattenanalyser på avloppsvattnet som används som  
värmekälla: .....

Finns reningsanordningar före värmepumpar, i så fall  
vad: .....

.....

Har korrosionsförsök utförts innan tubmaterialet valdes,  
i så fall vad: .....





BILAGA 3. Redovisning av enkätsvar/telefonuppgifter. Installationsdata m.m.

Förord till tabell 1

Numreringen är densamma som i bilaga 4.

Reningsgraden anger avloppsvattnets reningsgrad. I motsvarande kolumn betecknar O, B, K och F orenat, biologiskt renat, kemiskt renat respektive filtrerat avloppsvatten.

Effekten kan givetvis variera för en anläggning under olika driftfall. Här anges endast det värde som erhållits.

I vissa anläggningar finns en mellankrets mellan förångaren och en värmväxlare mot avloppsvatten. Denna mellankrets avses här.

I kolumn "Förångartyp" betecknar

- A Tubpanna med avloppsvatten utanpå tuberna
- B Tubpanna med avloppsvatten inuti tuberna
- C Plattvärmväxlare mot avlopp i mellankrets
- D Strilförångare o.d.
- E Spiralvärmväxlare
- F Plattförångare
- G Annan eller osäker typ

I sista kolumnen, om mellankrets finns, anges materialet i värmväxlaren och ej i tuben.

De olika leverantörerna är ej angivna efter någon urvalsprincip.

Tabell 1. Redovisning av enkätsvar/telefonuppgifter beträffande svenska värmepumpinstalleringar med kommunalt avloppsvatten som värmekälla. Installationsdata m.m.

Ort	Idrift- tagande år	Renings- grad	Leve- rantör	Effekt kW	Mellan- krets	Förång- artyp	Tub- mtrl
1. Skurup	1980	O	Stal Ref	1x325	Nej	B	Cu
2. Sundsvall Tivoliverket	1979	B	Stal Ref	2x460	Nej	A	Cu
3. Sundsvall Vattenfalls kontor	1980	B	Stal Ref	1x220	Ja	C	2343
4. Boden Svedjan- verket	1980	B,K	Stal Ref	1x156	Nej	A	Cu
5. Gällstad Renings- verket	1981	B,K,F	Stal Ref	1x46	Nej	A	Cu
6. Tvååker Renings- verket	1981	B,K	Stal Ref	1x60	Nej	A	Cu
7. Gislaved Renings- verket	1980	B,K	Stal Ref	1x152	Nej	A	2333
8. Alvesta Renings- verket	1981	B,K,F	Stal Ref	1x104	Nej	A	2333
9. Gällivare Kavaheden	1981	B,K	Stal Ref	1x280 1x185	Ja	C	AISI 316
10. Kumla Renings- verket	1981	B,K	Stal Ref	1x110	Nej	A	2343
11. Sala Renings- verket	1981	B,K	Stal Ref	1x3200	Nej	D	VFZ kol- stål
12. Göteborg Ryaverket	1982	B	Stal Ref	1x1000	Nej	A	Cu
13. Göteborg Kodammarna	1981	O	Stal Ref	1x65	Nej	B	1233

## Bil. 3:3

Ort	Idrift- tagande år	Renings- grad	Värme- pump-	Effekt kW	Mellan- krets	Förång- artyp	Tub- mtrl
14. Borås Lasarettet	..	..	Stal Ref	1x200	..	..	..
15. Hörby Lyby	1981	B,K,F	Stal Ref	1x148	Ja	C	..
16. Eslöv Ellinge	1982	B,K	Stal Ref	2x247	Ja	E	..
17. Björneborg Renings- verket	Hösten 1982	B,K	Stal Ref	1x16	Ja	C	2343
18. Kil Renings- verket	Hösten 1982	B,K,F	Stal Ref	1x260	Nej	A	2333
19. Säffle Renings- verket	1982	B	Stal Ref	1x176	Nej	A	2333
20. Visby	1983	B,K blandat med havs- vatten	Stal Ref	2x5000	Nej	F	Monit SMO 254
21. Bollnäs Häggesta- verket	1982	B,K	Stal Ref	1x487	Nej	A	Cu
22. Älmhult Renings- verket	Hösten 1982	B,K,F	Stal Ref	1x373	..	A	Cu
23. Lidköping Renings- verket	Hösten 1982	B,K	Stal Ref	1x127	Nej	A	Cu
24. Lund	1983	..	Stal Ref	1x12000	Nej	F	
25. Göteborg Ryaverket	1983	B	Göta- verken	1x27000	Nej	B	Cu Ni 90/10
26. Västerås Renings- verket	1982	B,K	Stal- Laval	1x13000	Nej	B	Amira- litets- mässing
27. Uppsala Renings- verket	Hösten 1982	B,K	Stal- Laval	3x13000	Nej	B	Amira- litets- mässing

## Bil. 3:4

Ort	Idrift- tagande år	Renings- grad	Värme- pump-	Effekt kW	Mellan- krets	Förång- artyp	Tub- mtrl
28. Falun Främby	Hösten 1982	B	TETAB	1x1400	Nej	D	2343
29. Leksand Fornby	Vintern 1982	B,K	K.V.A.B	2x21	Nej	G	Cu+ inv. beh.
30. Flen Renings- verket	Prov- drift pågår	..	K.V.A.B.	2x17.5	Nej	G	Cu+ inv. beh.
31. Hammarö	1982	..	IVTE	1x215	Ja	C	2343
32. Tranås	1982	..	IVTE	1x116	Ja	C	2343
33. Delsbo	1982	..	IVTE	2x15	Ja	C	2343
34. Nordmaling	Hösten 1982	..	IVTE	1x100	Ja	C	2343
35. Stockholm Louden	Hösten 1982	B,K	Ram- ström	2x2700	Nej	B	Cu Ni 90/10
36. Karlshamn Renings- verket	Hösten 1982	B,K	Ram- ström	1x1910	Nej	B	Cu Ni 90/10
37. Nynäshamn Renings- verket	1982	Enbart mekanisk	Johnson Engi- neering	1x124	Ja	G	2333
38. Landskrona Renings- verket	1980	B,K	Cold Air	3x26	Nej	G Avlopps- vatten utanpå tuber	Cu- be- lagt stål

Stal Ref                      Stal Refrigeration AB, 601 87 NORRKÖPING,  
tel. 011/13 98 00

Götaverken                      Götaverken Motor AB, Box 8843, 402 71 GÖTEBORG,  
tel. 031/22 80 00

Stal-Laval                      Stal-Laval Turbin AB, 612 20 FINSPÅNG,  
tel. 0122/810 00

## Bil 3:5

TETAB	Thermia Energiteknik AB, 181 81 LIDINGÖ, tel. 08/731 10 11
K.V.A.B.	K.V.A.B. Kyl & Värmepumpsteknik AB, Box 1135, 122 22 ENSKEDE, tel. 08/39 02 80
IVTE	Industriell Värmeteknik AB, Box 117, 573 01 TRANÅS, tel. 0140/170 80
Ramström	Fr. Ramström AB, Box 20503, 162 21 BROMMA, tel. 08/730 03 30
Johnson Engineering	Axel Johnson Engineering AB, Box 1004, 149 01 NYNÄSHAMN, tel. 0752/142 00
Cold Air	Cold Air P Köiv AB, Box 19, 240 21 LÖDDEKÖPINGE, tel. 046/70 60 05





BILAGA 4. Redovisning av enkätsvar/telefonuppgifter. Drifterfarenheter m.m.

Förord till tabell 2

Numreringen är densamma som i bilaga 3.

De olika leverantörerna är ej angivna efter någon urvalsprincip.

Tabell 2. Redovisning av enkätsvar/telefonuppgifter beträffande svenska värmepumpanläggningar med kommunalt avloppsvatten som värmekälla. Drifterfarenheter m.m.

Ort	Korrosionsproblem m.m.	Rengöringsutrustning för tuber	Reningsanordning före värmepump	Korrosionsförsök
1. Skurup	Nej	Borstar	Spaltsil	Ja
2. Sundsvall Tivoliverket	Nöthål på båda förångarna 1981. Tre knapphålsstora hål i manteln	Uppvärt alkaliskt rengöringsmedel	Självrensande filter	Liten provanläggning kördes 6 mån 1978-79
3. Sundsvall Vattenfalls kontor	Inga korrosionsproblem men viss igensättning av plattvärmväxlare då filtret satts igen/havererat	Uppvärt alkaliskt rengöringsmedel	Självrensande filter	Nej
4. Boden Svedjanverket	Viss igensättning i förångaren	Utrustning för pumpning av alkalisk lösning genom förångarna	Självrensande trycksil	Nej
5. Gällstad Reningsverket	Nej	Nej	Nej (Reningsverkets slutsteg är sandfilter)	Nej
6. Tvååker Reningsverket	Nej	Utrustning för pumpning av alkalisk lösning genom förångarna	Silfilter	Nej

Bil 4:3

Ort	Korrosions- problem m.m.	Rengörings- utrustning för tuber	Renings- anordning före värme- pump	Korrosions- försök
7. Gislaved Renings- verket	Nej	Nej	Korgsil	Nej
8. Alvesta Renings- verket	Nej	Nej	Nej	Nej
9. Gällivare Renings- verket	Inga korro- sionsproblem men igen- sättningar i plattvärme- växlare	.	Automatfilter	Nej
10. Kumla Renings- verket	Dykrör av kolstål för termometrar korroderat. Hål i vissa fall. Prob- lem med tryck- sil	Finns an- slutning för renspol- ning	Trycksil	Nej
11. Sala Renings- verket	Nej	Möjlighet till inter- mittent cirkulation av tvättlös- ning alt. högtrycksspol- ning förutses	Silnät	Nej
12. Göteborg Ryaverket	Nej	Utrustning för backspol- ning	Sil	Nej
13. Göteborg Kodammarna	Nej	Borstviska	Rensgaller	Nej
14. Borås Lasarettet	..	..	..	..
15. Hörby Lyby	Nej	.	Sil	Nej
16. Eslöv Ellinge	.	.	Nej	Nej

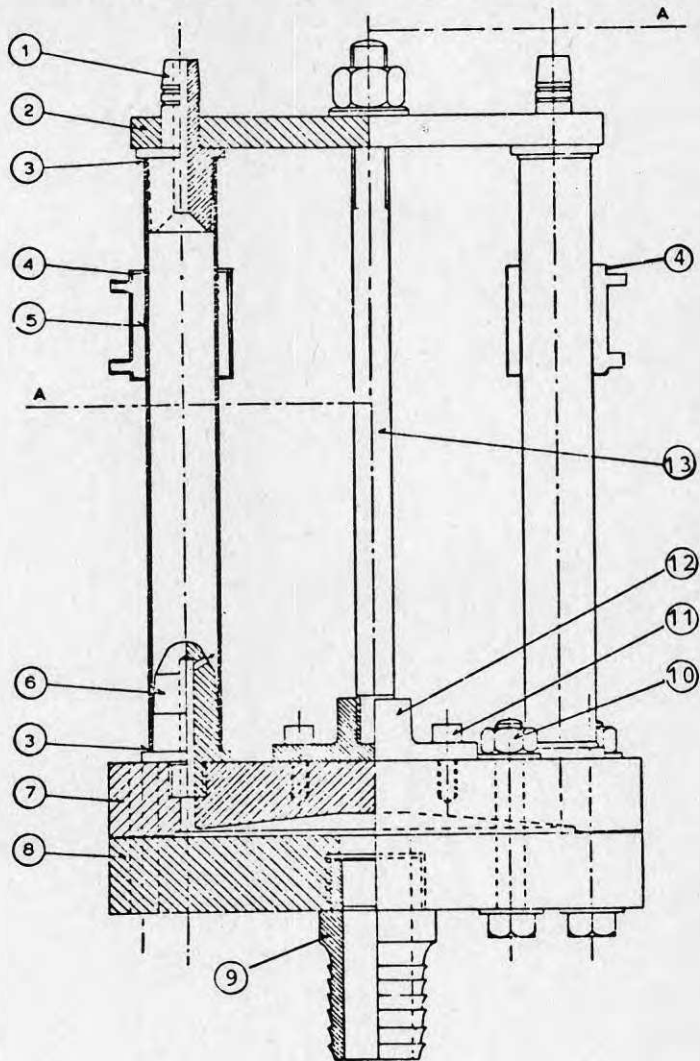
## Bil 4:4

Ort	Korrosions- problem m.m.	Rengörings- utrustning för tuber	Renings- anordning före värme- pump	Korrosions- försök
17. Björneborg Renings- verket	.	.	Sil	Nej
18. Kil Renings- verket	.	Utrustning för rundpump- ning av alka- lisk lösning	Korgsil	Nej
19. Säffle Renings- verket	.	Utrustning för rundpump- ning av alka- lisk lösning	Automatfilter	Nej
20. Visby	.	.	..	Nej
21. Bollnäs Häggesta- verket	Nej	..	Filter- sil	..
22. Älmhult Renings- verket	.	Nej	Sil	Nej
23. Lidköping Renings- verket	.	..	Sil	Nej
24. Lund	.	..	..	..
25. Göteborg Ryaverket	.	Troligen	.	Nej
26. Västerås Renings- verket	.	Svampgummi- kulor	Finmaskigt galler	Ja
27. Uppsala Renings- verket	.	Svampgummi- kulor	Finmaskigt galler	Ja
28. Falun Främby	.	Högtrycks- spruta	..	Ej i avlopps- vatten
29. Leksand Fornby	.	..	Nej	..

## Bil 4:5

Ort	Korrosionsproblem m.m.	Rengöringsutrustning för tuber	Reningsanordning före värmepump	Korrosionsförsök
30. Flen Reningsverket	Provdrift. Igensättning av pumpar.	Anslutning för inkoppling av tryckvatten för backspolning	Pumpsil	Nej
31. Hammarö	..	Nej	Självrensande sil	Nej
32. Tranås	..	Nej	Manuell sil	Nej
33. Delsbo	..	Nej	Manuell sil	Nej
34. Nordmaling	.	Nej	Nej	Nej
35. Stockholm Loudden	.	Borstviska	Plansil	Ja
36. Karlshamn Reningsverket	.	..	..	..
37. Nynäshamn Reningsverket	Nej	Borstviska	Nej	Nej
38. Landskrona Reningsverket	Inga korrosionsproblem. Svårt att rengöra tuber med avloppsvatten utanpå	Försök pågår	Filter	Nej





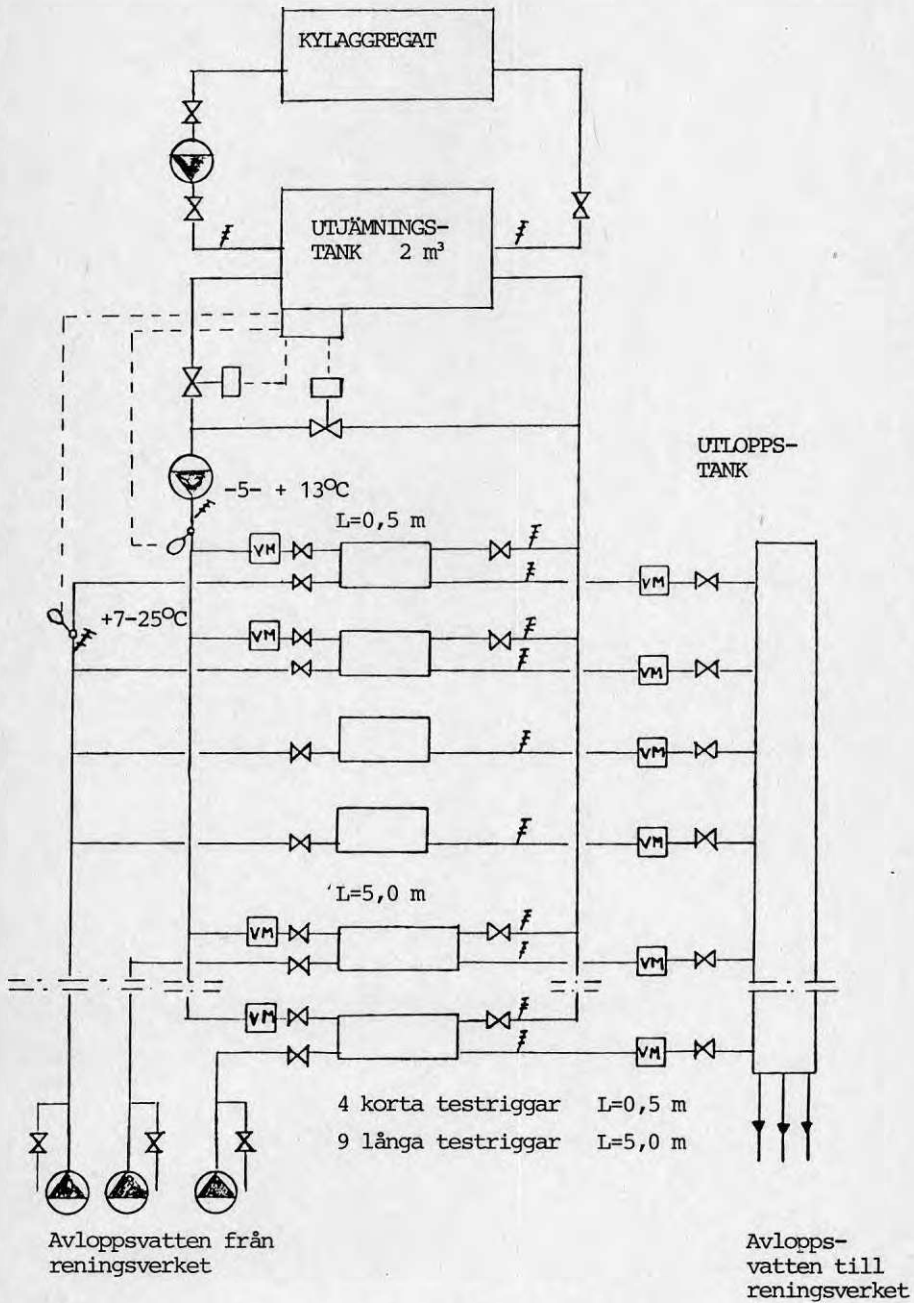
**Figur B.2** Principskiss för Campbell-apparat.

1. Utloppshylsa av plast
2. Stödplåt av mässing.
3. O-ringstättning.
4. Oljemantel.
5. Provtub.
6. Inloppshylsa av plast
- 7,8. Fördelningskärl.
9. Slanganslutning av PVC.
10. Mutter för fastsättning av fördelningskärl.
- 11,12,  
13. Stöd för stödplåten (2).





PRINCIPSCHEMA FÖR PROVNINGSANLÄGGNINGAR



Anm. Linje med Campbell-apparat ej visad



## LITTERATUR

Sato, Shiro et al, 1980. Corrosion and Fouling of Various Heat Exchanger Tubes in Flowing Treated Sewage. Sumitomo Light Net. Tech. Rep. April 1980, Volume 21, p. 1-11. Japan.

Andersson, B, Backman A, Wahlberg, H. 1980. Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Förprojektering i Falun. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport 42, Stockholm.

Lindahl, A, Stenström, B, Öst, Staffan, 1980. Värmepump för utvinning av havsvattenvärme. Förstudie beträffande havsvattenväxlare. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport 123, Stockholm.

Gefwert, M, Wahlberg, H, 1981, Värmepumpsystem med värmeåtervinning ur avloppsvatten i Vaxholm. Förprojektering. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport 36, Stockholm.

Granstrand, N, Lundström, H, Pettersson, A, 1981. Förstudie vid Kodammarnas pumpstation i Göteborg. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport 37, Stockholm.

Sick, H 1979. Kupferwerkstoffe für Verdampfer in Wasser/Wasser Wärmepumpen. HLH (Zeitung für Heizung, Lüftung, Klimatechnik, Haustechnik, 3, mars, p 94-98.

Pleva, J, 1977. Korrosion i pumpar och värmväxlare i ång- och kärnkraftsanläggningar - praktiska erfarenheter (Korrosionsinstitutet). Sammanfattning Ki 19:77.

Nylander, P I, 1982, Sala avloppsvärmepump 3.2 MW värme - Mätningar. Drifterfarenheter. Rapport 1 (Statens Vattenfallsverk). Stockholm.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
820338-2 från Statens råd för byggnadsforskning  
till AB Svarthålsforsen, Stockholm.**

**R43: 1983**

**ISBN 91-540-3920-7**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700743**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**Cirka pris: 25 kr exkl moms**