



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.



## Värmeåtervinning ur avloppsvatten från Blackebergs sjukhus

### Teknisk/Ekonomisk förstudie

**Anders Hedlund**

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| INSTITUTET FÖR<br>BYGGDOKUMENTATION |         |
| Accnr                               | 80-0772 |
| Plac                                | Ser     |

*K/10*

Byggforskningsrådet

*Ser.*

R47:1980

VÄRMEATERVINNING UR AVLOPPSVATTEN FRÅN  
BLACKEBERGS SJUKHUS

Teknisk/Ekonomisk förstudie

Anders Hedlund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 781277-1  
från Statens råd för byggnadsforskning till L.B. Larsson  
& Co Konsulterande Ingenjörbyrå AB, Stockholm.

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

R47:1980

ISBN 91-540-3230-X  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 051813

## INNEHÅLL

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INLEDNING .....  | 5  |
| 2     | BESKRIVNING AV BLACKEBERGS SJUKHUS ...                     | 7  |
| 2.1   | Sanitär utrustning och dess vatten-<br>förbrukning .....   | 7  |
| 2.2   | Varmvattenförbrukning .....                                | 10 |
| 2.3   | Varmvattenförbrukning efter utbyggnad                      | 11 |
| 3     | MÄTNINGAR PÅ AVLOPPSFLÖDET .....                           | 15 |
| 3.1   | Mätmetoder .....   | 15 |
| 3.1.1 | Temperaturmätinstrument .....                              | 15 |
| 3.1.2 | Instrument för flödesmätningar .....                       | 16 |
| 3.2   | Mätresultat .....  | 17 |
| 3.2.1 | Felkalkyl .....  | 21 |
| 4     | UTFÖRANDE AV VÄRMEÅTERVINNINGS-<br>ANLÄGGNINGEN .....      | 23 |
| 4.1   | Principkoppling .....                                      | 23 |
| 4.2   | Beskrivning av anläggningen och dess<br>funktion .....     | 25 |
| 4.2.1 | Situationsplan .....                                       | 25 |
| 4.2.2 | Funktionsbeskrivning .....                                 | 25 |
| 4.2.3 | Värmeväxlaren .....  | 28 |
| 5     | DIMENSIONERING .....                                       | 33 |
| 5.1   | Energikostnader .....                                      | 33 |
| 5.2   | Avskrivningsregler .....                                   | 34 |
| 5.3   | Dimensionering och kostnader .....                         | 35 |
| 5.3.1 | Pumpgroppen .....  | 35 |
| 5.3.2 | Avloppsvärmeväxlare .....                                  | 35 |
| 5.3.3 | Kallvattenackumulatorn .....                               | 39 |
| 5.3.4 | Värmepumpen .....  | 40 |
| 5.3.5 | Varmvattenackumulatorn .....                               | 41 |
| 5.3.6 | Kostnader för byggnaden .....                              | 41 |
| 5.3.7 | Övriga kostnader .....                                     | 42 |
| 5.3.8 | Sammanställning investerings och<br>kapitalkostnader ..... | 43 |
| 5.4   | Driftskostnader .....                                      | 44 |
| 5.5   | Återvunnen energimängd .....                               | 44 |
| 5.6   | Årlig besparing .....                                      | 44 |
| 6     | SAMMANFATTNING .....                                       | 45 |



## 1 INLEDNING

Energiinnehållet i avloppsvatten är beroende av flöde och möjlig nedkylning av avloppsvattnet. Avloppsflödets temperatur och storlek är främst beroende av tappvarmvattnets temperatur och mängd.

Från bostäder erhålles avloppstemperaturer av ca 20 °C och med kraftigt varierande flöden, medan man från sjukhus, badhus och industrier har mer konstanta avloppsflöden med högre temperatur.

Möjligheterna att återvinna värmeenergin ur avloppsvatten ökas då avloppsflödets variationer är små och dess temperatur är hög eftersom återvinningsanläggningens storlek minskar vid stigande avloppstemperatur och minskad flödesvariation ger mindre ackumuleringsbehov.

På sjukhus är flödesvariationerna under dygnet relativt stora, lägsta timmedelvärdet är ca 1/10 av det maximala timmedelvärdet, medan temperaturen är mera konstant och med en dygnsmedeltemperatur av ca 25 °C och en variation av timmedelvärden från 30 °C till 15 °C.

Avloppsvattnet från badhus har relativt konstant temperatur och flöde.

Återvinning av värmeenergi ur avloppsvattnet från badhus - specifikt från Strängnäs badhus - var en av de utlösande faktorerna för ett utvecklingsarbete vid Skandianvisk Installationssamordning AB med målsättningen att konstruera en avloppsvärmeväxlare.

Arbetet startade med stöd från Statens Råd för byggnadsforskning (BFR) med prov på en skalmodell. Resultat från dessa prov föreligger som en byggforskningsrapport R95:1979.

I samband med om- och tillbyggnad av Blackebergs sjukhus väcktes intresset för att söka återvinna värmeenergi ur sjukhusavloppet. Tillsammans med Stockholms Läns Landsting Hälso- och Sjukvårdsnämnden utarbetades ett trepunktsprogram enligt följande:

1. De tekniska och ekonomiska möjligheterna att återvinna värmeenergi ur avloppet från Blackebergs sjukhus utreds av L.B. Larsson & Co med ekonomiskt stöd från byggforskningsrådet (föreliggande utredning är en del av denna punkt).
2. Hälso- och Sjukvårdsnämnden söker därefter - om punkt 1 visar praktiskt genomförbarhet - medel hos byggforskningsrådet att utföra anläggningen



3. Medel söks hos byggforskningsrådet för mätning och utvärdering av driften.

Som en annan del i detta program har ytterligare en skalmodell av en avloppsvärmeväxlare tillverkats och prov påbörjats, även detta med stöd från BFR.



## 2 BESKRIVNING AV BLACKEBERGS SJUKHUS

Blackebergs sjukhus är ett långvårdssjukhus med för närvarande 376 vårdplatser samlade i ett byggnadskomplex. På sjukhusområdet finns också ca 130 vårdplatser för lätt psykiskt sjuka. Dessa vårdplatser är fördelade på ett antal mindre byggnader och planeras ej ingå i avloppsåtervinningsanläggningen.

Långvårdskomplexet visas i bild 2.1 där även de nya tillbyggnaderna 30, 31 och 32 kan ses. Del 01, 28 och 31 är vårdbyggnader, där den nya delen 31 inrymmer 144 st vårdplatser. Det totala antalet vårdplatser efter utbyggnaden blir då 520. Del 27 innehåller kök, matsal och bad med bl a simbassäng. Husdel 30 innehåller entré, bibliotek och cafeteria medan del 32 är planerad som terapiavdelning.

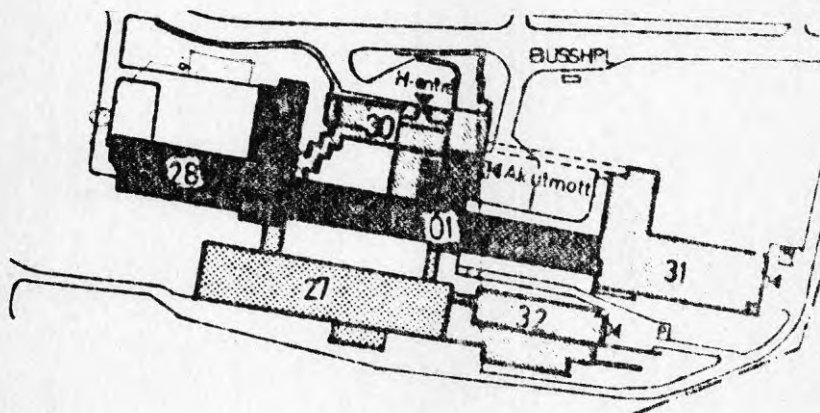


Bild 2.1 Plan över långvårdskomplexet

### 2.1 Sanitär utrustning och dess vattenförbrukning

Det som främst påverkar avloppsflödet och dess temperatur är spoldesinfektionsapparaterna. Dessa är fördelade enligt tabell 2.1.

TAB. 2.1 Antal spoldesinfektionsapparater och vårdplatser

| Del | Spoldesinfektionsapparater | Vårdplatser | Vårdplatser per spold. |
|-----|----------------------------|-------------|------------------------|
| 01  | 20                         | 264         | 13.5                   |
| 28  | 32                         | 112         | 3.5                    |
| 31  | 36                         | 144         | 4.0                    |

Spoldesinfektionsapparaternas vattenförbrukning fördelar sig enligt tabell 2.2. Värdena är ungefärliga då vattentrycket före spoldesinfektionsapparaterna varierar bl a beroende på apparaternas placering i höjddled.

TAB. 2.2 Spoldesinfektionsapparaternas vattenförbrukning

| Placering<br>husdel | Kallvatten<br>5°C | Hetvatten<br>85°C | Totalt     |
|---------------------|-------------------|-------------------|------------|
| 01,28               | 23 l/spoln        | 40 l/spoln        | 63 l/spoln |
| 31                  | 30 l/spoln        | 25 l/spoln        | 55 l/spoln |

Andra stora vattenförbrukare är bad och duschar. Enligt uppgifter från personalen duschas ca 60 patienter per dag, dels mellan kl. 7 och 11, dels mellan kl. 12.30 - 15.15. Varje dusch tar ca 10 minuter vilket ger en förbrukning av vatten enligt tabell 2.3.

Antalet badkarsfyllningar per dag är 10-12 st, vardera bestående av ca 600 l och med en temperatur på 36°C. Det finns dessutom ett terapibadkar, en sk Hubbard tank med två fyllningar på förmiddagen och två på eftermiddagen med en temperatur av 36°C och en mängd av ca 1500 l vatten/gång. Köket förbrukar vatten för matlagning, rengöring av kokkärl med huvudsakligast av diskmaskinen. Diskmaskinen används hela dagen från 9,30 - 18.30 men med maximibelastning främst 2 timmar efter 12.45 och ca 1.5 timme efter 16.45.

En sammanställning av dessa installationers vattenförbrukning ges i tabell 2.3.

TAB. 2.3 Diverse installationers vattenförbrukning

| Installation             | Vattenförbrukning per dygn, lit. |             | tot          | fördeln. % |           |
|--------------------------|----------------------------------|-------------|--------------|------------|-----------|
|                          | vv(45°C) <sup>b)</sup>           | kv(5°C)     |              | f m        | e m       |
| Dusch                    | 5600                             | 1600        | 7200         | 60         | 40        |
| Badkar                   | 4600                             | 1400        | 6000         | 50         | 50        |
| Hubbard tank             | 3100                             | 2900        | 6000         | 50         | 50        |
| Diskmaskin <sup>a)</sup> | 5000                             |             | 5000         | 30         | 70        |
| Fördusch för diskmaskin  | 1900                             | 600         | 2500         | 30         | 70        |
| <b>Totalt</b>            | <b>20200</b>                     | <b>6500</b> | <b>26700</b> | <b>47</b>  | <b>53</b> |

a) Diskmaskinen matades tidigare med 85° vatten. En nyinstallerad maskin matas med varmvatten som sedan eftervärms elektriskt i diskmaskinen.

b) Aktuell varmvattentemperatur

En uppfattning av vattenförbrukningen för spoldesinfektionsapparaterna fås av mätningar på tryckstegrat vatten i husdel 01. Vattnet till spoldesinfektionsapparaterna tryckstegras för att dessa skall fungera tillfredsställande. I bild 2.2 visas vattenförbrukningar mellan kl. 8.15 - 13.30.

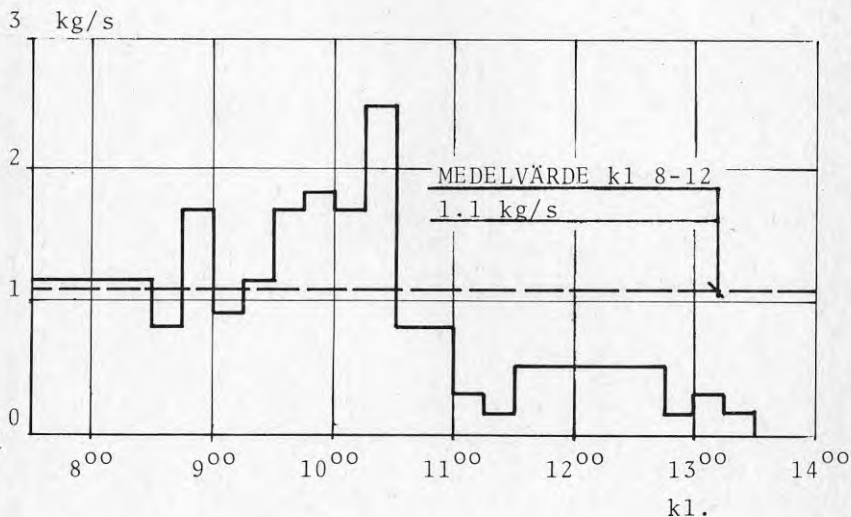


Bild 2.2 Vattenförbrukning för spoldesinfektionsapparater i husdel 01.

Av tabell 2.1 framgår att i husdel 01 antalet vårdplatser per spoldesinfektionsapparat är 13,5 medan för hus 28 gäller 3.5 vårdplatser. Om antalet spolningar antas vara huvudsakligen beroende av antalet patienter fås en medelförbrukning för husdel 01 av 0,25 l/pat/min. Totalt för del 28 och 01 ger detta ca 80 l/min eller mellan kl. 8 och 12 20000 l.

En jämförelse mellan uppmätt avloppsflöde och beräknad vattenförbrukning ses i tabell 2.4.

TAB. 2.4 Jämförelse mellan beräknad vattenförbrukning och uppmätt avloppsflöde kl. 8-12

|   | Vattenmängd/liter |
|---|-------------------|
| Vattenförbrukning -<br>bad, kök                   | 12500             |
| Vattenförbrukning spol-<br>desinfektionsapparater | 20000             |
| Andra förbrukare                                  | 20000             |
| Avloppsflöde                                      | 52500             |

I punkten "Andra förbrukare" ingår toaletter, tvättstätt, avdelningskök o dyl.

## 2.2 Varmvattenförbrukning

Om den beräknade vattenförbrukningen delas upp i kallvatten, respektive varmvatten och hetvarmvatten (85°C) erhålles tabell 2.5.

TAB. 2.5 Varmvatten och hetvarmvattenförbrukning kl. 8-12

|  | Vattenmängd, l | Energimängd<br>kWh<br>över +8°C |
|--|----------------|---------------------------------|
| Varmvattenförbrukare<br>(45°C)         | 7800           | 340                             |
| Diskmaskin (85°C)                      | 1500           | 130                             |
| Spoldesinfektionsappa-<br>rater (85°C) | 11000          | 990                             |
| Andra förbrukare (V.V 45°C)            | 5000           | 215                             |
| Värmeförluster från av-<br>loppsnätet  |                | 150                             |
| Inkommande kallvatten (+3°C)           |                | -160                            |
| Avloppsvatten                          |                | 1335                            |

Andra förbrukare erhålles som en restpost och antas fördela sig som 5000 l varmvatten och 15000 l kallvatten, d.v.s. medeltemperaturen är antagen till ca 14 °C vilket beror på den sammansättning som denna post antas ha, toaletter, tvättställ, handdisk o.s.v.

### 2.3 Varmvattenförbrukning efter utbyggnad

Sjukhuset byggs ut med en vårdcell (31), en terapidel (32) och en entrédel (30). I den nya vårdcellen finns 144 vårdplatser d.v.s. en ökning av antalet vårdplatser med ca 40 % till 520 vårdplatser.

Ökningen av vattenförbrukningen antas vara proportionell mot ökningen av antalet vårdplatser medan ökningen av maxflödena är något mindre p g a sammanlagringseffekter.

Tidigare uppställningar har gällt främst mellan kl. 8 till kl. 12 eftersom mätningar på tryckstegrat vatten för spoldesinfektionsapparater har utförts under den tid då de huvudsakligen används. En beräkning av vattenförbrukningen under hela dygnet måste baseras på vissa antaganden med de uppmätta avloppsflödena som grund. I bild 2.3 visas mätningar av avloppsflödet under ett helt dygn. I bilden är dessutom inlagt från tabell 2.3 och 2.4 beräknad vattenförbrukning mellan kl. 8 och kl. 16 samt en antagen förbrukning resten av dygnet vad gäller andra förbrukare är spoldesinfektionsapparaterna.

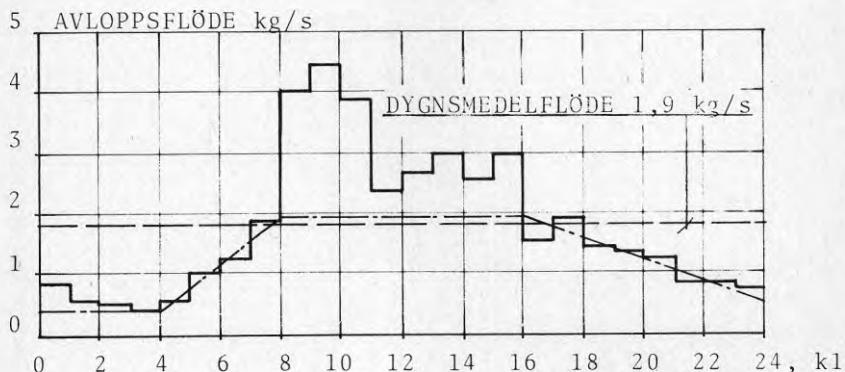


Bild 2.3 Uppmätt avloppsflöde samt beräknad och antagen vattenförbrukning exkl. spoldesinfektionsapparater markerad med -.-.-.-

De ytor som ligger över den streckprickade linjen representerar vattenförbrukningen för spoldesinfektionsapparaterna. En utvärdering av bild 2.3 visas i tabell 2.6.

TAB. 2.6 Vattenförbrukning under hela dygnet samt per vårdplats del 01 och 28

|                | l/h  | l/vårdpl, h |
|----------------|------|-------------|
| Vatten exkl.   |      |             |
| Spold. kl. 0-4 | 1800 | 4,8         |
| 4-8            | 4500 | 12,0        |
| 8-16           | 7200 | 19,1        |
| 16-24          | 4500 | 12,0        |
| 0-24           | 5000 | 13,3        |
| Spold.         |      |             |
| 8-11           | 7700 | 20,0        |
| 11-16          | 2700 | 7,1         |
| 8-16           | 4800 | 12,8        |

Vid utbyggnaden ökas patientantalet med 40 % vilket torde öka medelvärdena i tabell 2.6 med lika mycket. Maximalvärdena som uppnås under korta tidsperioder, mindre än 1 timme, ökar inte lika mycket p g a sammanlagringseffekter. Dessa maximalvärden är dock inte intressanta vad beträffar avloppsvärmeväxlaranläggningen då denna innehåller ackumuleringsvolymen både på avloppssidan och varmvattenberedarsidan.

En kurva motsvarande bild 2.3 skulle efter utbyggnaden bli enligt bild 2.4.

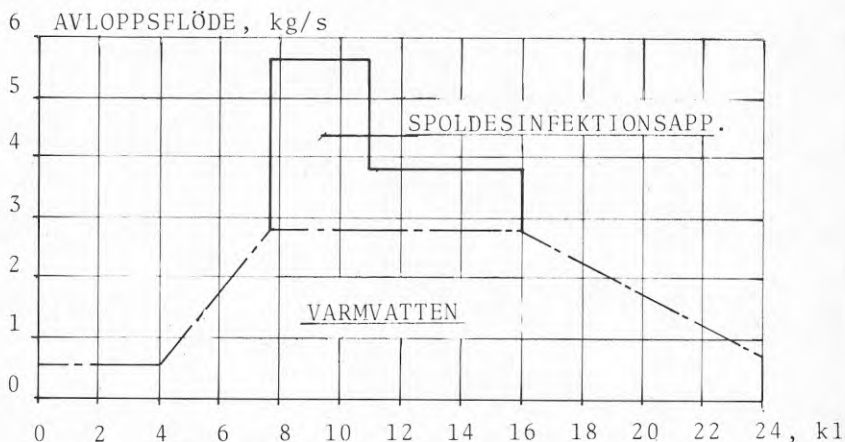


Bild 2.4 Avloppsflödet under dygnet efter utbyggnaden.



Omsatt i varmvatten- och hetvarmvattenbehov skulle bild 2.4 och mätningar av avloppstemperaturen enl. 3.2 ge resultat enligt tabell 2.7

TAB. 2.7 Varm- och hetvarmvattenbehov efter utbyggnad

| k1     | vv 8-55 °C<br>kWh | hvv 8-55 °C<br>kWh | hvv 55-95 °C<br>kWh |
|--------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 0-4    | 100               |                    |                     |
| 4-8    | 430               |                    |                     |
| 8-11   | 490               | 890                | 750                 |
| 11-16  | 820               | 520                | 440                 |
| 16-24  | 300               |                    |                     |
| 0-24   | 2140              | 1410               | 1190                |
| Totalt |                   |                    | 4740                |

- 1) hvv värmes med fjärrvärme alt. återvunnen avloppsenergi till 55 °C för att sedan eftervärmas med el till 95 °C.





### 3. MÄTNINGAR PÅ AVLOPPSFLÖDET

#### 3.1 Mätmetoder

Mätningarna har utförts vid 2 tillfällen och på olika sätt. Första mätningen skedde i jan-feb 1979 under 3 dygn. Avloppstemperaturen mättes med termoelement och registrerades kontinuerligt på skrivare. Avloppsflödet mättes indirekt genom avläsningar av kallvattenmätare. Vid det andra mättillfället 19-26 mars 1979 registrerades temperaturen på samma sätt medan flödet mättes direkt i avloppsledningen med en avloppsmätare från Deberkontroll AB Solna.

##### 3.1.1 Temperaturmätinstrument

Temperaturmätningarna har utförts med termoelement med lödstället neddoppat i avloppsvattnet. Termoelementen av koppar - konstantan var i mätningarna 790131-790202 kopplade till en skrivare av märket Jaquet KSQ 306 med inbyggd nollpunkt. Vid mätningarna 790319 till 790326 användes en skrivare av märket Philips avsedd för mV-mätning och med isbad som nollpunkt. Avläsningsnoggrannheten för den första skrivaren var  $\pm 0,25$  °C medan skrivarens mätnoggrannhet rör 0,5 % av fullt utslag, i detta fall  $\pm 0,5$  °C. Felet i den avlästa temperaturen kan därför uppskattas till

$$\sqrt{\left(\frac{0,25}{t_v}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{t_v}\right)^2}$$

där  $t_v$  är avloppsvattnets temperatur.

Avloppstemperaturen var i medeltal 25 °C vilket ger ett totalt relativt mätfel mindre än 3 %. Vid den senare mätningen var avläsningsnoggrannheten  $\pm 0,1$  °C medan skrivarens mätnoggrannhet var 0,5 % av fullt utslag. Detta ger ett relativt mätfel av ca 2 %. Det systematiska mätfelet vid temperaturmätningarna antages vara försummbart då termoelementet var i direkt kontakt med avloppsvattnet.

### 3.1.2 Instrument för flödesmätningar

Avloppsflödet mättes indirekt vid mätningen jan-feb. 1979. Kallvattenflödet till hela sjukhuset mättes med hjälp av vattenverkets mätare. En del av detta vattenflöde går till den del av sjukhusområdet som har vårdplatser för lättpsykiskt sjuka. För denna vattenmängd fanns enbart mätare för varmvattenförbrukningen varför den totala vattenförbrukningen för denna del har uppskattats till 3 ggr varmvattenförbrukningen. Det totala vattenflödet till sjukhuset är ca  $240\text{m}^3$  per dygn och det uppskattade totala flödet till vård delen med lätt psykiskt sjuka är ca  $50\text{m}^3$  per dygn. En feluppskattning på 20 % av detta flöde leder till att vattenflödet till långvårdskomplexet erhålles med en noggrannhet av  $\pm 5\%$ . Mätnoggrannheten hos vattenmätaren är ca  $\pm 2\%$ , vilket gör att det totala mätfelet hos kallvatten flödet är

$$\pm \sqrt{5^2 + 2^2} = 6\%$$

Förluster i form av vattenånga i samband med matlagning, från människor och apparater, från duschar och bad är ca  $2\text{m}^3/\text{dygn}$ .

Vid den senare mätningen i mars 1979 användes en avloppsflödesmätare installerad i en nedstigningsbrunn i utgående avloppsledning. Mätaren är utformad som en u-formad plastränna med en upphöjning i botten och en sidoförträngning. Rännan tätades mot utgående avloppsledning så att allt avloppsvatten som passerar brunnen också går genom mätrännan. Vattenflödet över ett sådant hinder i en kanal är en funktion av vattenytans nivå relativt upphöjningen enligt:

$$m = C \cdot 2 \cdot g \cdot h^{3/2} \quad 3:1$$

där  $m$  är vattenflödet

$C$  är en faktor som är beroende av flöde och form på hindret

$g$  är jordaccelerationen och

$h$  är avståndet mellan vattenytans nivå uppströms hindret och dess nivå.

Faktorn  $C$  i ekvation 3:1 är ej helt konstant utan varierar både med vattenflödet och formen hos hindret. En mätanordning av detta slag måste därför alltid kalibreras för att en rimlig mätnoggrannhet skall kunna uppnås. Vattenytans nivå mäts med hjälp av en ultraljudssänkare och mottagare. Signalen från nivåmätaren omvandlas och registreras på en skrivare. I skrivaren finns inlagd en funktion som tar hänsyn till faktorn  $C$ :s variation med flödet varför avloppsflödet erhåller direkt på skrivarpappret.

Avläsningsnoggrannheten var  $\pm 0,025$  l/s och skrivarens och mätrännans mätosäkerhet var tillsammans ca 1 % av fullt flöde d.v.s. 0,1 l/s. Avloppsflödets dygnsmedelvärde var ca 2 kg/s vilket medför att det relativa mätfelet i avloppsmätningarna är

$$\frac{dm_a}{m_a} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,1}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,025}{2}\right)^2}$$

d.v.s. ca  $\pm 5$  %

Det systematiska felet kontrollerades mot samtidiga avläsningar av till sjukhusområdet inkommande kallvatten. Beräknat avloppsflöde och uppmätt avloppsflöde var under de första mätdagarna lika. Under den senare delen av mätperioden visade dock avloppsmätaren större avloppsflöden än kallvattenmätningen. Detta berodde på att flytande föroreningar hade fastnat före mätaren på en mot huvudströmmen vinkelrät inkommande avloppsledning - p.g.a. den förhöjda vattennivån - och därigenom stört nivåmätaren.

### 3.2 Mätresultat

Resultaten från mätningarna och som avser ca 370 Långvårdspatser redovisas i bild 3.1 och 3.2 som är från 790131 och 790201. I bild 3.3 ses mätresultatet från mätningen 790320 vilken är representativ för denna mätperiod.

I bild 3.1 och 3.2 erhålles högre medeleffekter än vad som gäller mätningen i bild 3.3. Detta beror huvudsakligen på de få mätpunkterna som ger en överskattning av effekten främst nattetid, de vattenmängder som ej når avloppet påverkar också resultatet i samma riktning. Om avloppsflödets effekt beräknas efter dygnsmedelvärdet av avloppstemperaturen och - flödet erhålles för mätningarna 790131 och 790201 127 kW respektive 128 kW medan mätningen 790320 ger 107 kW.

Enligt bild 3.3 erhålles med 370 vårdplatser ca 18 l/vårdplats och timme, 320 W/vårdplats och timme och 7,8 kWh/vårdplats och dygn

vid en tänkt avkylning av avloppsvattnet till 8 °C.

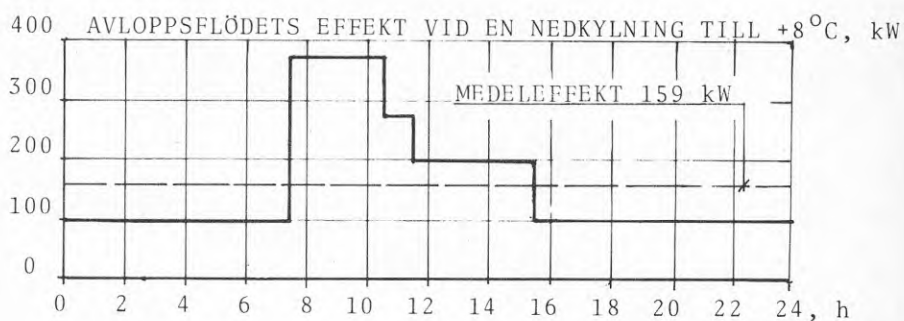
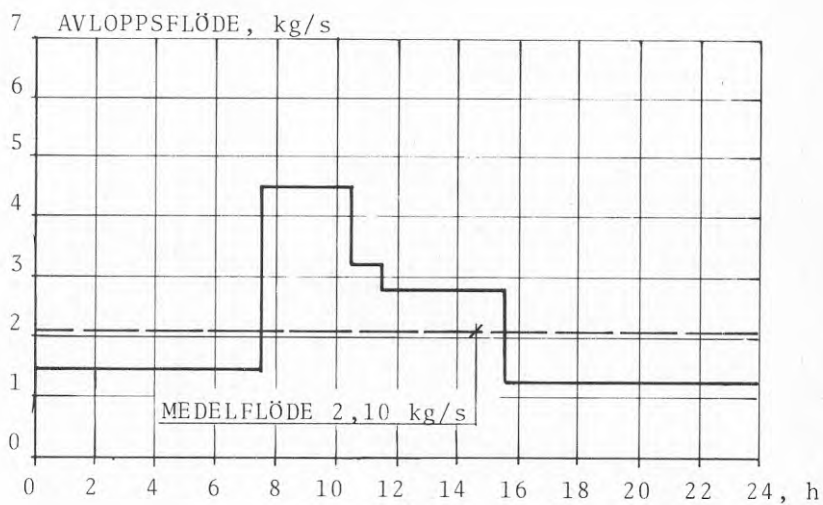
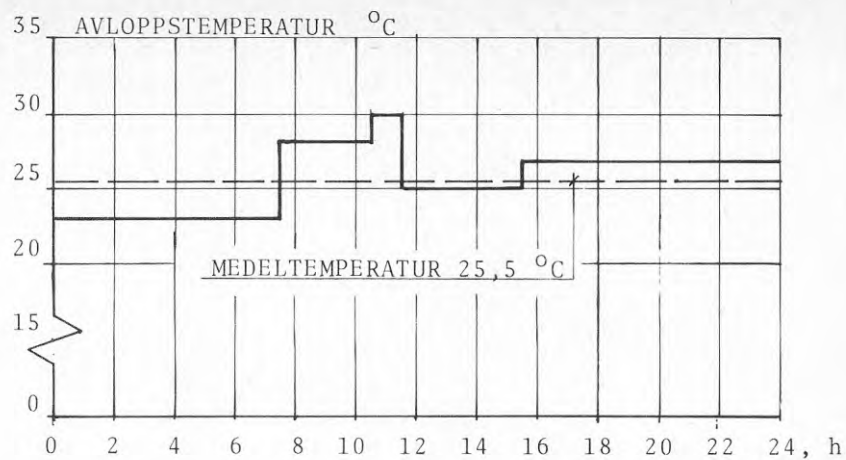


Bild 3.1 Resultat från avloppsmätningar 19790131

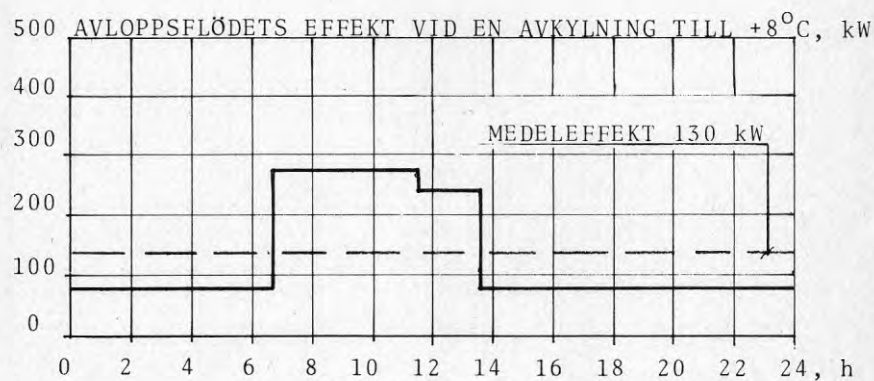
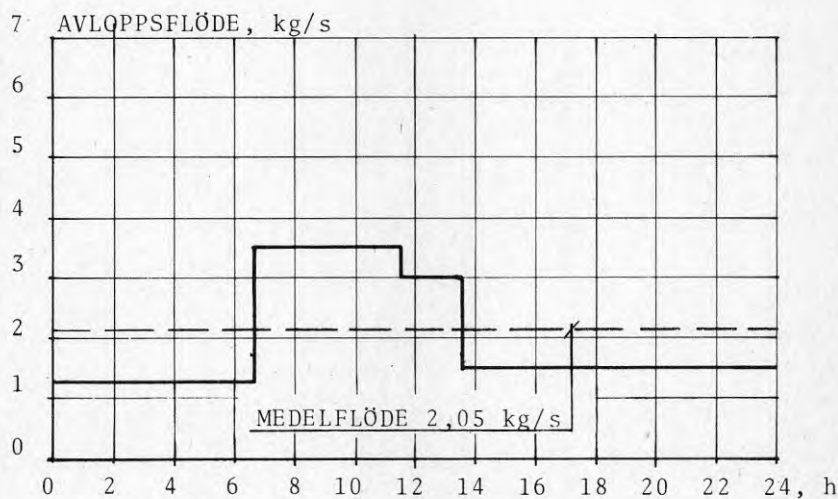
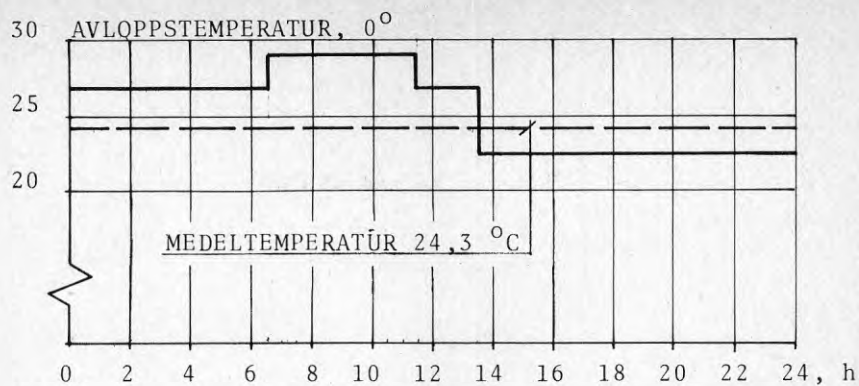


Bild 3.2 Resultat från avloppsmätningar 19790201



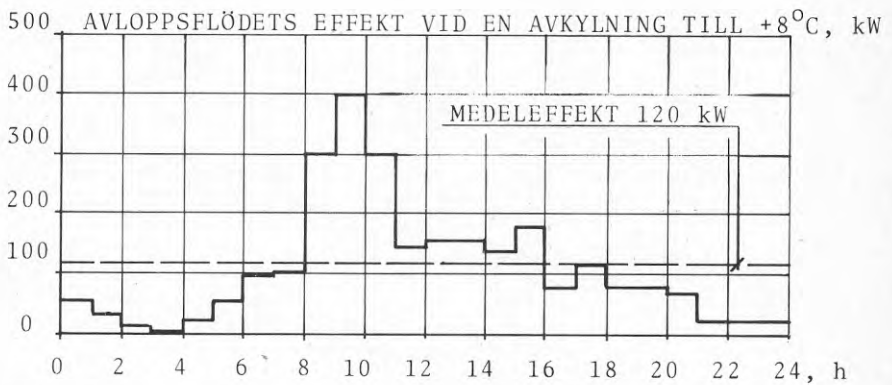
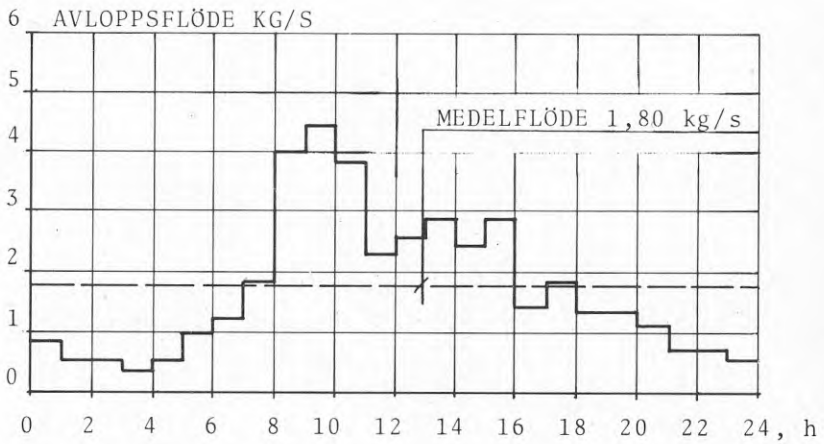
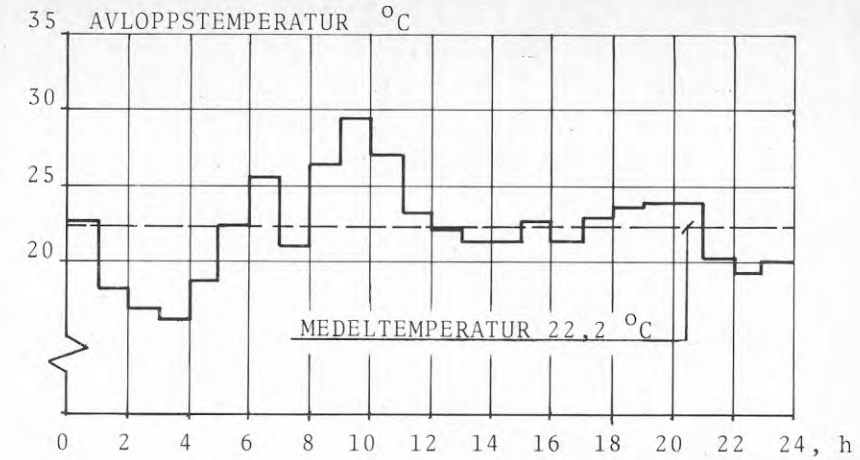


Bild 3.3 Resultat från avloppsmätningar 19790320



### 3.2.1 Felkalkyl

Det relativa felet i temperaturmätningarna är enligt 3.1 ca 3 %. För avloppsflödet gäller en mätnoggrannhet av mellan 5-6 %. Totalt ger detta ett relativt fel i avloppsflödets effekt av

$$\pm 3^2 + 6^2 = 7 \%$$



## 4 UTFÖRANDE AV VÄRMEÅTERVINNINGSANLÄGGNINGEN

4.1 En principkoppling av anläggningen visas i bild 4.1

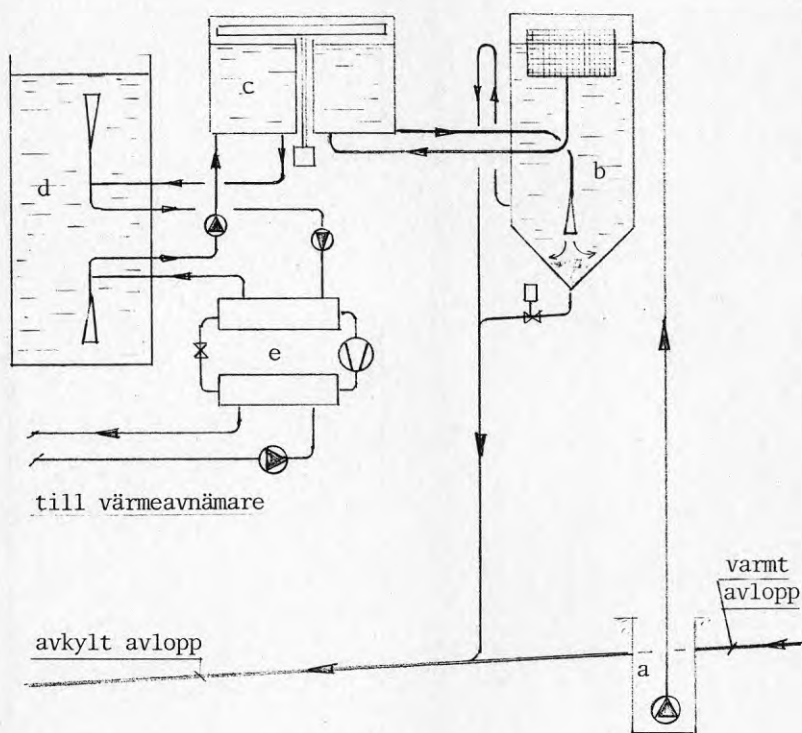


Bild 4.1 Principschema

Från en pumpgrop a lyfts avloppsvattnet till avloppsbehållarna b där grövre och flytande föroreningar avskiljes. Avloppsvattnet strömmar sedan in i värmeväxlar-delarna c där det avkyls för att sedan ledas via avloppsbehållaren ut i avloppet igen nedströms pumpgropen.

Värmeenergin i avloppsvattnet förs till en kallvattenackumulator d vars uppgift är att ta upp de kraftiga variationerna i avloppsvattnets energiflöde. Vattnet i denna ackumulator kyls av en kylkompressorenhet e vars kondensator avger sin värmeenergi till en varmvattenackumulator och eventuellt till ventilationssystemet.

Tekniska lösningar på de olika komponenterna och på hela avloppsåtervinningsssystem är idag fåtaliga. Driftserfarenheter från stora avloppsåtervinningsanläggningar saknas så gott som helt.

För att kunna göra en studie av de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för att återvinna värmeenergi ur avloppet från Blackebergs sjukhus, som är syftet med denna rapport, har därför en konstruktion som fortfarande befinner sig på utvecklingsstadiet valts.

Avloppsvärmväxlaren som har konstruerats<sup>1)</sup> av ing. L. Litzberg SISAM AB, och som under 1979 provas med stöd från BFR-anslag nr 790089-3 beskrives i avsnitt 4.2.

1) Konstruktionen är patentskyddad (Svenskt Patent nr 7706927-6 och Pat.ansökan nr 7908805-0)

## 4.2 Beskrivning av anläggningen och dess funktion

### 4.2.1 Situationsplan

Värmeåtervinningsanläggningen installeras i särskild byggnad i slänten vid norra gränsen av lastgården vid byggnad 28 (se bild 4.2). Pumpstation för avloppet inbygges i huvudavloppsledning 2.

I två tryckledningar, 5' 5" transporteras avloppsvattnet till värmeåtervinnningen, det avkylda avloppsvattnet återgår i självfallsledning 7 till huvudledningen nedanför pumpstationen.

I pumpstationen anordnas direktgenomgångsledning för avloppet, vilken automatiskt sättes i funktion vid el-avbrott eller annan driftstörning.

### 4.2.2 Funktionsbeskrivning

Genom ledning 5 (se bild 4.3) inkommer avloppsvattnet upptill i en avloppsvattencistern 9. Nivårör 10, som är anslutet till cisternens nedre del, för det kylda vattnet till ledning 7 (se även bild 4.2). Ventil 11 är normalt stängd och ytnivån 37 i cisternen är således i höjd med nivårörets krök.

Från den övre delen av cistern 9 avtappas det inkomna "varma" avloppsvattnet via en ledning 12 till värmväxlare 14, (utförande enl. bild. 4.4 och bild 4.5).

Värmeenergin i avloppsvattnet avges i värmväxlaren till i denna anordnade rörslingor 15, varefter avloppsvattnet från växlaren strömmar tillbaka till cistern 9 genom ledning 13, som mynnar, via diffusor 28 i cisternens bottenområde.

För att förhindra att fasta föroreningar leds till värmväxlaren är en sil 16 förkopplad ledning 12. Silen 16 har formen av en cylindrisk korg med plan botten med ett centrumutlopp och med mantelytan utförd som ett silnät med överkant ovanför vätskeytan 37.

Inne i silkorgen anordnas sprutmestycken fästade till armar 17, som kan roteras runt en centrumaxel.

För att rengöra silnätet sänks vätskeytan i cistern 9 genom att ventilen 11 öppnas. Renspolning kan sedan ske med valfria intervaller, varvid samtidigt tömning av slam som samlat sig på botten av cisternen sker via ventilen 11.

Som värmeupptagande medium i värmväxlarens 14 rörslingor användes vatten, lagrat i ett vattenmagasin 19. Kallt vatten ledes från magasinets bottenområde via ledningen 20 till värmväxlaren 14, varit vattnet uppvärms av avloppsvattnet och återledes till det övre området av magasin 19 via ledning 21.

Till vattenmagasinet 19 är vidare en värmepump 22 med förångare 23 och kondensor 24 kopplad, så att det varmare vattnet upptill i magasinet via ledningar 25 avger värmeenergi till förångaren 23, varefter det via ledning 26 återledes till magasinets bottenområde, i vilket det avkylda vattnet befinner sig.

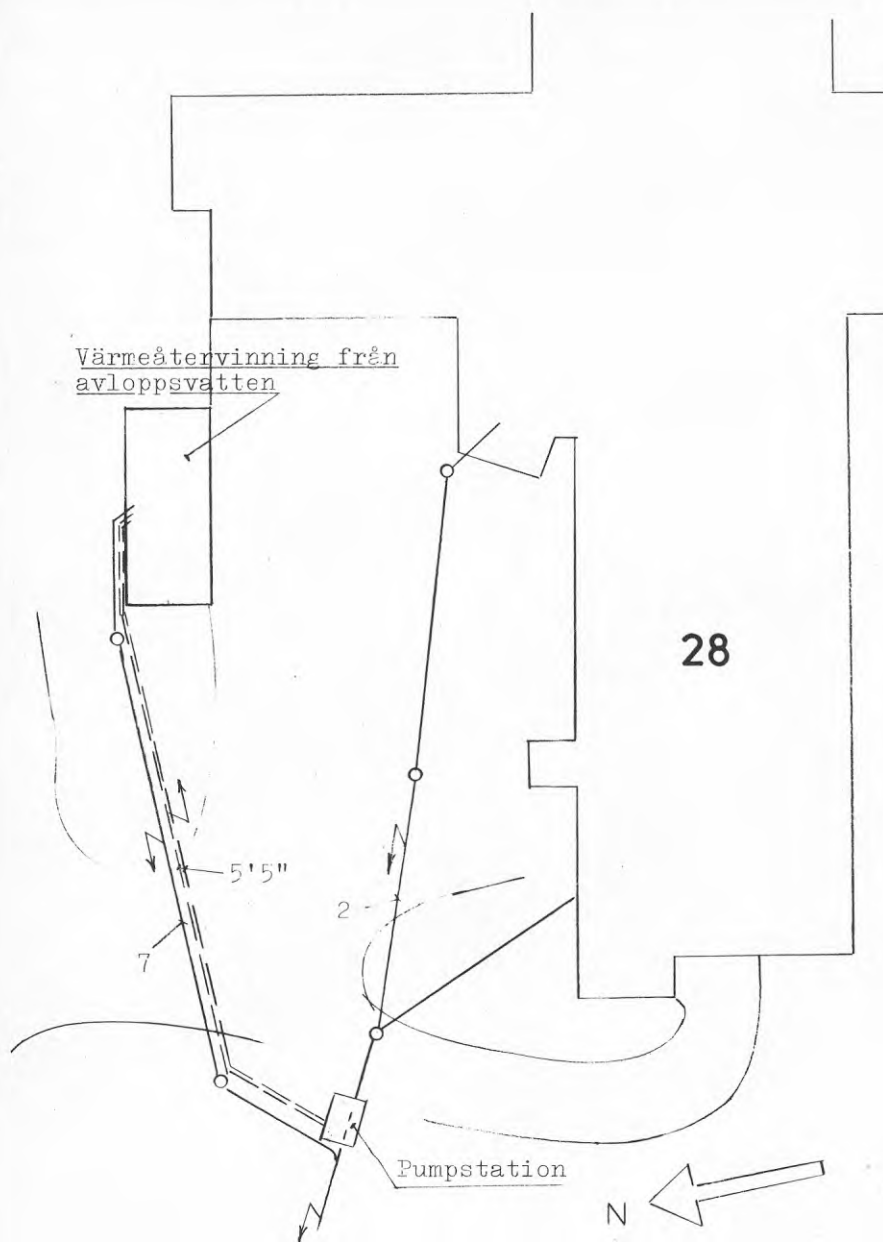


Bild 4.2 Situationsplan

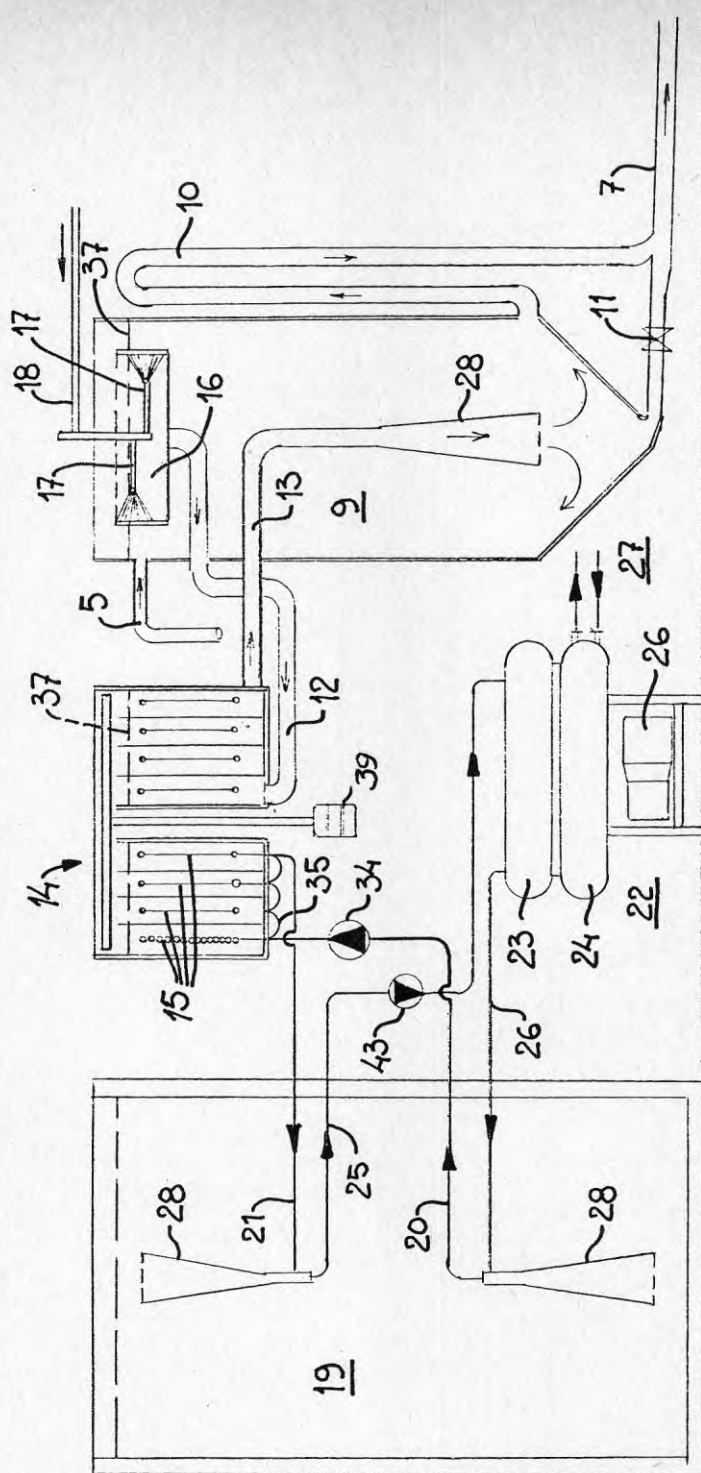


Bild 4.3 Principkopplingsschema för värmeåtervinningen ur avloppsvattnet  
 Beträffande beteckningar se texten



27 betecknar de ut- och ingående ledningarna till cirkulationskretsen för värmepumpens värmebärare, d.v.s. vatten som uppvärmts i kondensorn 24 och som skall användas för förbruknings- och/eller uppvärmningsändamål.

För att ej störa den i respektive cistern 9 och magasin 19 uppträdande skiktbildningen mellan kallt bottenvatten och varmt ytvatten är utloppen från ledningarna 13, 21 och 26 förlängda till diffusorer 28, genom vilka hastigheten på det utströmmande vattnet nedbringas i erforderlig grad.

Magasinet 19 tjänar som buffert under den tid som energitillförseln genom avloppsvattnet är låg, exempelvis natten, genom att magasinet har en volym för att lagra tillräckligt med uppvärmt vatten för försörjning av värmepumpen under denna tid.

På motsvarande sätt fyller avloppscisternvolymen funktionen att utjämna varierande belastningar under dagtid. När mer, respektive mindre värme tillföres cisternen än som svarar mot slingornas kapacitet sjunker, respektive stiger nivåskiktet mellan varmt vatten i överdelen, och kallt vatten i underdelen. Belastningspendlingarna utjämnas således av en buffertvolym, vars övre gräns ligger vid silkorgens 16 underkant och undre gräns vid utloppet till nivåör 10.

#### 4.2.3 Värmeväxlaren

Värmeväxlaren består av en cylindrisk behållare 29 (se bild 4.4) med en central kanal 30. Inne i behållaren är ett antal värmeväxlarytor koncentriskt anordnade, vilka vardera består av ett antal parallellkopplade rörslingor (i bild 4.4 visas 4 st sådana värmeväxlarytor, vardera med 20 st rörslingor). Ändarna hos de i ett "ytpaket" ingående rören 15 är anslutna till en gemensam fördelare 32 (se bild 4.5) medelst vilken värmemediet/vattnet inleds i rörslingorna 15, samt till en gemensam mottagare 33 medelst vilken vattnet uppsamlas och avleds från paketet.

Cirkulationspumpen 34 pumpar vattnet via ledningen 20 och fördelaren 32 in i rörslingorna hos det första paketet 15. Via mottagaren 33 leds vattnet från det första paketet genom en anslutningsledning 35 till det innanför liggande paketets fördelare. Från detta pakets mottagare leds vattnet vidare till det tredje paketet via en ledning 35'. Från detta tredje pakets mottagare leds vattnet till det fjärde paketet via ledningen 35". Från det fjärde paketets mottagare leds vattnet via ledningen 21 till magasinets 19 övre del.

Mellan de koncentriskt anordnade värmeväxlarpaketeten 15 är anordnade likaså koncentriskt inrättade mellanväggar 36, vilka nedtill anligger tätt mot värmeväxlarbehållarens botten och upptil sträcker sig över avloppsvattnets nivå 37 i värmeväxlaren.

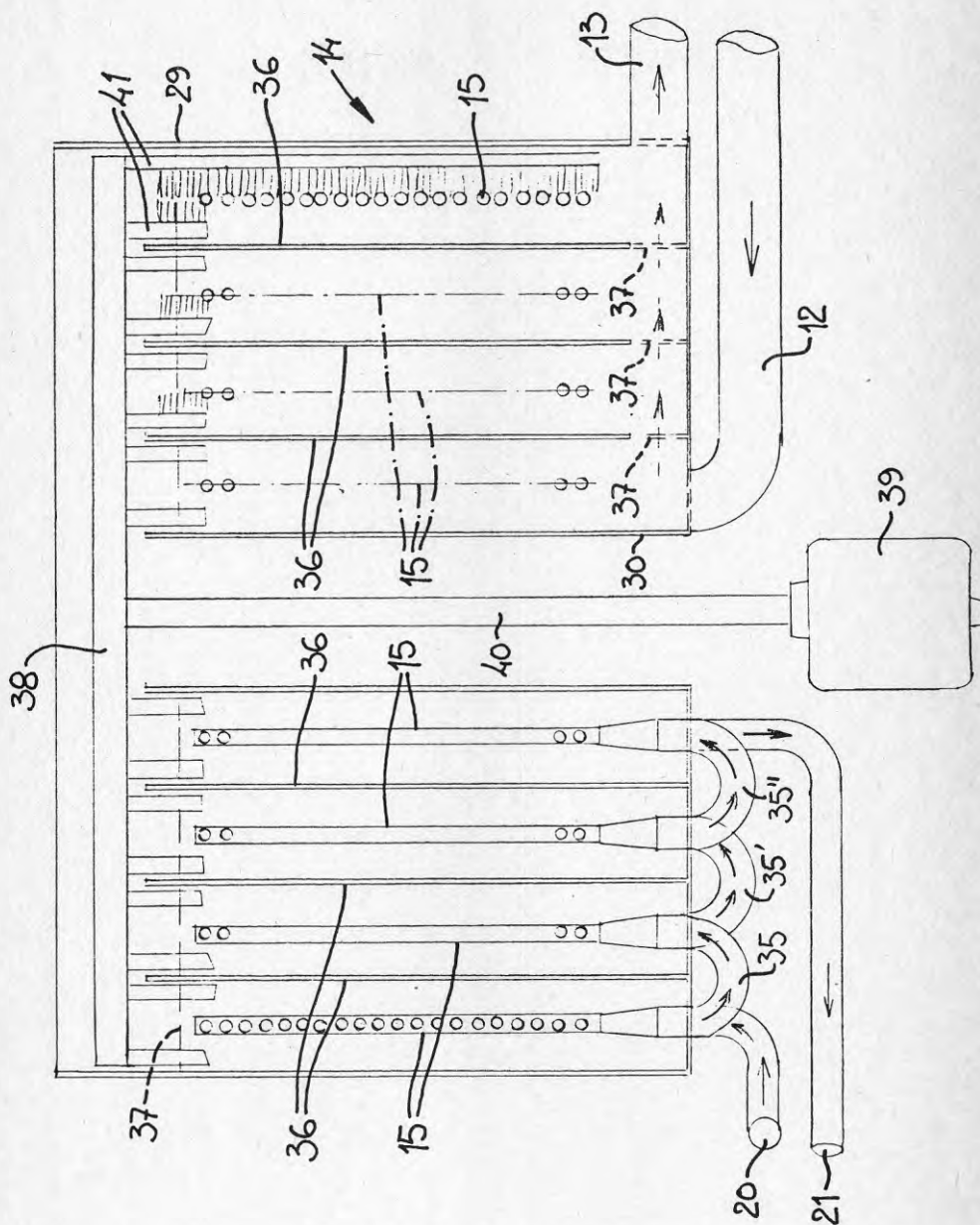


Bild 4.4 Värmeväxlarens konstruktion  
 Beträffande beteckningar se texten

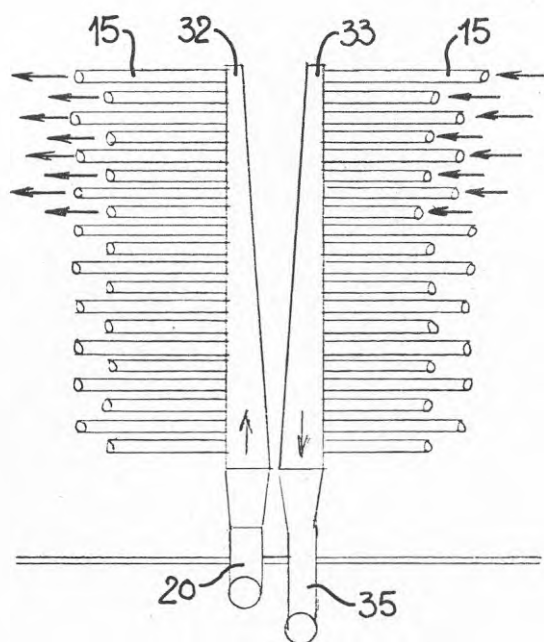


Bild 4.5 Värmeväxlarens konstruktion - detalj  
av rörslingor.

Beträffande beteckningar se texten

Ledning 12 från avloppscisternen 9 mynnar i det inre facket hos värmeväxlaren, d.v.s. mellan behållarens inre vägg (kanalväggen 30) och den innersta mellanväggen 36. Avloppsvattnet avleds från värmeväxlaren via ledningen 13, ansluten till värmeväxlarens yttersta fack, tillbaka till cisternen 9. Nedtill i mellanväggarna 36 är öppningar 37 anordnade.

Av ovanstående framgår att det värmeupptagande vattnet strömmar genom de seriekopplade värmeväxlingsringarna från det yttersta paketet till det innersta, medan avloppsvattnet, vars värme skall utvinnas, strömmar från den innersta kammaren till den yttersta via öppningarna 37. Energiutbytet sker således enligt motströmsprincipen, varvid avloppsvattentemperaturen faller språngvis från fack till fack, medan vattentemperaturen i slingorna stiger kontinuerligt.

Uptill i värmeväxlaren, och ovanför vattenytan är en roterbar arm 38 anordnad, driven av en motor 39 via en axel 40, vilken löper genom behållarens 29 centrala kanal 30. Armen 38 är försedd med vertikalt riktade borstar 41, vars borst vid armens rotation bestryker rörslingorna 15. Härigenom hålles rörslingorna rena, varigenom värmeövergångstalets försämring p.g.a. avsättningar förhindras.

Som framgår av bild 4.3 och bild 4.4 är anläggningen helt "öppen" med ytan hos avloppsvattnet i cisternen 9 och i värmeväxlaren 14 på samma nivå 37. För att förhindra luktspridning är värmeväxlaren och avloppscisternen försedda med lock och dessutom kopplade till frånluftsventilation. Den för avloppsvattnets cirkulation genom värmeväxlaren 14 nödvändiga pumpeffekten erhålles genom vattnets rotation, som åstadkommes genom borstarnas rörelse i kamrarna, i princip föreligger en långsamt arbetande centrifugalpump.

Hastigheten- och därigenom uppehållstiden för avloppsvattnets strömning genom värmeväxlaren regleras med hjälp av en ventil i utloppsröret 13.

Slingornas värmeupptagande effekt regleras i viss mån genom att motorn 39 är utförd med steglös varvtalsreglering, som ger armen med borstarna en varierbar hastighet (betr. hastighetens påverken på värmeövergångstalet se bilder 4.8 och 4.9 i BFR rapport R 95:1979).

Beträffande dimensioneringen av de ingående komponenterna se avsnitt 5.



## 5 DIMENSIONERING

De faktorer som påverkar dimensioneringen av en avloppsvärmeåtervinningsanläggning är dels av ekonomisk dels av teknisk art. De ekonomiska faktorerna är bl a investeringskostnaden för de ingående komponenterna samt deras marginalkostnad, driftskostnaderna för värmepumpanläggningens kompressor och för hjälputrustning som pumpar o dyl. Alternativkostnaden för den återvunna värmeenergin ingår också i den ekonomiska kalkylen.

De tekniska faktorer som påverkar dimensioneringen är avloppsflödets storlek och temperatur samt deras variation i tiden, möjliga värmesänkor, som t ex varmvattenbehov, och deras tidsvariation. Tekniska randvillkor är möjliga värmeövergångstal mellan avloppsvattnet och det värmeupptagande mediet, tillgänglig byggnadsvolym för värmeåtervinningsanläggningen, storleken på befintlig elmatning o dyl.

5.1 Energikostnader

De ingående energikostnaderna är dels kostnaden för drift av värmepumpen och av hjälpmotorer, dels kostnaden för att framställa den återvunna energin på annat sätt, i detta fall via fjärrvärme, se tabell 5.2. Driftskostnaderna är kostnaden för använd mängd elenergi inom hela sjukhuset samt eventuell kostnad för ökad abonnemangsavgift, se tabell 5.1.

TAB. 5.1 Elkostnader (mars 1979)

|  |               |
|--|---------------|
| dagtid 07-21 mån-fre   | 10.7 öre/kWh  |
| övrig tid  | 7.1 öre/kWh   |
| skatt  | 3.0 öre/kWh   |
| index (ej på skatten)  | 16 %          |
| abonnemangsavgift, 500 kW á 140 kr/kW<br>(enl. tidigare förbrukning) | 70.000 kr/år  |
| abonnemangsavgift, 800 kW á 140 kr/kW<br>(efter tillbyggnad)         | 112.000 kr/år |
| anslutningsavgift  | 1.600 kr/år   |
| nuvarande kostnader vid en förbrukning av                            |               |
| ca 4 milj. kWh/år  |               |
| dagtid   | 15.4 öre/kWh  |
| övrig tid  | 11.2 öre/kWh  |
| abonnemangskostnad   | 1.8 öre/kWh   |



efter tillbyggnad vid en uppskattad förbrukning  
av ca 7 milj. kWh/år

|                    |              |
|--------------------|--------------|
| dagtid             | 15.4 öre/kWh |
| övrig tid          | 11.2 öre/kWh |
| abonnemangskostnad | 1.6 öre/kWh  |

Abonnemangseffekten beräknas som medelvärdet av de 4 månader som har det största effektuttaget, dock räknas bara en av de 4 sommarmånaderna.

TAB. 5.2 Fjärrvärmekostnader mars 79

|  |                |
|--|----------------|
| abonnemangsavgift för 4.000 kW   | 87.500 kr/år   |
| distributionsavgift 0.50 kr/m <sup>3</sup>                                   | 123.600 kr/år  |
| (vid 11.500 kWh/år och en temperatur-sänkning av fjärrvärmevattnet med 40°C) |                |
| indexavgift 0.36 (87.500 + 123.600)  | 76.000 kr/år   |
| (index enl. 1:a kvartalet 1979)  |                |
| produktionsavgift  | 11 öre/kWh     |
| (oljepris 900 kr/m <sup>3</sup> )  |                |
| produktionsavgift per år   | 1.265000 kr/år |
| (vid 11.500 kWh/år)  |                |
| totalkostnad per år  | 1.552000 kr/år |
| totalkostnad per kWh   | 13.5 öre/kWh   |
| varav fast del   | 0,8 öre/kWh    |

## 5.2 Avskrivningsregler

Investeringskostnaderna skrivs av enligt Hälso- och Sjukvårdsnämndens avskrivningsregler:

10 % ränta

15 års avskrivningstid

Detta ger en annuitetsfaktor på

0.1325

Investeringskostnaderna för bygge och installationer har bedömts efter anbud från Nya Asphalt AB, AB Svensk Värme, Elmontörerna Forsberg & Co AB, och Industri-ventilation i Södertälje AB samt avloppsväxlarna och kylkompressor från Industriell Värmeteknik AB, Tranås.



### 5.3 Dimensionering och kostnader

#### 5.3.1 Pumpgropen

Pumpgropens storlek och avloppspumparnas kapacitet bestäms direkt av avloppsflödets storlek. Två pumpar väljs för att få bättre driftssäkerhet. Pumparna dimensioneras så att en pump klarar maximalt avloppsflöde. Regleringen av pumparnas gångtid sker med hjälp av nivågivare.

En lämplig anläggning är en avloppspumpstation från Falkenberg Betongindustri AB. Kompletet med automatik om 2 st pumpar från Flygt AB typ CP 3085 och monterad på plats, men exklusive markarbeten, kostar denna anläggning ca 95.000 kr. Kostnaden för markarbeten och schaktningsarbeten uppskattas till 70.000 kr. Investeringskostnad och kapitalkostnad blir enligt tabell 5.1.

TAB. 5.1 Kostnader för pumpgrop

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Investeringskostnad | 165000 kr   |
| Kapitalkostnad      | 21900 kr/år |

---

#### 5.3.2 Avloppsvärmeväxlare

Avloppsvärmeväxlaren består av två delar. En slamavskiljande del med ackumuleringsvolym för att ta upp avloppsflödets variationer och en värmeväxlare del där avloppsvattnets värmeenergi överförs via kopparrörsslingor till en vattenkrets koppad till värmepumpens förångarsida med en kallvattenackumulator som mellandel. Storleksfördelningen mellan värmeväxlardelen och den slamavskiljande delen är beroende på kostnaden för att återvinna värmeenergin för respektive del. Kostnaden för att lagra 1 kWh i avloppsackumulerings-tanken är, vid en tankstorlek av ca 20 m<sup>3</sup> och med en antagen temperatursänkning av avloppsvattnet med 20 °C, 435 kr/kWh om den utföres i rostfri plåt.

Den variabla delen i värmeväxlaren är kopparslingornas yta. Med ett värmegenomgångstal på 1.5 kW/m<sup>2</sup> °C, en medeltemperaturdifferens av 8 °C mellan avloppsvattnet om vattnet i rörslingorna erhålles 12 kW/m<sup>2</sup> rör yta. En m<sup>2</sup> rör kostar ca 600 kr vilket medför en kostnad av ca 50 kr/kW. Enligt J. Rydberg (Dimensionering av anläggningar för varmvattenberedning) är kvoten mellan dessa kostnader per kW respektive kWh ett mått på fördelningen mellan ackumuleringsvolym om värmeväxlaryta. För att kunna bestämma ackumuleringsvolymen måste först avloppsflödets tidsvariation ritas upp för kortare tidsperioder än 1 h.

I tabell 5.2 visas en analys av gjorda avloppsmätningar där frekvensen 15-minutersperioder med viss effekt uppställts.

TAB. 5.2 Frekvens av 15-minutersvärden med viss effekt

| Effekt, kW | Antal perioder | Tid/h | Del av tiden då effekt överskrides<br>% |
|------------|----------------|-------|---|
| 500-450    | 2              | 0,5   | 2                                       |
| 450-400    | 1              | 0,25  | 3                                       |
| 400-350    | 2              | 0,5   | 5                                       |
| 350-300    | 4              | 1,0   | 9                                       |
| 300-250    | 2              | 0,5   | 11                                      |
| 250-200    | 4              | 1,0   | 15                                      |
| 200-150    | 10             | 2,5   | 20                                      |
| 150-100    | 20             | 5,0   | 41                                      |
| 100-50     | 20             | 5,0   | 62                                      |
| 50-0       | 31             | 7,75  | 100                                     |

I bild 5.1 är tabell 5.2 uppritat som en varaktighetskurva.

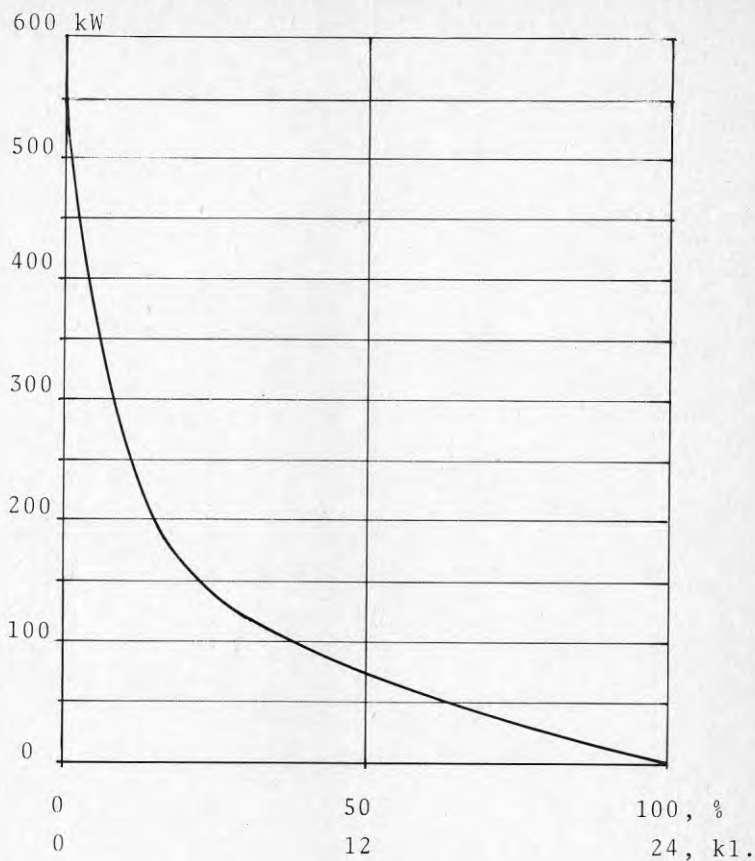


Bild 5.1 Procentuell fördelning av avloppseffekten, uppmätt 1979-03-20

Den ovannämnda kvoten blir då

$$\frac{50 \text{ kr/kW}}{435 \text{ kr/kWh}} = 0.11 \text{ h}$$

Detta innebär att det är effekttoppar som är kortare än 1 h som är ekonomiskt att ackumulera.

Enligt bild 5.1 erhålles då en ekonomisk ackumuleringsvolym av ca 0 liter.

Vilket motsvarar en effekt på värmväxlarytan av 550 kW.

Nu måste man på g a att man önskar en slamavskiljning ändå ha en volym i avloppsackumuleringstanken som här har skattats till 10 m<sup>3</sup>.

Detta motsvarar en energimängd av 230 kWh. Ackumuleringsvolymen gör att värmeytans effekt kan sänkas till 275 kW.

Denna beräkning är baserad på mätningar på det befintliga sjukhuset. Efter utbyggnaden kommer fortfarande ackumuleringsvolymen att bli större än vad som ekonomisk är optimalt. Ökningen av avloppsflödets max.flöde ökar på g a sammanlagringseffekten inte med 40 % som är ökning av antalet patienter utan med ca 30 %.

Däremot ökar "bredden på toppen", d v s den tid som denna effekt inträffar. För att beräkna värmeytan efter utbyggnaden används bild 2.4. Om 10 m<sup>3</sup> avloppsvatten kan ackumuleras innebär detta att växlaren kan dimensioneras för ett flöde som är

$$5.7 - \left( \frac{10.000}{3.3600} \right) = 4.8 \text{ kg/s}$$

vilket med en temperatursänkning av 20<sup>o</sup>C hos avloppsvattnet ger värmväxlareffekten

$$4.8 \cdot 4.2 \text{ } ^1) \cdot 20 = 400 \text{ kW}$$

Enligt tidigare är kostnaden för värmväxlarytan 50 kr/kW vilket ger att kostnaden för själva värmeytan blir 20000 kr. Värmväxlaren består dessutom av en behållare en omrörarmotor med rengöringsborstar och röranslutningar o dyl. För Blackebergs sjukhus planeras värmväxlardelen att utföras som två enheter. Dels för att få bättre dellastegenskaper, dels för att förbättra service- och underhållsmöjligheterna. En överdimensionering av värmeytorna är också motiverad då försmutsningens inverkan inte är helt känd. Kostnaderna för värmväxlarna uppskattas till

1) vattnets specifika värmekapacitet 4.2 kJ/kg °C

TAB. 5.3 Kostnader för värmeväxlare

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| Värmeyta (2 x 75 %)               | 30000 kr |
| Omrörarmotorer med borstar (2 st) | 25000 kr |
| Behållare och anslutningar        | 20000 kr |
| Totalt                            | 75000 kr |

Detta medför:

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Investeringskostnad | 75000 kr   |
| Kapitalkostnad      | 9900 kr/år |

Den slamavskiljande och ackumulerande avloppsbehållaren utföres som en enhet med volymen  $10 \text{ m}^3$ . I denna enhet ingår dessutom en föroreningsavskiljande del, två diffusorer för det från värmeväxlarna kommande avkylda avloppsvattnet och en avtappningsventil.

TAB. 5.4 Kostnader för avloppsvattenackumulatorn

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| Behållare, rostfri            | 60000 kr    |
| Föroreningsavskiljande del    | 10000 kr    |
| Diffusorer, anslutningar m.m. | 10000 kr    |
| Totalt                        | 80000 kr    |
| Investeringskostnad           | 80000 kr    |
| Kapitalkostnad                | 10600 kr/år |

## 5.3.3 Kallvattenackumulatorn

Kallvattenackumulatorns storlek skall balanseras mot värmepumpens kostnad. Temperaturdifferensen på kylvattnet mellan utgående vatten till avloppsvärmväxlaren och inkommande vatten från avloppsvärmväxlaren bestämmer energiackumuleringsförmågan hos kallvattenackumulatorn. Denna differens beräknas till  $15^\circ\text{C}$ . Med  $15^\circ\text{C}$  temperaturdifferens erhålles  $18 \text{ kWh/m}^3$  energilagringförmåga. Kostnaden för ett kallvattenmagasin i armerad plast är för storlekar på  $30 \text{ m}^3$  ca 40000 kr, jämte kostnad för byggnadsvolymen som uppgår till 400 kr/ $\text{m}^3$  eller totalt ca 1800 kr/ $\text{m}^3$ . För platsgjuten betongbehållare torde denna kostnad kunna underskridas och bli ca 1400 kr/ $\text{m}^3$ . Detta ger en energilagring-kostnad av ca 80 kr/kWh.

Värmepumpens marginalkostnad för ett komplett vattenkylaggregat med vattenkyld kondensator är ca 600 kr/kW kyleffekt.

Kvoten mellan dessa två marginalkostnader blir

$$\frac{600 \text{ kr/kW}}{80 \text{ kr/kWh}} = 7.5 \text{ h}$$

Konsekvensen av detta är att värmepumpens effekt skall vara ungefär lika med dygnsmedelvärdet. Värmepumpens kyleffekt måste på grund av osäkerhetsfaktorer vara större än dygnsmedelvärdet. En lämplig överdimensionering av värmepumpen är 25 % vilket enligt bild 3.1 och 3.2 ger en kyleffekt av ca 225 kW.

Denna kyleffekt medför en nödvändig ackumuleringsförmåga av 1600 kWh hos kallvattenackumulatoren. Med tidigare antagen temperaturdifferens på 15 °C mellan in- och utgående vatten erhålles en vattenvolym av 90 m<sup>3</sup>.

Till denna volym behövs en cirkulationspump med ett maxflöde av ca 10 kg/s. Denna pump måste kunna flödesregleras för att man alltid skall få optimal temperaturstegring på kylvattnet då avloppsvärmeväxlareffekten varierar.

Kostnaderna enligt tabell 5.5

TAB. 5.5 Kostnader för kallvattenackumulator

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| Vattenbehållare 90 m <sup>3</sup> | 90000 kr    |
| cirkulationskrets                 | 10000 kr    |
| Investeringskostnad               | 100000 kr   |
| Kapitalkostnad                    | 13200 kr/år |

#### 5.3.4 Värmepumpen

Enligt 5.3.3 bör värmepumpens kyleffekt väljas till 225 kW. Med 0°C förångningstemperatur och ca 50 °C kondenseringstemperatur erhålles då en avgiven värmeeffekt av ca 300 kW. (Bäckström 1970)

Den tillförda effekten blir, också enl. Bäckström 1970, då ca 77 kW vilket medför en värmefaktor av 3.9 och en köldfaktor av ca 2.9, exklusive hjälpmotorers inverkan. Tabell 5.6 ger kostnaderna

TAB. 5.6 Värmepumpens kostnad

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Investeringskostnad | 150000 kr |
| Kapitalkostnad      | 19900 kr  |



### 5.3.5 Varmvattenackumulatorn

Tabell 2.7 ger att varmvattenbehovet efter utbyggnaden, inklusive det av fjärrvärme till 55 °C värmda hetvattenet för spoldesinfektionsapparaterna, är ca 5000 kWh/dygn. Värmepumpen avger kontinuerligt ca 250 kW värmeeffekt från kondensor. En del av denna effekt, ca 15 %, kan tas ut som hetvatten vid en temperatur av 80-85 °C via en hetgasvärmväxlare. Till hetvattenackumulatorerna kan överföras en effekt av  $0,15 \times 250 = 37,5$  kW eller 900 kWh

Till varmvattenackumulatorn överförd effekt blir då  $0,85 \times 250 = 213$  kW, vilket motsvarar en energimängd av ca 5100 kWh.

Enligt tabell 2.7 fås att den energimängd som skall ackumuleras i varmvattenackumulatorn, för att täcka effektbehoven större än 213 kW, är 1500 kWh.

Varmvattnet värms från 5 till 50 °C. Detta medför att nödvändig vattenvolym för 1500 kWh då blir ca  $30 \text{ m}^3$ .

I sjukhuset kommer efter utbyggnaden att finnas ca  $13,5 \text{ m}^3$  varmvattenackumuleringsvolym, varför enbart ett tillskott på  $16,5 \text{ m}^3$  behövs. En laddningskrets för den befintliga volymen tillkommer då också som en kostnad. Kostnaderna i tabell 5.7.

TAB. 5.7 Varmvattenackumulatorns kostnad

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Akkumulator         | 80000 kr    |
| Laddningskrets      | 10000 kr    |
| Investeringskostnad | 90000 kr    |
| Kapitalkostnad      | 11900 kr/år |

### 5.3.6 Kostnader för byggnaden

Byggnaden skall rymma 2 st avloppsvärmväxlare, 2 st avloppsbehållare, 3 st kallvattenackumulatorer, en varmvattenackumulator samt en värmepumpsanläggning. Detta medför en byggnadsvolym av ca  $400 \text{ m}^3$  som med  $400/\text{m}^3$  innebär en kostnad enligt tabell 5.8

TAB. 5.8 Byggnadsarbeten

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| Byggnaden                         | 140000 kr   |
| Mark och schaktarbeten            | 30000 kr    |
| Projekteringskostnader ark + bygg | 20000 kr    |
| Investeringskostnad               | 190000 kr   |
| Kapitalkostnad                    | 25200 kr/år |



## 5.3.7 Övriga kostnader

Förutom de ovan nämnda komponenterna ingår i anläggningen, reglerutrustning, rördragning, elinstallationer o s v. I tabell 5.9 ges en sammanställning av dessa övriga kostnader.

TAB. 5.9 Övriga kostnader

|  |             |
|--|-------------|
| Reglerutrustning                           | 50000 kr    |
| Rör, avlopp, varmvatten inom växlarbyggnad | 35000 kr    |
| Ventilation                                | 30000 kr    |
| El larm växlarbyggnad och till pumpstation | 60000 kr    |
| Projektering VVS och EL                    | 25000 kr    |
| Projektering avloppsvärmeväxlare           | 50000 kr    |
| Samordning, kontroll, besiktning           | 80000 kr    |
| Investeringskostnad                        | 330000 kr   |
| Kapitalkostnad                             | 43700 kr/år |

Den sammanlagda investeringskostnaden blir 1180000 kr exkl extra ordinära kostnader och med en kapitalkostnad av 154700 kr/år.

Investeringskostnaderna i avsnitt 5 baseras på förfrågningar till entreprenörer inom respektive fack. En del av kostnaderna i det skissade projektet är att hänföra till att det är en pilotanläggning med många nykonstruktioner. Vidare medför inkopplingen av en avloppsvärmeväxlare till befintligt byggnadskomplex att extrakostnader beroende på en speciell byggnad, komplicerad schakt och extra rördragning belastar projektet.

I tabell 5.10 redovisas en sammanställning av kostnader som rimligen inte uppstår vid nybyggnation och framtida anläggningar.

TAB. 5.10

Kostnader att hänföras till extra ordinära kostnader  
på ogynnsamma förhållanden

|  |                 |
|--|-----------------|
| Byggkostnad, ogynnsam grundläggning<br>schaktning för avloppsrör under värme-<br>kulvertar | 150000 kr       |
| Rörkostnad, vv-försörjning till hus 31   | 100000 kr       |
| Elkostnad, kabelkostnad från transfor-<br>matorstation                                     | 20000 kr        |
| Processutrustning, provning av div.<br>detaljer  | 50000 kr        |
| Projekteringskostnad för 1sta anlägg-<br>ning  | <u>50000 kr</u> |
| Summa extra ordinära kostnader   | 370000 kr       |

|  |           |
|--|-----------|
| Kostnader för att kontrollera växlarnas<br>prestanda med datorkostnad, programmering,<br>provning mm | 400000 kr |
|--|-----------|

### 5.3.8 Sammanställning

Investerings och kapitalkostnader

|   | Investering   | Kapitalkostnad |
|---|---------------|----------------|
| Kostnader för pumpgrop                      | 165000 kr     | 21900          |
| Kostnader för värme-<br>växlare             | 75000         | 9900           |
| Kostnader för avlopps-<br>vattenackumulator | 80000         | 10600          |
| Kostnader för kallvatten-<br>ackumulator    | 100000        | 13200          |
| Kostnader för värmepump                     | 150000        | 19900          |
| Kostnader för varmvatten-<br>ackumulator    | 90000         | 11900          |
| Kostnader för byggnaden                     | 190000        | 25200          |
| Övriga kostnader                            | <u>330000</u> | 43700          |
|   | 1180000       |                |
| Extra ordinära kostnader                    | <u>370000</u> |                |
| Beräknad investerings-<br>kostnad           | 1550000       |                |
| Beräknad kapitalkostnad                     |               | 156300         |

#### 5.4 Driftskostnader

Kostnaden för att driva värmepumpen och hjälputrustningen är den rörliga elkostnaden.

Med en värmefaktor på 3.7 är energiförbrukningen 1) ca 1575 kWh/dygn eller 567000 kWh/år. Med 12.95 öre/kWh kostar detta 73400 kr/år.

Service av växlarna har uppskattats till ca 20000:-/år  
Total driftskostnad ca 93400 kr.

#### 5.5 Återvunnen energimängd

Enligt utförda mätningar är energiinnehållet i avloppet ca 3000 kWh/dygn. Efter utbyggnaden erhålles sannolikt ca 4300 kWh. I värmepumpens kondensator kan då 5800 kWh avges som med fjärrvärmeenergi som alternativ innebär ett värde av (hela kondensatorvärmets har medtagits då elpris och fjärrvärmepris är ungefär lika stora - en del av kondensatorvärmets 15 % användes för att ersätta eleftervärmning för hvv)

$$(13.5 - 0.8) \cdot \frac{1}{100} \cdot 5800 = 735 \text{ kr/dygn}$$

eller

$$268000 \text{ kr/år}$$

#### 5.6 Årlig besparing

|                            |             |
|----------------------------|-------------|
| Värde av återvunnen energi | 268000 kr   |
| Driftkostnader             | 93400 kr    |
| Kapitalkostnader           | 156300 kr   |
| Årlig besparing            | ca 20000 kr |

Anläggningen ger med dagens prisrelation 2) 20000 i vinst per år, vid en totalinvesteringskostnad av ca 1200000 kr, med hänsyn tagen till både drifts- och kapitalkostnader.

1) 11.2 öre/kWh 98 tim/vecka, 15.4 öre 70 tim/vecka

2) mars 1979

## SAMMANFATTNING

Energiinnehållet i avloppsvattnet är beroende av flöde och möjlig nedkylning.

Från sjukhuset erhålles relativt varmt avloppsvatten ca 20-30 °C och med ett flöde som är ca 400 l/dygn och vårdplats.

Blackebergs sjukhus är ett långvårdssjukhus med för närvarande 376 vårdplatser som efter en pågående utbyggnad ökas till 520 vårdplatser.

Mätningar på avloppet av temperaturer och flöde (se bild 1) visar att energiinnehållet med en avkylning till 8°C är ca 3000 kWh/dygn idag, vilket efter utbyggnaden beräknas öka till ca 4300 kWh/dygn, eller 1600 MWh/år.

Bild 2 visar en principskiss av en tänkt värmeåtervinningsanläggning.

Från en pumpgrop (a) lyfts avloppsvattnet till avloppsbehållarna (b) där grövre och flytande föroreningar avskiljes. Avloppsvattnet strömmar sedan in i värmväxlardelarna (c) där det avkyls för att sedan ledas via avloppsbehållaren ut i avloppet igen nedströms pumpgropen.

Värmeenergin i avloppsvattnet förs till en kallvattenackumulator (d) vars uppgift är att ta upp de kraftiga variationerna i avloppsvattnets energiflöde. Vattnet i denna ackumulator kyls av en kylkompressorenhet (e) vars kondensator avger sin värmeenergi till en varmvattenackumulator och eventuellt till ventilationssystemet.

Tekniska lösningar på de olika komponenterna och på hela avloppsåtervinningsystem är idag fåtaliga. Driftserfarenheter från stora avloppsåtervinningsanläggningar saknas så gott som helt.

För att kunna göra en studie av de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för att återvinna värmeenergi ur avloppet från Blackebergs sjukhus, som är syftet med denna rapport, har därför en konstruktion som fortfarande befinner sig på utvecklingsstadiet valts.

Avloppsvärmeväxlaren som har konstruerats av ing. L. Litzberg, och som under 1979 provas med stöd från BFR-anslag nr 790089-3 beskrives i avsnitt 4.2.

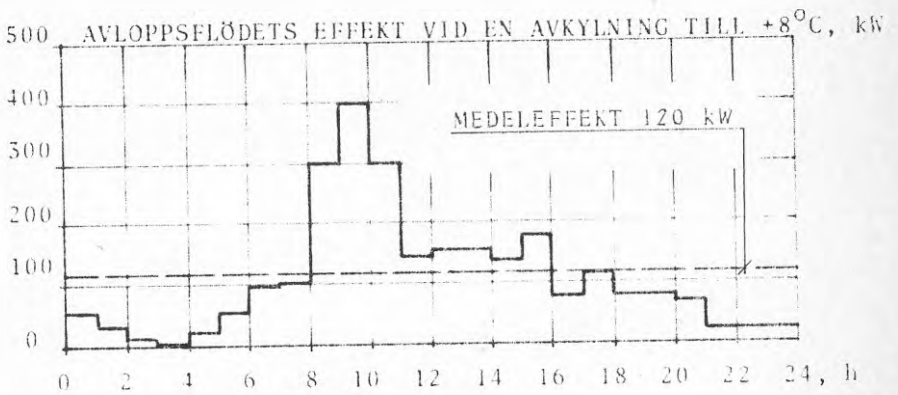
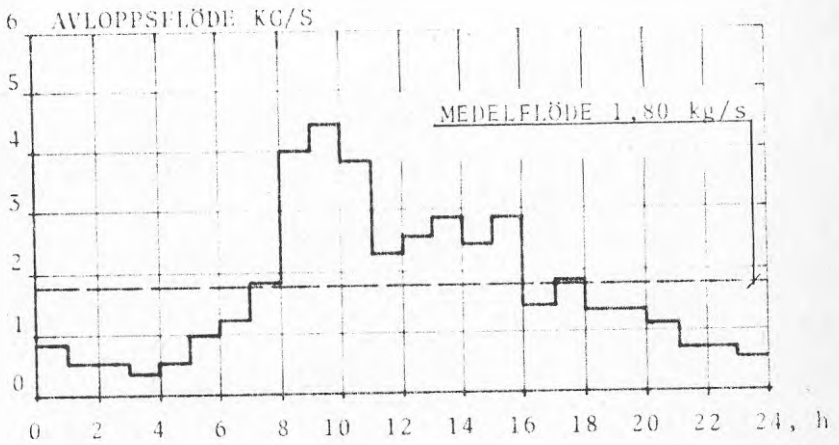
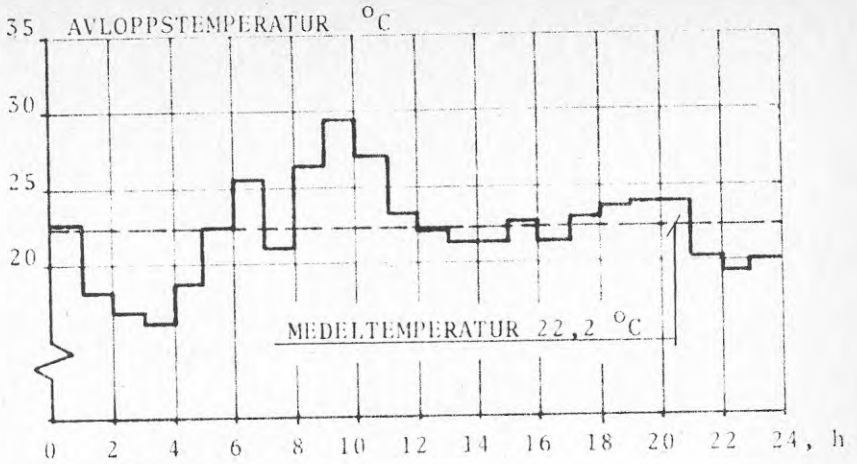


Bild 1

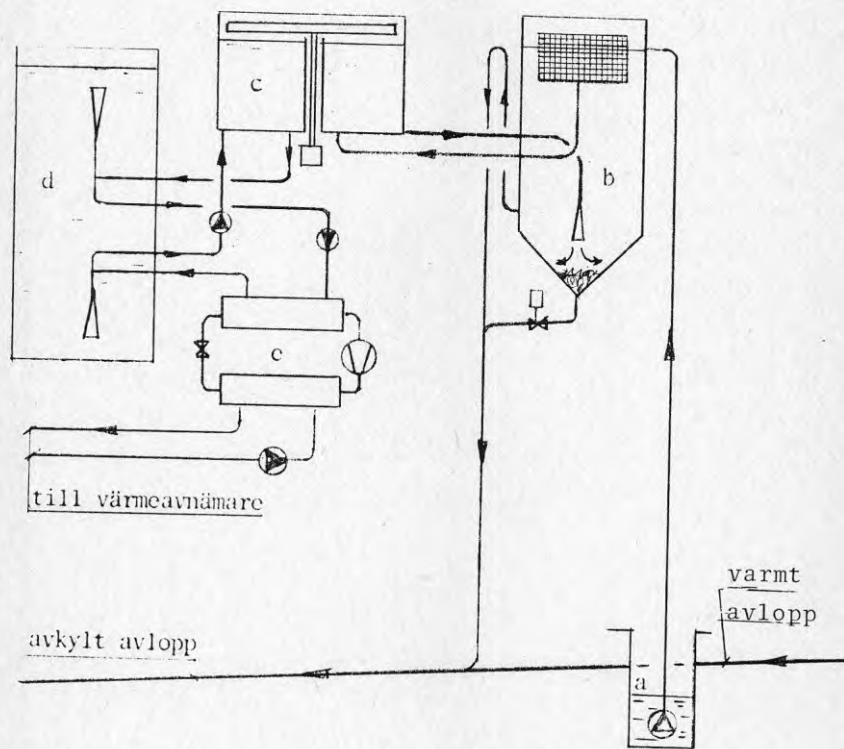


Bild 2 Principskiss av avloppsvärme-  
återvinningsanläggningen.

Betr. beteckningar se texten.



Kostnaden för elenergi för att driva värmepumpen var i mars 1979 i medeltal under dygnet 12,8 öre/kWh medan värdet av den återvunna energin var, likaså i mars 1979, ca 12,7 öre/kWh (fjärrvärme).

Värmepumpen inklusive hjälpmotor beräknas få en värmefaktor av 3.7.

Detta ger:

|   |                       |
|---|-----------------------|
| Från avloppet uttagen energi  | 1600 MWh/år           |
| Till kompressorn upptärd energi                                       | 575 MWh/år            |
| Från kondensorn erhållen energi                                       | 2115 MWh/år           |
| eller   |                       |
| Värdet av erhållen energi   | 268000 kr/år          |
| Kostnad för elenergi  | 73400 kr/år           |
| Till detta kommer kostnader för service och underhåll                 | 20000 kr/år           |
| saamt kapitalkostnad beräknad efter 15 års avskrivning och 10 % ränta | <u>156300 kr/år</u>   |
| Detta ger en <u>årlig besparing</u> av                                | ca <u>20000 kr/år</u> |

Denna kalkyl är baserad på en investeringskostnad av ca 1,2 milj. kr.

Till denna investeringskostnad kommer en del kostnader som t.ex. provningar, utvärdering av mätdata, samt en del kostnader som är beroende på att avloppsåtervinningsanläggningen installeras till en befintlig byggnad.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 781277-1  
från Statens råd för byggnadsforskning till L. B. Larsson & Co  
Konsulterande Ingenjörbyrå AB, Stockholm.**

**R47:1980**

**ISBN 91-540-3230-X**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700147**

**Abonnemangsgrupp:**

**W. Installationer**

**Distribution:**

**Svensk Byggtjänst, Box 7853**

**103 99 Stockholm**

**Cirka pris 20 kr exkl moms**