



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 Förstudie: Falu lasarett

Anders Backman
Jonas Hallenberg

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	81-0034
Plac	see

KFD

R175:1980

VÄRMEÅTERVINNING UR AVLOPPSVATTEN

Förstudie: Falu lasarett

Anders Backman
Jonas Hallenberg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790700-1
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,
Falun.

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

R175:1980

ISBN 91-540-3424-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING.....	5
1 ALLMÄNT OM PROJEKTET.....	7
1.1 Bakgrund.....	7
1.2 Problem.....	7
1.3 Projektet.....	8
1.4 Sammanfattning.....	8
2 AVLOPPSVATTEN FRÅN SJUKHUS.....	10
2.1 Inledning.....	10
2.2 Avloppsförhållanden vid Falu lasarett.....	10
2.2.1 Ledningsnät.....	10
2.2.2 Vattenförbrukning och teoretiskt avloppsvattenflöde.....	11
2.2.3 Teoretiskt avloppsvatten temperatur.....	12
2.3 Mätning.....	12
2.3.1 Inledning.....	12
2.3.2 Mätprogram.....	13
2.3.3 Mätresultat.....	13
2.4 Energiinnehåll i avloppsvattnet.....	14
2.4.1 Analyserat avloppsvatten.....	14
2.4.2 Avloppsvatten för energiutvinning.....	15
3 BEFINTLIGT TAPPVARMVATTENSYSTEM.....	18
3.1 Inledning.....	18
3.2 Förbrukning av tappvarmvatten.....	18
3.3 Generering av tappvarmvatten.....	18
4 VÄRMEPUMPSYSTEM.....	20
4.1 Inledning.....	20
4.2 Systemlösning.....	20
4.2.1 Avloppsvattensidan.....	20
4.2.2 Värmepump.....	22
4.2.3 Tappvarmvattensidan.....	23
4.3 Sammanfattning.....	24
5 KOSTNADER.....	25
5.1 Allmänt.....	25
5.2 Investeringskostnader.....	25
5.3 Driftkostnader.....	25
5.4 Lönsamhetsanalys.....	27
6 SLUTORD.....	28
7 REFERENSER.....	29
BILAGA 1: Sammanställning av flödesmätning.....	31
BILAGA 2: Sammanställning av analyser.....	33

SAMMANFATTNING

Bakgrund

Syftet med projektet har varit att studera om det är tekniskt och ekonomiskt möjligt att ta värme ur icke behandlat avloppsvatten från sjukhus och via en värmepumpanläggning täcka en del av energibehovet för tappvarmvattengenerering.

Studieobjektet har utgjorts av Falu lasarett där orenat avloppsvatten samlas upp i fem huvudavloppsledningar. Dessa ansluts sedan till kommunens avloppsnät.

Tappvarmvattnet vid Falu lasarett genereras f n via ånga i lasarettets panncentral. Ångan alstras dels vid förbränning av olja och dels vid förbränning av avfall från sjukhuset. Man har koncession för förbränning av avfallet och värmeinnehållet i denna del är av samma storleksordning, 2,6 Gwh, som åtgår för att värma tappvattnet från $+7^{\circ}\text{C}$ till $+60^{\circ}\text{C}$. Utrustning finns för att vid överskott av energi från avfallsförbränningen värmeväxla denna till hetvattenssystemet för uppvärmning. För förbränning av avfallet åtgår ca $0,5\text{ m}^3$ olja per dygn.

Vid lasarettet åtgår ca $42\ 000\text{ m}^3$ varmvatten per år, den största förbrukningen (65%) sker vid temperaturnivån $+90^{\circ}\text{C}$ medan resterande del förbrukas vid temperaturen ca $+60^{\circ}\text{C}$.

Avloppsvattnet - nytt system för tappvarmvattengenerering

Avloppsvattnets flöde, temperatur och kemiska kvalitet har undersökts i en av de fem huvudledningarna. Flödet varierar kraftigt under vardagsdygn medan helgdygn (lördag-söndag) uppvisar mera konstanta förhållanden. Temperaturen är ca $+16^{\circ}\text{C}$ med små variationer. Eftersom avloppsvattnet är obehandlat är halten av suspenderade ämnen, COD, fett och kolväten relativt hög dock ej högre än vanligt kommunalt avloppsvatten.

Värmeinnehållet i vattnet varierar över dygnet och veckan. De uppmätta värdena på flöden och temperaturer indikerar att en värmepumpanläggning som dimensioneras för lägsta beräknade värmeeffektinnehåll i avloppsvattnet från fyra av de fem utgående huvudledningarna kan täcka behovet för tappvarmvattengenerering ($+7^{\circ}\text{C}$ - $+60^{\circ}\text{C}$).

Avloppsvattnet från de fyra ledningarna sammanförs till en punkt varifrån det pumpas till värmepumpanläggningen. Det obehandlade avloppsvattnet måste före

värmepumpen grovrenas. Som ett mått på denna grovrening har angivits att halten suspenderade ämnen bör reduceras till ca 30 mg/l. Olika typer av utrustningar har studerats. Avloppsvattnets kemiska sammansättning är av stor betydelse vid val av lämpligt material till grovreningsutrustningen och värmepumpens förångare.

För att förhindra hälsovådliga ämnen från att komma in i varmvattnet måste ytterligare en värmeväxlare ingå i systemet. Härigenom förloras en del i temperatur.

Lönsamhet

Det föreslagna systemet innebär en investering i form av byggnader och utrustningar till en kostnad av ca 1,1 Mkr. Driftkostnadsbesparingarna är beräknade till ca 90 000 kr per år. Det nya systemet innebär en minskning av oljeförbrukningen med 225 m³ per år.

Värmepumpen utnyttjas ej optimalt i en anläggning av den typ som skisserats för Falu lasarett. De speciella förhållandena med förbränning av avfall innebär att reduktionen av oljeförbrukningen blir lägre jämfört med en anläggning som har hela sin energiförsörjning baserad på olja och som kan utnyttja värmepumpen till fullo. Oljeförbrukningen kan i det senare alternativet reduceras med ca 325 m³ per år.

1 ALLMÄNT OM PROJEKTET

1.1 Bakgrund

Stora mängder av den energi vi förbrukar i våra bostäder, industrier och olika institutioner åtgår för att värma vanligt vatten. Denna uppvärmning av vatten kan omfatta allt från värmning av kaffevatten till generering av ånga. Behov av varmvatten, både till volym och temperatur, varierar mellan typen av förbrukare. De största variationerna finns inom industrin och vid institutioner av olika slag medan förbrukningen i vanliga bostäder följer ett mönster med mycket små variationer. Det uppvärmda vattnet avleds på ett eller annat sätt, i de flesta fall till ett avloppsnät, tillsammans med kallvatten.

Avloppsvatten har visat sig vara en av de värmekällor som man tekniskt och i vissa fall även ekonomiskt kan utnyttja. Den teknik som härvid har kommit att utnyttjas är värmepumpstekniken.

En typ av institution, som har stora behov av mycket varmt vatten är sjukhus. Viss verksamhet främst spoldesinfektionsapparater s k dekontaminatorer, kräver ett varmvatten med en temperatur av ca 90°C. Detta medför att avloppsvatten från sjukhus har en relativt sett hög temperatur. Vid större sjukhus utjämnas de naturliga variationerna över dygn och veckor.

Det ligger således nära till hands att studera möjligheterna att tillvarata en del av värmen i avloppsvatten från sjukhus så nära anläggningen som möjligt och värma (ev. förvärma) den del av kallvattnet som nyttjas till tappvarmvattenframställning.

1.2 Problem

Kommunala avloppsvatten sammanförs via ledningar till ett reningsverk för behandling innan utsläpp till en recipient, å, sjö etc, kan ske. Avloppsvatten från sjukhus är ofta koplade direkt till dylika kommunala nät. I vissa fall sker viss förbehandling vid sjukhusen. Denna rapport behandlar i huvudsak de problem och frågeställningar som kan uppkomma när orenat avloppsvatten från sjukhus utnyttjas som värmekälla vid generering av tappvarmvatten vid samma institution.

De faktorer som studerats är bl a följande:

- Avloppsvattnets flödes- och temperaturvariationer över dygn och vecka.
- Avloppsvattnets föroreningar och igensättningstendenser.
- Dimensionering av värmepump för tappvarmvattensystem.
- Lönsamhetskalkyl för värmepumpsystem jämfört med nuvarande system.

1.3 Projektet

Studieobjektet har utgjorts av Falu lasarett med ca 1100 patientplatser fördelat på 11 kliniker. En översiktsplan framgår av fig 1.1. Tappvarmvatten genereras i befintlig panncentral via ånga. Avloppsvattnets flöde och temperatur har studerats i en av de fem huvudledningarna från lasarettet. Prov har även uttagits för fysikalisk-kemisk analys. Olika möjligheter till grovrening av avloppsvattnet har studerats liksom konstruktionen av värmepumpens förångare. Ett system för värmeåtervinning och förvärmning av tappvarmvatten har skisserats och kostnadsberäknats.

1.4 Sammanfattning

Vid Falu lasarett förbrukades under 1979 ca 344 000 m³ vatten därav ca 42 000 m³ varmvatten (dels 60°C och dels 90°C). För generering av varmvattnet åtgick under 1979 ånga motsvarande ca 3 500 MWh (ca 400 m³ olja).

Av denna förstudie framgår att avloppsvatten från Falu lasarett kan användas för att via en värmepumpänläggning förvärma tappvarmvattnet från ca +7°C till ca +57°C. Investeringkostnaderna härför är ca 1,1 Mkr. Driftkostnadsbesparingarna är ca 90 000 kr/år beräknat på ett oljepris av ca 960 kr/m³ för Eo4. Genom det nya systemet reduceras oljeförbrukningen med ca 225 m³ per år.

Av största betydelse för anläggningens drift är att grovreningen fungerar. Materialvalet bör ägnas speciell omsorg.

BYGGNADSBETECKNINGAR

- 1 HUVUDENTRÉ
- 2 SPEC. VÅRDBLOCK
- 3 PATOLOGI, OBDUKTION
- 4 CENTR. VÅRDBLOCK
- 5 GAMLA MED. BYGGNADEN
- 6 BIBLIOTEK, HÖRSAL
- 7 VAKANT
- 8 CENTR. BEHANDLINGSBLOCK
- 9 VAKANT
- 10 KVINNOKLINIK
- 11 SÖDRA VÅRDBLOCKET
- 12 KÖK, MATSAL
- 13 CENTRALTVÄTT
- 14 PANNCENTRAL
- 15 VAKANT
- 16 VAKANT
- 17 VUXENPSYK. KLINIK
- 18 BARN- OCH UNGDOMSPSYK. KLINIK
- 19 LÅNGVÅRDSKLINIK
- 20 INFEKTIONSKLINIK
- 21 ADMINISTRATION
- 22 PARKERINGSDÄCK
- 23 VUXENPSYK. DAGAVDELNING
- 24 INTERN TV, VERKSTÄDER (F.D. NISSERSKA VÅRDHEMMET)

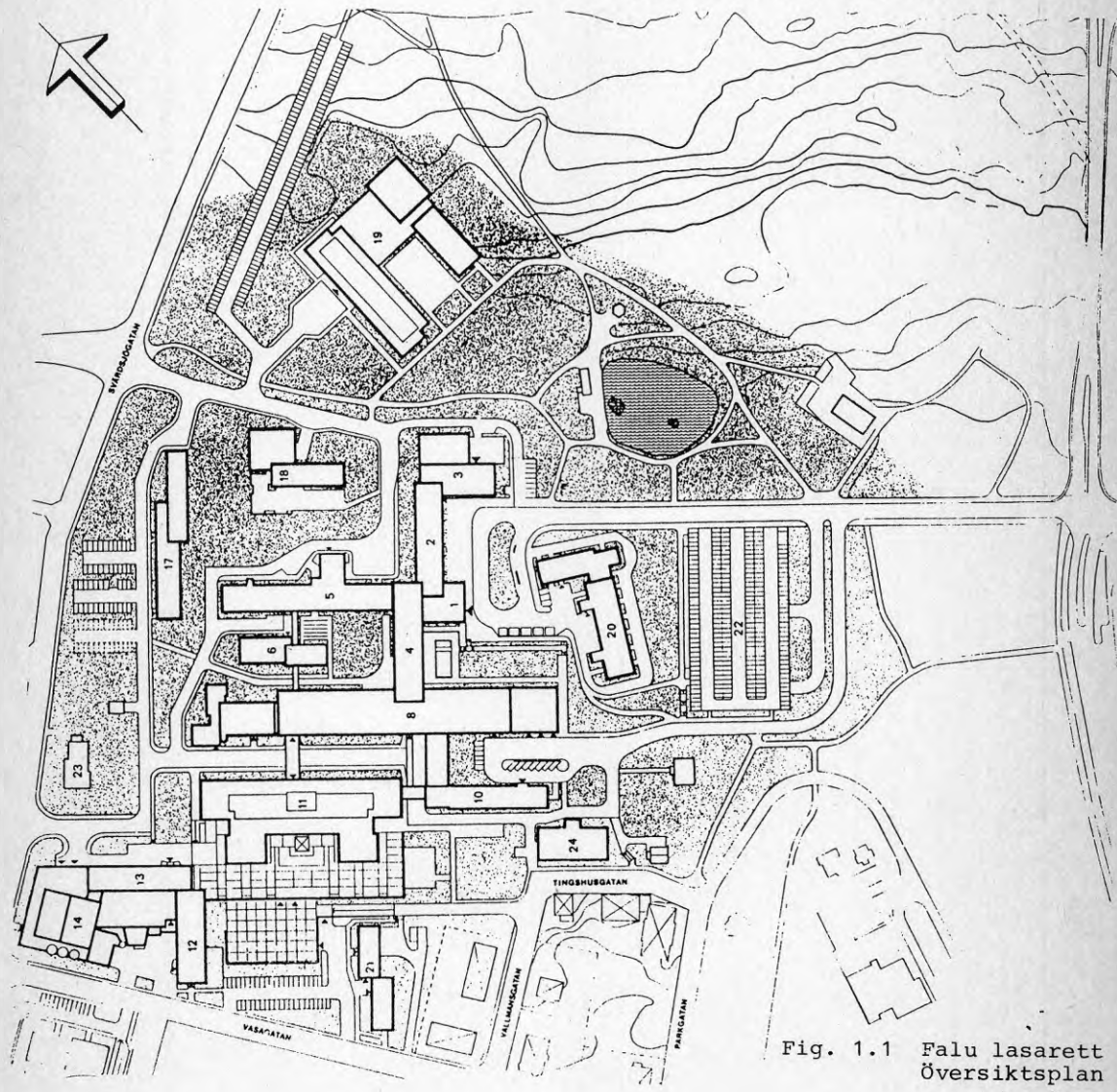


Fig. 1.1 Falu lasarett Översiktsplan

2 AVLOPPSVATTEN FRÅN SJUKHUS

2.1 Inledning

Stora mängder avloppsvatten släpps ut från våra bostäder, industrier och andra institutioner. Eftersom nästan all den energi som åtgår för uppvärmning av tappvarmvatten går förlorad via avloppsvattnet finns det anledning att studera olika lösningar för tillvaratagande av densamma.

Avloppsvattnets energiinnehåll kan återvinnas före eller efter vattnets rening i centrala reningsverk. Om energin tillvaratas efter avloppsvattnets rening begränsas problemen med nedsmutsning av ingående komponenter i återvinningsanläggningen, men å andra sidan kan man ej dra nytta av lokala utsläpp av relativt sett högt tempererat avloppsvatten på grund av den uppblandning med andra vatten som sker innan reningsverk. Dessutom är i de flesta fall reningsverken ogynnsamt placerade så att man får långa överföringsledningar. En typ av institution som släpper ut avloppsvatten med relativt sett hög temperatur är sjukhus. Vattenmängderna är dessutom stora räknat per person (patientplats) och år. Bland tidigare studier redovisar (5) en avloppsvattentemperatur på ca $+29^{\circ}\text{C}$ till en mängd av ca $3\text{ m}^3/\text{h}$ från infektionskliniken vid Östra Sjukhuset i Göteborg och (3) temperaturen ca $+25^{\circ}\text{C}$ till en mängd av ca $7\text{ m}^3/\text{h}$ från Blackebergs sjukhus i Stockholm. Samtliga värden är medelvärden.

2.2 Avloppsförhållanden vid Falu lasarett

2.2.1 Ledningsnät

Avloppsnätet vid Falu lasarett är uppdelat på 5 huvudledningar. Varje ledning mynnar i en samlingsledning för vidare transport till kommunens reningsverk. I det följande betecknas huvudledningarna A-E från vänster till höger. Se figur 2.1.

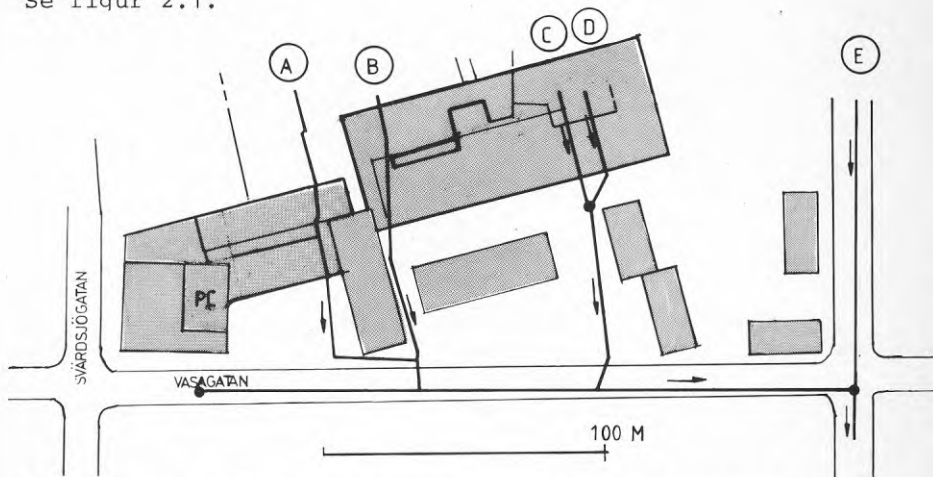


Fig 2.1 Plan med huvudavloppsledningar vid Falu lasarett.

En sammanställning av de områden som varje ledning betjänar framgår av tabell 2.1.

I tabellen framgår även antal vårdavdelningar, patientplatser och spolapparater (dekontaminatorer) per ledning.

Ledning	A	B	C	D	E
Upptagningsområde för avloppsledning	Vuxen psyk Barn psyk Tand klin Ögon- öron Ortoped Spec.vård	1/2 Södra vårdblocket	1/2 Södra Vårdblocket Centrala behandlings- blocket Centrala vårdblocket	Infektion barn-kvinno	Långvård obduktion
Vårdavdelningar	13	8	14	10	4
Patientplatser	260	160	304	170	192
Dekontaminatorer	13	8	14	10	4

Tabell 2.1 Upptagningsområden för avloppsvattenledningar vid Falu lasarett.

2.2.2 Vattenförbrukning och teoretiskt avloppsvattenflöde.

År 1979 förbrukade Falu lasarett exklusive tvättanläggning 344 000 m³ vatten, varav 302 000 m³ var kallvatten och 42 000 m³ varmvatten. Varmvattenförbrukningen kan vidare delas upp på +60°C och +90°C varmvatten. 60°C för konventionellt tappvarmvatten och 90°C för spolning i dekontaminatorer. Med antagande om att 50 spolningar utförs per dekontaminator och dygn samt att varje spolning kräver 30 l 90°C varmvatten fördelas de 42 000 m³ varmvatten på 15 000 m³ 60°C och 27 000 m³ 90°C.

En beräkning av avloppsvattenflöden per ledning proportionerat efter patientplatser redovisas i tabell 2.2

Ledning	Kallvatten	Varmvatten	Totalt
A	72 300	10 000	24 %
B	44 500	6 300	15 %
C	84 500	11 800	28 %
D	47 300	6 500	15,5 %
E	53 400	7 400	17,5 %
Summa	302 000	42 000	100 %

Tabell 2.2 Avloppsvattenmängder uppdelat på huvudledningar.

2.2.3 Teoretisk avloppsvatten temperatur

För att få en uppfattning om temperaturen på ingående kallvatten till Falu lasarett har uppgifter inhämtats från Falu Vattenverk. Kallvattentemperaturen, uppmätt vid vattenverket redovisas i tabell 2.3. Redovisade värden är medelvärden av 8 mätvärden per månad, 4 från 1978 och 4 från 1979.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatur (°C)	+4	+4	+3,7	+4,2	+5,1	+7,3	+8,2	+8,8	+8,2	+8,0	+5,6	+4,6
Årsmedel ca +6°C												

Tabell 2.3 Vattentemperaturer vid Falu Vattenverk som månadsmedelvärden baserat på mätningar 1978 och 1979.

Från mätningar av vattentemperaturen ute i nätet framgår att denna ökar med +1°C - +5°C beroende på läge och årstid. Under månaderna januari till maj ökar vattentemperaturen ca +1°C i stort sett oberoende av avståndet från vattenverket.

På basis av ingående kallvattentemperaturer kan en teoretisk avloppsvattentemperatur beräknas. Med antagande om proportionerna 302 000 m³ kallvatten, 15 000 m³ 60°C varmvatten och 27 000 90°C varmvatten erhålls då exempelvis för februari månad den teoretiska avloppsvattentemperaturen enligt:

$$\frac{302 \times 5^{\circ}\text{C} + 27 \times 90^{\circ}\text{C} + 15 \times 60^{\circ}\text{C}}{344} \approx 14^{\circ}\text{C}$$

Denna temperatur kan jämföras med den i februari 1980 uppmätta vilken uppgick till ca + 16°C.

2.3 Mätningar

2.3.1 Inledning

Enligt ovan består avloppsnätet av 5 huvudledningar, vilka mynnar i en samlingsledning. För att få en god bild av flöden och temperaturer i hela nätet hade det varit en fördel om mätningarna kunnat utföras på samlingsledningen. Av praktiska och ekonomiska skäl var detta ej möjligt eftersom samlingsledningen ligger under en gata, Vasagatan. Se figur 2.1, under 2.2.1. Sålunda utfördes istället en selektiv mätning varvid ledningen med minsta avstånd till panncentralen, ledning A, valdes.

Provtagning, flödesmätning och temperaturmätning utfördes i en provpunkt i ledning A. I den aktuella provpunkten passerar spillvatten från vuxen psyk., barn psyk., tand.klin., ögon-öron, ortoped och spec. vård. Dessa enheter har tillsammans 13 vårdavdelningar, vilket utgör ca 260 av lasarettets 1 100 patientplatser.

2.3.2 Mätprogram

2.3.2.1 Flödesmätning

Mätning av avloppsvattenflödet i provpunkten utfördes under 2 dygn. Ett vardagsdygn 18-19 februari 1980 och ett helgdygn, 23-24 februari 1980. Flödet mättes genom spårämnesmätning med litiumsalt. Litium doserades uppströms provpunkten. Provtagningen utfördes med en s k vakuumprovtagare, varvid prov uttogs tidsstyrt med ca 5 minuters intervall.

Med hjälp av en automatisk provväxlare samlades blandprov för 2-timmars intervall. Med andra ord erhöles 12 prov per dygn.

2.3.2.2 Temperaturmätning

Under tiden för flödesmätningen samt under ytterligare 2 dygn mättes temperaturen i avloppsvattnet. En i vattnet nedsänkt givare kopplad till skrivare, registrerade temperaturen kontinuerligt.

2.3.2.3 Övriga analyser

För att analysera vattnet fysikaliskt-kemiskt bestämdes halter av nitrat, sulfat, suspenderade ämnen (SUSP), fett och kolväten. Dessutom analyserades avloppsvattnets kemiska syreförbrukning (COD) och dess pH.

2.3.3. Mätresultat

2.3.3.1 Avloppsvattenflöde

Under vardagsdygnet erhöles totalt 82 m³ och under helgdygnet 70 m³. Flödesvariationen per 2 timmars intervall var mer markant under vardagsdygnet än under helgdygnet. Per 2 timmars intervall uppmättes max och min flöde till 11,5 m³/2h och 3,1 m³/2h för vardagsdygn samt 6,4 m³/2h och 4,8 m³/2h för helgdygn. Se bilaga 2.1. Påpekas bör att beräknat årsflöde för ledning A på basis av mätta värden, 25 000-30 000 m³/år avviker betydligt från det teoretiskt beräknade värdet på ca 80 000 m³/år. Tänkbara orsaker till den stora avvikelserna har analyserats. Via mätningar har konstaterats att en del av spillvattnet avleds via dagvattennätet. Hur stor del detta rör sig om har icke kunnat fastställas. Av de på denna spillvattenledning inkopplade klinikerna torde enligt uppgift den psykiatriska förbruka mindre mängd vatten. De tidigare beräknade %-andelarna avloppsvatten för varje huvudledning stämmer således av flera skäl ej helt.

2.3.3.2 Temperaturer

Under mätperioden fluktuerade temperaturen mycket litet. För vardagsdygn erhöles medeltemperaturen +16,5°C med minimitemperaturen +15,4°C och maximitemperaturen +17,4°C. Motsvarande värden för helgdygn blev +16,0°C för medelvärdet och +14,5°C respektive +17,0°C för minimi- och maximitemperaturen.

2.3.3.3 Övriga analyser

För att kunna dimensionera och specificera ingående komponenter i en grovreningsanläggning och värmväxlare i en värmepump har ett antal fysikalisk-kemiska analyser utförts. Som väntat erhöles höga värden av COD och suspenderade ämnen, visserligen med stora variationer över dygnet. Variationerna mellan 2-timmars intervall gav sig tillkänna både i form av varierande koncentrationer och absoluta mängder i kg/2h. Under helgdygnet uppmättes genomgående lägre värden av COD och suspenderade ämnen än under vardagsdygnet. Uppmätta nitrat- och sulfathalter var låga eller normala i jämförelse med konsumtionsvatten. Andelen fett och kolväten i avloppsvattnet var ej anmärkningsvärt hög. Se vidare bilaga 2.2.

2.4 Energiinnehåll i avloppsvattnet

2.4.1 Analyserat avloppsvatten

På basis av uppmätt avloppsvattenflöde och temperatur kan ett sk varaktighetsdiagram för möjligt effektuttag ur avloppsvattnet konstrueras. Resultatet av en sådan beräkning redovisas i fig. 2.2 för analyserat vardagsdygn och i fig. 2.3 för analyserat helgdygnet.

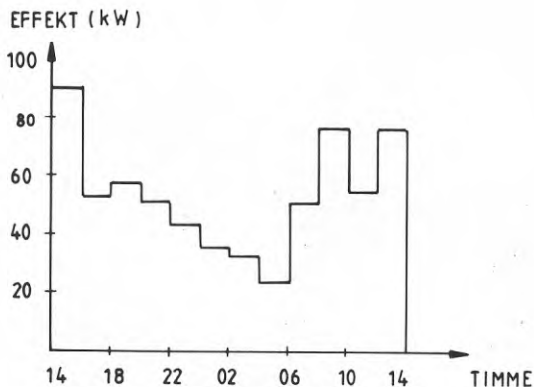


Fig. 2.2 Varaktighetsdiagram för vardagsdygn 1980-02-18 - 1980-02-19, vid kylning av avloppsvattnet till + 3°C.

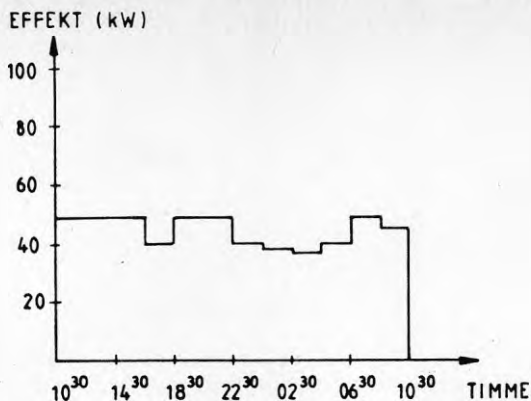


Fig. 2.3 Varaktighetsdiagram för helgdygn 1980-02-23 -- 1980-02-24, vid kylning av avloppsvattnet till $+3^{\circ}\text{C}$.

För beräkningarna har antagits att temperaturen på avloppsvattnet sänks till $+3^{\circ}\text{C}$. Som synes i figurerna varierar möjligt effektuttag över dygnet, med en topp på förmiddagen och en sänkning nattetid. Eftersom värmeinnehållet i avloppsvattnet skall utnyttjas för värmning av tappvarmvatten, bör denna variation av tillgänglig energi ej innebära några större problem om man antar att effektbehovet för tappvarmvattenberedning som funktion av tiden följer effekttillgången i avloppsvattnet dock med en viss tidsförskjutning. Vattensystemen vid institutioner av typ Falu lasarett är dock så stora att stora buffertvolymmer finns inbyggda i systemen inklusive varmvattenberedare.

2.4.2 Avloppsvatten för energiutvinning

Enligt fig 2.1 ovan finns fem avloppsledningar. Vattnet i den ena, ledning A, är analyserad med avseende på flöde och temperatur samt fysikaliskt-kemiskt. För att kunna dra några slutsatser om energitillgången vid utnyttjande av flera ledningar, B-E, antas flödesvariationer och temperaturer m m i ledningar B-E följa den analyserade ledningen A. Vid konstruktion av varaktighetsdiagram enligt fig 2.4 och fig 2.5 nedan har följande årsmedelflöden legat till grund:

Ledning A	28 000 m ³ /år	- uppmätt
"- B	50 000 m ³ /år	- beräknad
"- C	96 000 m ³ /år	- beräknad
"- D	54 000 m ³ /år	- beräknad
"- E	61 000 m ³ /år	- beräknad
Summa	289 000 m ³ /år	

Vid konstruktionen av diagrammen i fig 2.4 och 2.5 har således de uppmätta värdena för ledning A använts medan de tidigare angivna %-andelarna använts för övriga ledningar.

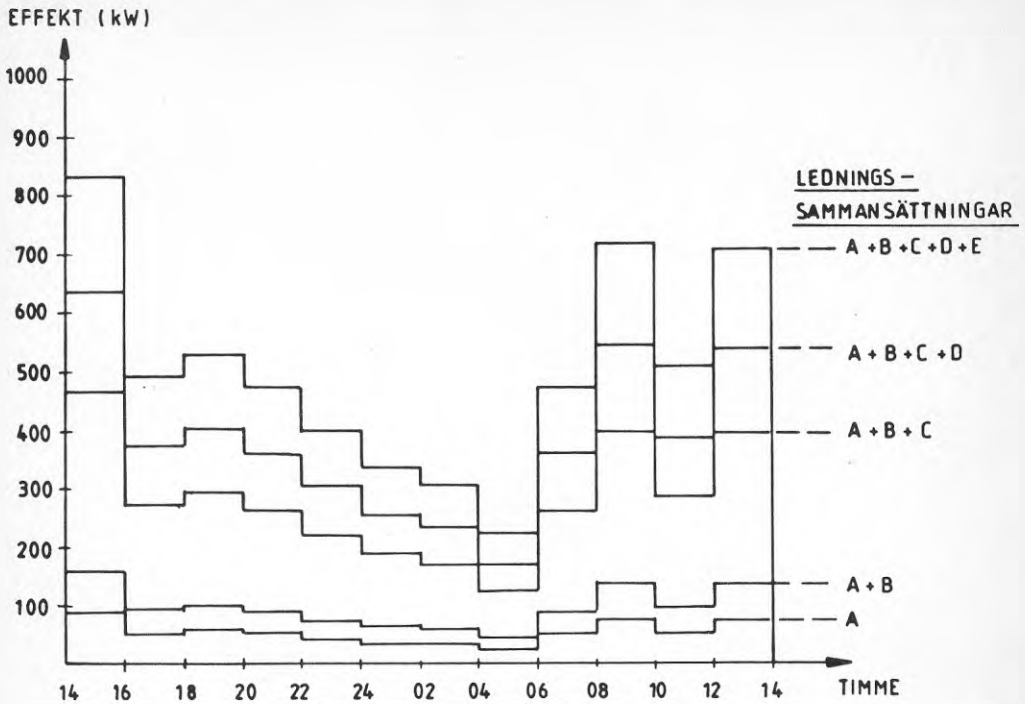


Fig 2.4 Varaktighetsdiagram under vardagsdygn för värmeinnehåll i avloppsvatten från Falu lasarett vid en sänkning till $+3^{\circ}\text{C}$.

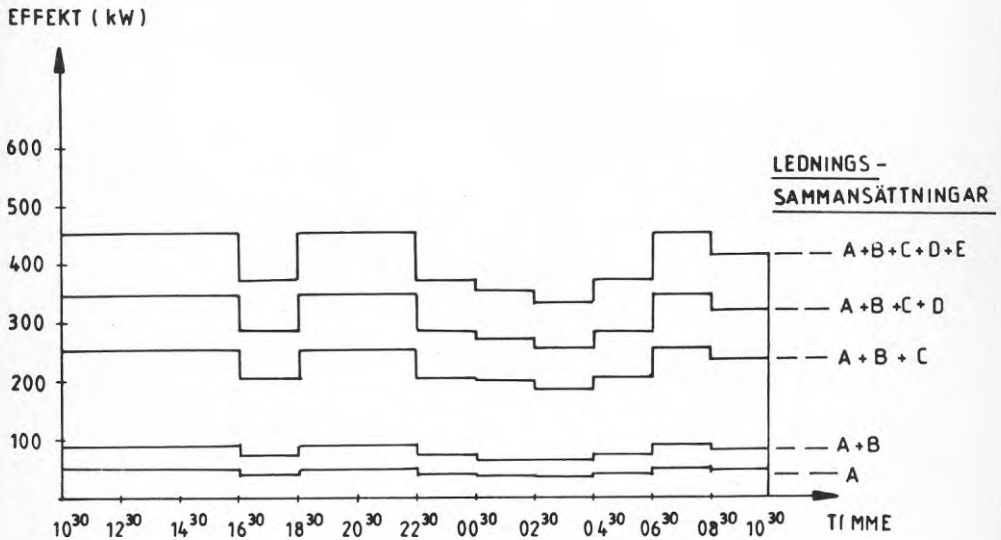


Fig 2.5 Varaktighetsdiagram under helgdygn för värmeinnehåll i avloppsvatten från Falu lasarett vid en sänkning till $+3^{\circ}\text{C}$.

Av fig 2.4, vilken redovisar vardagsdygn, framgår exempelvis att ledningskombinationen A+B+C+D, vilka efter en kontroll på platsen visat sig vara möjliga att koppla samman, kan utnyttjas för ett effektuttag på i sämsta driftfall 175-200 kW och i gynnsammaste driftfall 800-850 kW. Motsvarande värden för helgdygn blir ca 250 kW respektive ca 350 kW. Detta innebär att ledningskombinationen A+B+C+D kan leverera åtminstone 175 kW utan buffertvolym under alla tider på dygnet, såväl vardag som helgdag.

3 BEFINTLIGT TAPPVARMVATTENSYSYSTEM

3.1 Inledning

Vattenförsörjningen till Falu lasarett är baserad på anslutning till Falu kommuns nät i Falun. Vattentäkt är Rogsjön ca 20 km NV Falun. Vattnet behandlas i kommunens vattenverk genom sandfiltrering och klorering. Temperaturen från vattenverket avläses regelbundet. Enligt tillgänglig statistik är variationerna små, maximitemperatur är $+8,8^{\circ}\text{C}$, minimitemperatur $+3,7^{\circ}\text{C}$.

3.2 Förbrukningen av tappvarmvatten

Förbrukningen av tappvarmvatten sker f n vid två olika temperaturnivåer, 60°C och 90°C . 60 -gradigt varmvatten går till duschar, tvättställ, kök, lab m m. 90 -gradigt varmvatten används framför allt i dekontaminatorerna som finns utplacerade en på varje avdelning.

3.3 Generering av tappvarmvatten

Allt vatten till lasarettet mäts med en vattenmätare placerad i panncentralen på inkommande ledning. Tappvarmvatten genereras i panncentralen i 2 st varmvattenberedare. Uppvärmning sker i huvudsak via värme som alstras vid förbränning av sjukhusavfall. Denna anläggning har f n viss överkapacitet som utnyttjas på hetvattensidan. För drift av avfallsförbränningsugnen åtgår enligt uppgift ca $0,5 \text{ m}^3$ olja/dygn.

F n använder man två olika temperaturnivåer på tappvarmvatt-
net, dels 60°C och dels 90°C . Højningen av kallvatten från
ca $+7^{\circ}\text{C}$ till $+60^{\circ}\text{C}$ sker i panncentralen. Resterande højning
från $+60$ till $+90^{\circ}\text{C}$ som krävs på vissa förbrukningsställen
sker lokalt via ånga eller el. Genereringen av tappvarmvat-
ten illustreras av nedanstående figur 3.1.

Totala vattenförbrukningen är ca $350\,000 \text{ m}^3/\text{år}$, varav varm-
vattendelen är ca $45\,000 \text{ m}^3/\text{år}$. F n förbrukar tvätteriet
ca $3\,000 \text{ m}^3$ varmvatten per år. Denna avdelning skall dock
inom kort flyttas från lasarettet. Av resterande del beräk-
nas det 60 -gradiga vattnet utgöra ca $15\,000 \text{ m}^3/\text{år}$ och det
 90 -gradiga ca $27\,000 \text{ m}^3/\text{år}$.

För generering av tappvarmvatten åtgår energi (olja+sopor)
motsvarande ca $3\,500 \text{ MWh}/\text{år}$.

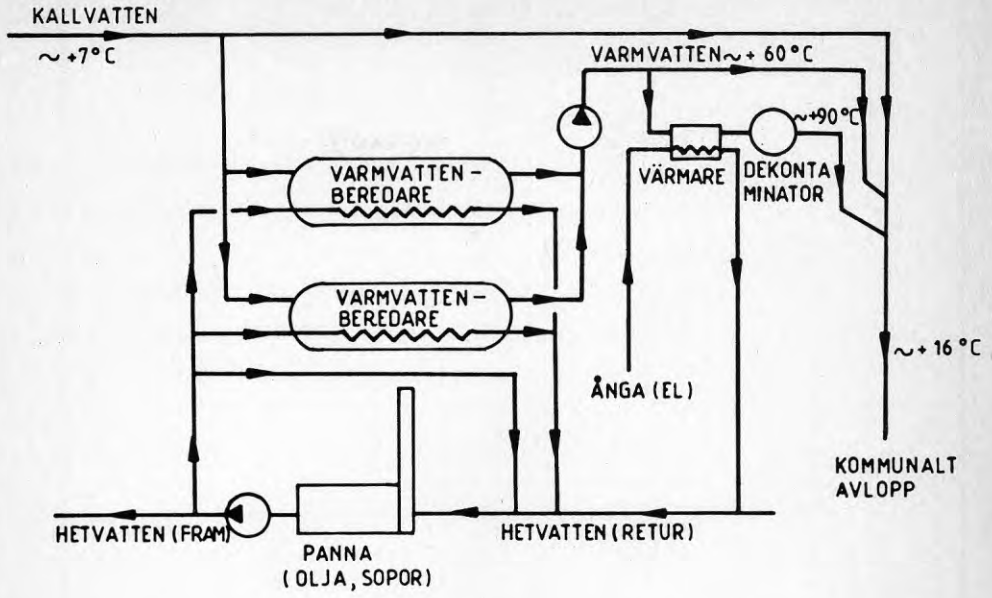


Fig 3.1 Befintligt tappvarmvattensystem

4 VÄRMEPUMPSYSTEM

4.1 Inledning

Avloppsvattnet från Falu lasarett innehåller stora mängder energi, som till största delen härör från utsläppt tappvarmvatten. Återvinns denna energi för att värma tappvarmvatten erhålls en sluten och energisnål process för generering av tappvarmvatten.

Två alternativ för återvinning föreligger, en passiv och en aktiv. Den passiva varianten innebär en överföring av i avloppsvattnet befintlig värme till kallvatten för tappvarmvattenberedning enbart med hjälp av ett konventionellt värmeväxlersystem. Den aktiva å andra sidan innebär en värmeöverföring med hjälp av ett värmepumpsystem. Den stora skillnaden mellan dessa alternativ är att temperaturen på det värmda kallvattnet ej kan överstiga avloppsvattentemperaturen i ett passivt system, medan temperaturen på det värmda kallvattnet för det aktiva kan väljas betydligt över temperaturen på avloppsvattnet.

Eftersom avloppsvattentemperaturen vid Falu lasarett är för låg (+16°C) för enbart ett värmeväxlersystem studeras här en lösning med en i systemet ingående värmepump.

4.2 Systemlösning

4.2.1 Avloppsvattensidan

För att kunna utnyttja så stor del av avloppsvattenflöde och därmed värmeinnehåll är det önskvärt att sammanföra avloppsvattnet till en knutpunkt. Efter studium av nivåförhållandena har det befunnits mest lämpligt att via en ny ledning överföra avloppsvattnet i ledning C och D till ledning A och B. Se figur 4.1.

Årsflödet från dessa ledningar (A+B+C+D) har beräknats till ca 230 000 m³/år. Min- och maxflöde i knutpunkten kan beräknas till 11 m³/h respektive 40 m³/h.

Från knutpunkten leds vattnet med självfall till en intilliggande pumpstation för vidare pumpning till platsen för värmepumpen. Pumpstationen utförs på sådant sätt att ett magasin (10-20 m³) för avloppsvatten erhålls i syfte att utjämna en viss del av flödesvariationerna. Pumpstationen förses med bräddavlopp så att vattnet vid större tillrinning kan brädda direkt ut i avloppsnätet. Till bräddavloppet ansluts även ledningen för det kyllda avloppsvattnet.

- BEFINTLIG SPILLVATTENLEDNING
- FÖRESLAGEN SPILLVATTENLEDNING
- BEFINTLIG SPILLVATTENLEDNING SOM UTGÅR

50 m

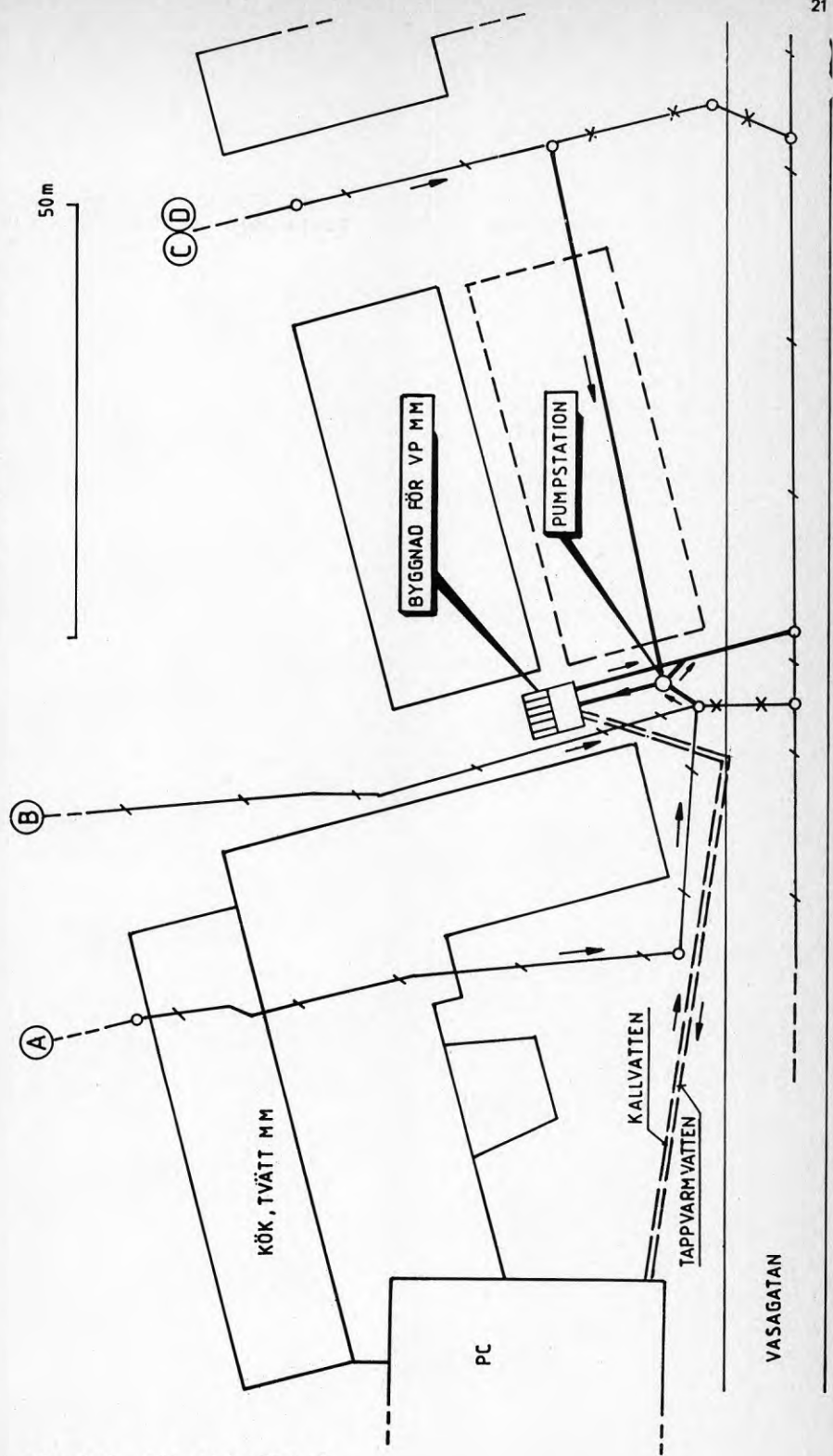


Fig 4.1 Situationsplan

För att inhysa värmepump och övrig utrustning uppförs en mindre byggnad om ca 25 m² i anslutning till pumpstationen. Förutom värmepump placeras utrustning för grovrening av avloppsvattnet samt cirkulationspumpar och elskåp i byggnaden.

För grovrening av avloppsvatten finns flera olika typer av utrustningar. I reningsverk är den vanligaste anordningen någon typ av galler eller sil med varierande spaltbredd. Härvid avskiljs slam som visserligen är relativt torrt men medför en hantering som beträffande det aktuella projektet är mindre önskvärd. Några typer av självrensande filter finns. Filtren utgörs av en trumma med dysor på mantelytan. Dysorna kan ha olika hålstorlek etc. Självrensningen sker i sekvenser som kan styras på tid eller tryck. Det avskilda slammet kan avledas direkt till avloppsnätet. Dylika installationer är vanliga inom industrin vid olika råvattenintag.

Andra typer av utrustningar finns som arbetar efter samma princip som en separator.

F n finns ingen större erfarenhet av grovrening av avloppsvatten före värmeåtervinning via värmepump. Ett försök som har startats är en anläggning i Skåne. Där utnyttjar man s k spaltsilar för grovrening. Detta medför dock ett slamproblem. Syftet med grovreningen är att reducera riskerna för igensättning av värmepumpens förångare.

Grovreningsanläggningen bör utföras så att mängden suspenderade ämnen i avloppsvattnet reduceras till ca 30 mg/l. I det orenade avloppsvattnet har uppmätts halter suspenderade ämnen till max 260 mg/l och min 44 mg/l. Se även bilaga 2.2.

Efter reningen pumpas avloppsvattnet till värmepumpens förångare för värmeväxling och därifrån via ny spillvattenledning till det kommunala avloppsnätet.

4.2.2 Värmepump

När avloppsvatten utgör värmekälla till en värmepump ställs speciella krav på utformningen av värmepumpens förångare. Materialet i förångaren bör vara motståndskraftigt mot korrosion och erosion. Vidare måste förångaren vara lätt-tillgänglig för rengöring. En modell av förångare som kan vara lämplig för detta projekt visas i fig 4.2 nedan.

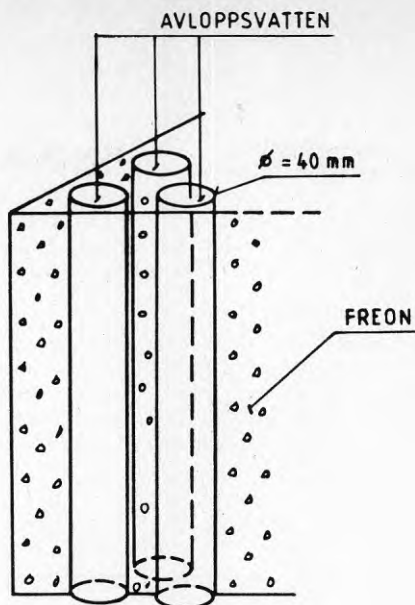


Fig 4.2 Detalj av förångare - principskiss

Denna förångare består av ett knippe parallella vertikala rör, $\varnothing = 40$ mm. Avloppsvattnet rinner på rören insida och freonet förångas på dess utsida. Genom att förångaren är öppen i toppen kan rören lätt rengöras med hjälp av viska eller dylikt. Rengöringen utförs lämpligen manuellt efter behov. För övriga delar i värmepumpen, kompressor och kondensor kan standardkomponenter nyttjas. Kompressorn bör vara av skruvtyp med lågt varvtal och kapacitetsreglering.

Värmeeffekten väljs till 300 kW, varav ca 200 kW antas kunna erhållas från avloppsvattnet och ca 100 kW från kompressorn i form av elkraft vid en värmefaktor på 3. Med kompressoreffekten 100 kW och värmefaktor 3 gäller att avloppsvattnet kan kylas till ca $+3^{\circ}\text{C}$ och vattnet värmas till ca $+60^{\circ}\text{C}$. Värmepumpen kan gå med full effekt året runt och ger därmed ca 2,6 Gwh uppdelat på 1,73 Gwh från avloppsvattnet och 0,87 Gwh från den elkraft som utnyttjas för drift av värmepumpen.

4.2.3 Tappvarmvattensidan

I värmepumpens kondensor värms kallvatten ($+9^{\circ}\text{C}$) till $+60^{\circ}\text{C}$. Enligt figur 4.1 dras två nya ledningar från panncentralen, en för kallvatten till kondensorn och en för varmt kallvatten i retur från kondensorn. Ledningarna ansluts i panncentralen till en värmeväxlare som i sin tur är kopplad till Falu lasarets befintliga varmvattenberedning. Den extra värmeväxlaren bedöms på detta stadium som erforderlig. Enligt de normer och riktlinjer som finns för varmvattenberedning får denna icke ske på ett sådant sätt att risk finns för inläckage av hälsovådligt ämne. Genom denna värmeväxlare förloras ca 5°C i temperatur.

4.3 Sammanfattning

Den energi som finns i avloppsvattnet vid Falu lasarett motsvarar mer än behovet för tappvarmvattenberedning. I ett tekniskt lämpligt system samlas avloppsvattnet från fyra huvudledningar till en pumpstation varifrån det pumpas till förångaren på en värmepump. Före förångaren grovrenas avloppsvattnet så att risken för igensättningar minimeras. I värmepumpen värms kallvatten från ca $+9^{\circ}\text{C}$ till ca $+60^{\circ}\text{C}$. Detta varmvatten värmeväxlas sedan så att kallvatten ($+7^{\circ}\text{C}$) höjs till ca $+57^{\circ}\text{C}$ före anslutning till befintliga varmvattenberedare.

Värmepumpen dimensioneras för 300 kW värmeeffekt varav 200 kW från avloppsvattnet och 100 kW från kompressorn. Vid full drift av värmepumpen under ett år levereras då 2,6 Gwh varav 1,73 från avloppsvattnet och 0,87 Gwh från el. Se figur 4.3 för principiell systemlösning.

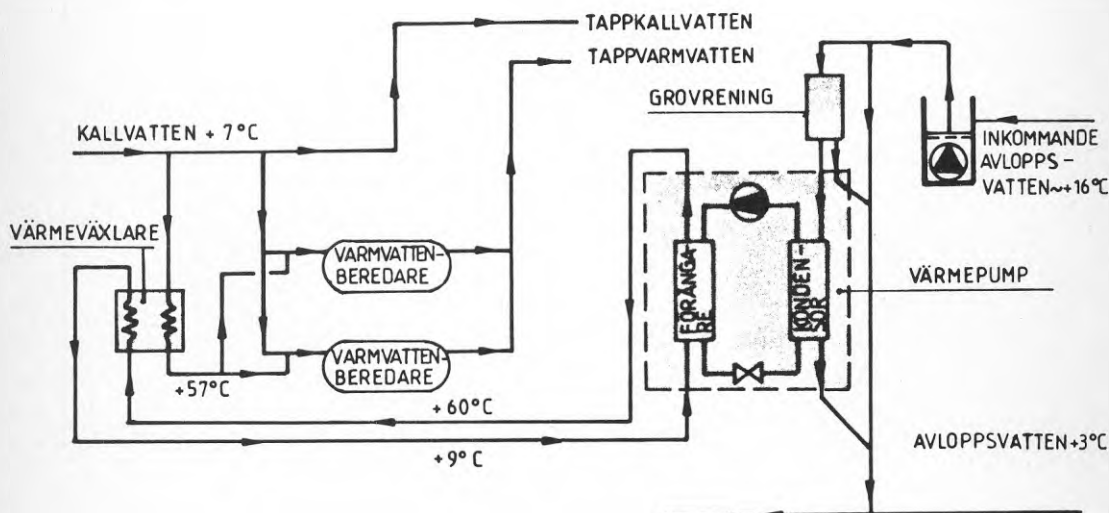


Fig 4.3 Systemlösning med värmepump.

5 KOSTNADER

5.1 Allmänt

Investeringskostnaderna för ett skisserat tekniskt system har översiktligt beräknats i dagens prisnivå. Vissa preliminära offerter har inhämtats.

Driftkostnaderna för ett nytt system har jämförts med det nuvarande systemet.

5.2 Investeringskostnader

Investeringskostnaderna har beräknats enligt följande:

Överföringsledning för kallvatten och varmvatten, värmeväxlare	150 000 kr
Omläggning av avloppsledningar samt nya brunnar	50 000 kr
2 avlopps pumpar med armaturer och ledningar	50 000 kr
Byggnad för värmepump m m	175 000 kr
Utrustning för grovrening av avloppsvatten	50 000 kr
Värmepump, kompressor ca 100 kW värmeeffekt, max 300 kW	300 000 kr
Elektrisk utrustning	50 000 kr
Projektering	125 000 kr
Oförutsett	150 000 kr
<hr/> Summa	<hr/> 1 100 000 kr

5.3 Driftkostnader

Ett nytt system med en värmepumpanläggning medför en reducering av energikostnaderna. En stor del av oljeförbrukningen ersätts med värme ur avloppsvatten. En viss del av elenergi krävs för drift av värmepumpen m m. Värmepumpens förångardel måste rengöras med kemikalier och/eller utrustning typ borste.

Det slam som avskiljs från avloppsvatten före värmepumpen bör kunna återföras till utgående avloppsvatten. Man bör dock räkna med en viss tillsyn och eventuellt omhändertagande av slam vid grovavskiljningen. Detta har beaktats i driftkostnadskalkylen.

Följande priser och kostnader har använts vid beräkning av driftkostnaderna:

Energipriser	olja (Eo4)	12 öre/Kwh	(960 kr/m ³)
	el	15 öre/Kwh	

Kostnad för anställd personal.

Löner+soc.kostnader 120 000 kr/år anställd

Vid beräkning av driftkostnaderna görs jämförelse med befintlig anläggning. Landstinget har koncession på att förbränna sitt sjukhusavfall vid Falu lasarett. Vid denna förbränning krävs, som tidigare angivits, ca 0,5 m³ olja per dygn. All värme från förbränningen nyttiggöres. I detta värmepumpsystem erhåller man bästa verkningsgraden om värmen från sopförbränningen vintertid växlas till hetvattensystemet och sommartid nyttjas för tappvarmvattengenerering. Tillskottet från värmepumpanläggningen skulle således i detta specifika fall begränsas till att utnyttjas vintertid för tappvarmvattengenerering. Detta medför att värmepumpanläggningen endast utnyttjas till ca 70%.

I driftkostnadsjämförelsen har således för befintligt system endast medtagits kostnaden för den oljevolym som motsvarar det bidrag förbränningen av avfall kan ge till hetvattensystemet. Några kostnader för förbränning av avfallet har icke medtagits i denna kalkyl.

Med stöd av ovanstående har följande energifördelning beräknats för generering av tappvarmvatten från +7°C till +57°C.

	Bef.system	Nytt system
Olja	-	-
Sopor	2,6 Gwh	0,8 Gwh
Avloppsvatten	-	1,2 Gwh
El	-	0,6 Gwh
Summa	2,6 Gwh	2,6 Gwh

En sammanställning av driftkostnader framgår nedan:

	Bef. system	Nytt system
Energi kr/år	216 000 ^{xx)}	90 000
Tillsyn ^{x)} kr/år	-	20 000
Underhåll ^{x)} kr/år	-	15 000
Summa kr/år	216 000	125 000

x) Merkostnader jämfört med bef. system.

xx) Kostnad för den olja som kan ersättas av värme från avfallsförbränning och värmeväxlas till hetvattensystemet.

5.4 Lönsamhetsanalys

För att bedöma lönsamheten av gjorda investeringar har totala årskostnader beräknats. Investeringskostnaderna har omräknats till kapitalkostnader (kr/år). Landstingsförbundet använder härvid 30 års avskrivningstid och 9,5% ränta, vilket är något orealistiskt efter dagens förhållanden. För detta projekt har följande värden använts:

	Avskrivningstid	Ränta
Byggnader, ledningar	30 år	9,5 %
Maskinell och el utrustn.	10 år	9,5 %

Totala årskostnaden för de olika alternativen blir då enligt följande:

	Bef. system	Nytt system
Kapitalkostnader kr/år	-	136 000
Driftkostnader kr/år	216 000	125 000
<hr/>	<hr/>	<hr/>
Total årskostnad kr/år	216 000	261 000

Som framgår ovan medför en värmepumpsinstallation en högre total årskostnad för tappvarmvattengenerering. Detta system medför dock en minskning av oljeförbrukningen med ca 225 m³ per år.

Investeringskostnaden bör delvis kunna täckas med statsbidrag.

De specifika förhållandena vid Falu lasarett med förbränning av avfall och möjligheterna att tillvarata denna värme är något ovanliga. Om hela energiförsörjningen vore baserad på olja skulle "totala årskostnaden" för befintligt system vara ca 312 000 kr per år medan motsvarande kostnad för ett värmepumpsystem kan beräknas till ca 316 000 alltså i stort sett samma årskostnad. Ett värmepumpsystem medför i detta fall en oljebesparing på ca 325 m³ per år.

6 SLUTORD

Av denna förstudie framgår att värmeinnehållet i avloppsvatten från sjukhus motsvarar en stor del av energibehovet för tappvarmvattengenerering. Möjligheterna att återvinna en del av detta värmeinnehåll har studerats. Den teknik och det system som återvinningen bygger på är utnyttjande av en värmepump.

Av väsentlig betydelse för driftsäkerheten i det skisserade systemet är bl a grovreningen av avloppsvattnet före värmeåtervinningen. Alltför mycket fasta föroreningar i avloppsvattnet medför risk för beläggningar på värmepumpens förångarytor och därmed sämre värmeöverföringsförmåga, ökat tryckfall samt slutligen risk för total igensättning.

Olika metoder för grovrening av avloppsvattnet har studerats. Försök med olika utrustningar bör göras i fullstor skala och under längre tid för att finna lämpligaste utrustning. I samband härmed bör även olika materialkombinationer i värmepumpens förångardel kunna prövas. Lönsamheten för liknande projekt synes acceptabel. Lokala förhållanden såsom sättet att generera tappvarmvatten och avloppsledningarnas läge inverkar dock på ekonomin.

För att närmare kunna bedöma lämplig teknik och lönsamhet beträffande värmeåtervinning ur avloppsvatten från sjukhus bör en fullskaleanläggning detaljprojekteras (etapp II) och byggas (etapp III). Enligt ovan bör möjligheter finnas att pröva olika utrustningar och material. I etapp II bör således ett noggrant mätprogram upprättas. Efter färdig anläggning bör en mätperiod, etapp IV, slutligen ge svar på frågorna om lämplig utrustning och lönsamhet.

7 REFERENSER

1. Andersson Bengt, Backman Anders, Wahlberg Herje.
Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Förprojektering
i Falun. Rapport R42:1980.
(Statens råd för byggnadsforskning)
2. Hedlund A, Litzberg L.
Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Försök till
skalmodell. 1979
(Statens råd för byggnadsforskning)
3. Hedlund A.
Analys av de tekniska och ekonomiska förutsättningarna
för återvinning av värmeenergi ur avloppsvatten från
Blackebergs sjukhus. 1979
(Preliminär rapport från Statens råd för byggn.forskning)
4. Lindblad H, Nylund J.
Energiåtervinning ur spillvatten i sjukvårdsbyggnader.
Rapport R22:1980.
(Statens råd för byggnadsforskning)
5. Sylvesten G.
Värmeåtervinning ur varmt avloppsvatten från sjukhus. 1979
(Examensarbete vid avdelningen för Installationsteknik,
CTH)
6. VVS Handboken, 1974.
7. VVS Special, 1:1978.
8. VVS Special, 1:1979.

BILAGA 1.

SAMMANSTÄLLNING AV FLÖDESMÄTNING

Datum: 19800218 - 19800219 (vardagsdygn)

Doseringsflöde: 96 ml/min

Stamkoncentration (litium) 40 mg/l

Flöde i provpunkt: 0,064/k l/s

Tid	Koncentration i provpunkt (k) mg/l	Flöde i provpunkt	
		l/s	m ³ /2h
1400-1600	0,040	1,6	11,5
1600-1800	0,068	0,94	6,8
1800-2000	0,064	1,0	7,2
2000-2200	0,071	0,9	6,5
2200-2400	0,084	0,76	5,5
0000-0200	0,101	0,63	4,6
0200-0400	0,110	0,58	4,2
0400-0600	0,149	0,43	3,1
0600-0800	0,071	0,90	6,5
0800-1000	0,047	1,36	9,8
1200-1400	0,049	1,31	9,4

Dygnsflöde: 82 m³Årsbaserat på detta dygn: 30 000 m³

Temperatur: max 17,4°C
 min 15,4°C
 medel 16,5°C

forts.

SAMMANSTÄLLNING AV FLÖDESMÄTNING

Datum: 19800223-19800224 (helgdygn)

Doseringsflöde: 105 ml/min

Stamkoncentration (litium) 47 mg/l

Flöde i provpunkt: 0,082/k l/s

Tid	Koncentration i provpunkt (k) mg/l	Flöde i provpunkt	
		l/s	m ³ /2h
1030-1230	0.092	0.89	6.4
1230-1430	0.092	0.89	6.4
1430-1630	0.092	0.89	6.4
1630-1830	0.111	0.74	5.3
1830-2030	0.092	0.89	6.4
2030-2230	0.092	0.89	6.4
2230-0030	0.111	0.74	5.3
0030-0230	0.117	0.70	5.0
0230-0430	0.123	0.67	4.8
0430-0630	0.111	0.74	5.3
0630-0830	0.092	0.89	6.4
0830-1030	0.099	0.83	6.0

Døgnsflödè: 70 m³

Årsbaserat på detta dygn: 26 000 m³

Temperatur: max 17,0^oC
min 14,5^oC
medel 16,0^oC

BILAGA 2

SAMMANSTÄLLNING AV ANALYSER

Datum: 19800218 -19800219 (vardagsdygn)

TID	COD mg/l	SUSP mg/l	NITRAT mg/l	SULFAT mg/l	FETTOLKOLVÄTEN mg/l	pH
1400-1600	325	47	0,02	22	3,5	7,4
1600-1800	300	74	-	24	11,0	7,9
1800-2000	370	92	-	23	11,0	8
2000-2200	105	44	-	25	3,1	8
2200-0600	36	13	1,4	29	0,9	x)
0600-0800	270	46	0,02	23	11,0	7,4
0800-1000	1050	260	0,02	-	17,0	7,7
1000-1200	395	96	0,02	50	15,0	7,8
1200-1400	380	180	0,03	15	14,0	7,7

- = koncentrationen under detektionsgränsen

x) = värde saknas

Datum: 19800223-19800224 (helgdygn)

TID	COD mg/l	SUSP mg/l	NITRAT mg/l	SULFAT mg/l	FETTOLKOLVÄTEN mg/l	pH
1030-1230	490	100	-	23	10,0	7,1
1230-1430	395	79	-	22	5,5	7,0
1430-1630	355	84	-	22	14,0	7,1
1630-1830	155	44	0,16	25	2,1	7,1
1830-2030	250	94	-	22	1,8	6,8
2030-2230	155	58	1,4	26	0,9	7,0
2230-0830	74	34	0,9	24	1,9	x)
0830-1030	255	100	-	22	9,6	7,4

- = koncentrationen under detektionsgränsen

x) = värde saknas



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790700-1
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,
Falun.**

R175: 1980

ISBN 91-540-3424-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700275

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 20 kr exkl moms