



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

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



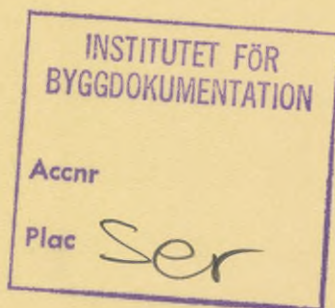
Rapport

R75:1984

**Renvatten som värmekälla
till värmepump**

En studie i Åkarp

**Leif Lemmeke
Staffan Luterkort
Ulf Persson**



K
A 11

Byggeforskningsrådet

R75:1984

RENVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA TILL VÄRMEPUMP

En studie i Åkarp

Leif Lemmeke
Staffan Luterkort
Ulf Persson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
821091-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Burlövs kommun, Arlov.

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

R75:1984

ISBN 91-540-4125-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING.....	5
1. INLEDNING.....	7
1.1 Bakgrund.....	7
1.2 Syfte.....	7
2. BEFINTLIGA ANLÄGGNINGAR I ÅKARP...	9
2.1 Bebyggelse.....	9
2.2 Vattenförsörjningsanläggning.....	9
2.3 Värmepumpanläggning.....	10
2.4 Drift av värmepumpanläggningen....	11
3. VÄRMEOMSÄTTNING VID RENVATTEN- DISTRIBUTION.....	15
3.1 Utförda mätningar.....	15
3.1.1 Förutsättningar.....	15
3.1.2 Flödesmätningar.....	15
3.1.3 Temperaturmätningar.....	16
3.2 Beräkningar.....	18
3.2.1 Flödesfördelning.....	18
3.2.2 Beräkningsteori.....	18
3.2.3 Markens värmeledningstal.....	19
3.2.4 Omgivningstemperaturens betydelse.	20
4. SÄKERHETSFRÅGOR.....	23
4.1 Myndighetskrav.....	23
4.2 Tekniska förhållanden.....	25
4.3 Rekommendationer.....	26
5. RENVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA TILL VÄRMEPUMP.....	29
5.1 Allmänt.....	29
5.2 Uppvärmning av renvatten	29
5.3 Värmebudget.....	30
5.4 Ekonomiska konsekvenser vid värmeuttag.....	33
5.5 Förslag till drift i Åkarp.....	35
5.6 Dimensionering av värmepump.....	36
6. SLUTSATSER.....	37
6.1 Potentiella möjligheter.....	37
6.2 Utvecklingsinsatser.....	37
LITTERATUR.....	39

BILAGOR

- BILAGA 1 Ledningsnät med mätpunkter inom studieområdet.
- BILAGA 2 Mätningar av vattentemperaturen i distributionsnätet vid distribution av nerkyllt vatten (driftperiod 1).
- BILAGA 3 Mätningar av vattentemperaturen i distributionsnätet vid distribution av normaltempererat vatten (driftperiod 2).
- BILAGA 4 Mätningar av vattentemperaturen hos förbrukarna vid distribution av nerkyllt vatten (driftperiod 1).
- BILAGA 5 Mätningar av vattentemperaturen hos förbrukarna vid distribution av normaltempererat vatten (driftperiod 2).
- BILAGA 6 Exempel på mätning av vattentemperaturen hos förbrukarna.
- BILAGA 7 Ledningsnät inom studieområdet med knutpunkter och förutsatta tappningar.

SAMMANFATTNING

Distribution av renvatten inom våra samhällen erbjuder goda möjligheter för att utnyttja renvatten som värmekälla för värmepump. I föreliggande studie har förutsättningarna härför undersökts översiktligt. Undersökningarna har utförts med utgångspunkt från en befintlig värmepumpanläggning i Åkarp, ett mindre samhälle norr om Malmö, som används som illustrationsexempel.

Nedkylning av renvatten i en centralt belägen värmepumpanläggning medför att värme under distributionen tillförs vattnet i ledningsnätet från omgivande mark. Härvid kompenseras till större delen för det centralt gjorda värmeuttaget. Vattnet når dock förbrukarna med en något lägre temperatur än vad det annars skulle ha gjort, och förbrukarna får till viss del kompenseras för detta genom att själva värma vattnet.

Två enkla försök med distribution till ett lokalt avgränsat ledningsnät av nedkylt resp normaltempererat vatten har utförts med den studerade värmepumpanläggningen. Vid försöken har flödes- och temperaturförhållandena i distributionsnätet bestämts och erhållna mätningresultat har jämförts med beräknade värden. Härav framgår att förhållandena i själva distributionsnätet med rimlig säkerhet kan bestämmas med hjälp av relativt enkla beräkningsmodeller. En betydande del av värmeutbytet mellan vattnet och omgivande mark äger emellertid rum i servisledningarna och det fåtal mätningar som utförts i anslutning till dessa ger ej tillräckligt underlag för värdering av detta värmeutbytes samlade storlek.

I anslutning till studien har en allmän värdering av de tekniska, ekonomiska och säkerhetsmässiga förhållanden genomförts. Anslutning av en värmepump till ett befintligt distributionsnät medför inga speciella svårigheter. För att eliminera risken för förorening av renvattnet kan det ur säkerhetssynpunkt vara befogat göra anslutningen med hjälp av en mellankrets och en extra värmeväxlare. Under vissa förutsättningar bör säkerhetsfrågorna dock kunna lösas något enklare.

De ekonomiska värderingarna indikerar att jämfört med användning av renvatten som värmekälla kan det möjligen vara fördelaktigare att utnyttja naturliga värmekällor som exempelvis grundvatten, om dessa finns att tillgå. Värderingsresultatet är beroende av hur stor andel av värmeuttaget som förbrukarna får kompensera för. Hur stor denna andel i realiteten blir är i sin tur beroende av en del praktiska förhållanden kring funktionen och driften av distributionsnätet. Speciellt förhållandena kring värmeutbytet mellan servisledningarna och omgivande mark är av betydelse. För klarläggande av dessa förhållanden bedöms det motiverat att utföra mer detaljerade undersökningar.

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Värmeförsörjning med eldrivna kompressionsvärmepumpar har ägnats stort intresse under senare år och ett betydande antal större och mindre anläggningar har installerats i Sverige. Ekonomin och lönsamheten för den enskilda värmepumpanläggningen är till stor del beroende av vilken värmekälla, som kan komma till användning samt på vilket sätt denna kan tillgodogöras. För att erhålla bäst möjlig projektekonomi gäller det därför att utnyttja lokala förutsättningar genom bl a lämpligt val av värmekälla och lämplig lokalisering av värmepumpen. Detta har medfört att ett flertal olika värmekällor har kommit till användning.

På många håll är förutsättningarna för utnyttjande av naturliga värmekällor som mark och yt- eller grundvatten dock begränsade liksom möjligheter ofta saknas för användning av industriell spillvärme. I sådana fall blir möjligheterna för att utnyttja den värme som omsätts i de kommunala försörjningssystemen särskilt intressanta. Sålunda har avloppsvatten använts som värmekälla vid ett betydande antal större och mellanstora värmepumpanläggningar. Däremot torde renvatten från de kommunala vattenledningsnäten ej ha kommit till användning, åtminstone ej i någon nämnvärd omfattning.

Att renvatten ej kommit till användning som värmekälla tidigare torde bero på att användningen befaras medföra betydande nackdelar för konsumenterna. Dessa nackdelar är dels av säkerhetsmässig, dels av ekonomisk art. De ekonomiska konsekvenserna för brukarna kan hänföras till den nedkylning av det levererade renvattnet, som uppkommer till följd av ett centralt värmeuttag före distributionen. Enligt tidigare utförda översiktliga studier av energiomsättningen i kommunala vatten- och avloppssystem kan det dock normalt förväntas att en centralt åstadkommen temperaturförändring endast medför en mindre förändring av temperaturen på det vatten som når förbrukarna, Hydén och Lundgren (1981). Detta beror på att ett visst värmeutbyte sker mellan vattnet i ledningssystemet och den omgivande marken under distributionen.

1.2 Syfte

Syftet med denna förstudie är att översiktligt belysa möjligheterna för och konsekvenserna av användning av renvatten som värmekälla. Härvid diskuteras först de tekniska förhållandena kring utförande och anslutning av en värmepumpanläggning till ett befintligt kommunalt vattenförsörjningssystem så att värmeinnehållet i renvattnet kan tillgodogöras på lämpligt sätt innan vattnet distribueras till förbrukarna.

Sedan behandlas de säkerhetsmässiga förhållandena varvid möjligheterna för att eliminera risken för att hälsovådliga ämnen vid exempelvis driftstörningar kan komma att distribueras med vattnet till konsumenterna. Vidare undersöks på vilket sätt ett centralt värmeuttag kommer att påverka temperaturen på det distribuerade vattnet och de ekonomiska konsekvenserna härav värderas.

För belysning av dessa förhållanden har en befintlig värmepumpanläggning och ett befintligt vattenledningsnät utnyttjats som illustrationsexempel. Dessa anläggningar är belägna i Åkarp inom Burlövs kommun strax norr om Malmö. Avslutningsvis har möjligheterna för en allmän tillämpning av resultaten härifrån diskuterats.

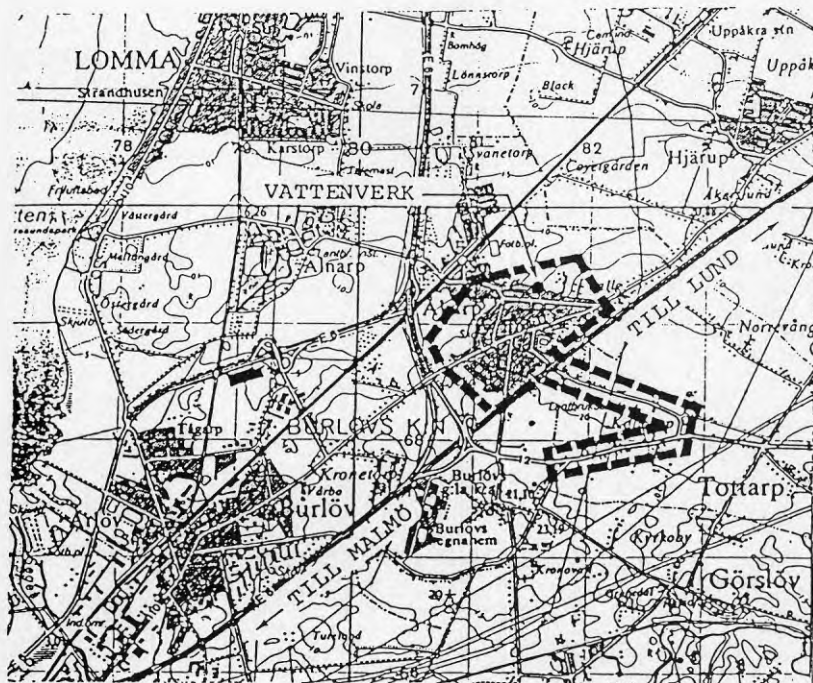
2. BEFINTLIGA ANLÄGGNINGAR I ÅKARP

2.1 Bebyggelse

Åkarps samhälle är beläget inom norra delen av Burlövs kommun mellan Malmö och Lund. Samhället har ca 4 000 invånare och bebyggelsen består i huvudsak av småhus. Härtill kommer en samling flerfamiljshus med ca 200 lägenheter. Dessutom finns flera allmänna anläggningar omfattande diverse kommunala fastigheter samt en folkhögskola, en lantbruksskola och ett privat sjukhem. Egentliga industrier som är anslutna till den kommunala vattenförsörjningen saknas. Dock finns ett tvätteri med egen vattentäkt.

2.2 Vattenförsörjningsanläggning

Vattenförsörjningen för Åkarps samhälle har tidigare baserats på produktionen från en lokal vattentäkt med tillhörande vattenverk, se figur 2.1.



Figur 2.1 Översiktskarta med markering av studieområdet, skala 1:50 000

I vattenverket kan råvatten behandlas medelst luftning och filtrering för borttagning av järn och mangan. Vattenverket rymmer dessutom en hydroforanläggning för renvattendistribution samt en lågreservoar för utjämning och driftreserv. Samhällets expansion har emellertid medfört att den lokala produktionen har blivit otillräcklig, varför samhället har anslutits till kommunens centrala vattenförsörjningsanläggning. Det lokala vattenverket med tillhörande vattentäkt har då tagits ur drift men bibehållits som reservanläggning.

Överföringen av renvatten till samhället sker via en ny huvudledning, som är framdragen till vattenverket. Härifrån kan vattentillförseln till större delen av samhället kontrolleras, medan ett mindre område mot norr är direkt anslutet till överföringsledningen. Renvattnet levereras till Burlövs kommun av Malmö kommun som utnyttjar Vombsjön som ytvattentäkt. Behandlingen av ytvattnet sker bl a genom konstgjord infiltration.

Vattenförbrukningen inom Åkarp samhälle uppgår till 4 å 500 000 m³/år vilket motsvarar en medeldygnsförbrukning om ca 1 200 m³/d. Den specifika medeldygnsförbrukningen beräknas härmed till ca 300 l/p.d. Vid jämförelse med Svenska vatten och avloppsverksförningens statistik får detta karakteriseras som en normal förbrukning för hushålls- och allmänna ändamål (inkl. distributionsförluster). Uppgifter om driften visar vidare att de normala variationerna i dygnsförbrukningen är moderata.

Det lokala ledningsnätet utgörs i huvudsak av gjutjärnsledningar. Inom samhällets nyare bebyggelsesområden mot öster och väster utgörs nätet dock av PVC-ledningar och mot söder av eternitleddningar. Nätet bedöms vara i rimlig god kondition.

2.3 Värmepumpanläggning

En värmepumpanläggning med en effekt på 520 kW har installerats i samhällets centrala del. Anläggningen, som togs i drift under hösten 1981, betjänar ett nytt bostadsområde med 78 lägenheter samt en skola och ett ålderdomshem. Värmepumpen är placerad i anslutning till det lokala vattenverket. Som värmekälla för värmepumpen utnyttjas dels grundvatten från en befintlig brunn vid vattenverket, dels renvatten från den kommunala vattenförsörjningsanläggningen. Vid full effekt och med en temperatursänkning på värmekällan på 4°C fordras en vattentillförsel på ca 22 l/s.

Värmepumpen är försedd med kolvkompressor och arbetar med R22 som köldmedium, vilket medger en framledningstemperatur på 55°C.

Genom värmeväxling sänks framledningstemperaturen i det lokala fjärrvärmenätet dock till 52°C. I anslutning till värmepumpen har en varmvattenackumulator installerats. Ackumulatorn som har en volym på 100 m³ ger möjlighet till erforderlig utjämning av dygnsförbrukningen. Samtidigt uppnås också att värmepumpen under årets varma del ej ständigt behöver kopplas till och från, vilket skulle medföra ett omfattande slitage på främst kompressorn.

Värmepumpen erfordrar även vid dellast ett konstant tillflöde på 22 l/s. Reglering av effekten kan ske stegvis varvid temperaturen på den utgående värmekällan anpassas till önskad effekt. Effektregeringen styrs automatiskt med hjälp av returtemperaturen i fjärrvärmesystemet. För att begränsa vattenförbrukningen kan en del av det utgående vattnet från värmepumpens förångare cirkuleras via en särskild shuntledning.

Vattnet till värmepumpen tillförs från en nyetable-rad brunn som är belägen ca 500 m öster om vattenverket. Brunnen är dimensionerad för ett uttag av 15 l/s, vilket motsvarar vattenverkets behandlingskapacitet. Förutom vatten från den nya brunnen kan även renvatten som överförs från Malmö utnyttjas som värmekälla. Det nedkylda vattnet kan efter användning avledas till dagvattensystemet. Dessutom finns möjligheter att tillföra detta vatten dels till renvattennätet med hjälp av hydroforanläggningen, dels till en äldre brunn för återinfiltration.

2.4 Drift av värmepumpenläggningen

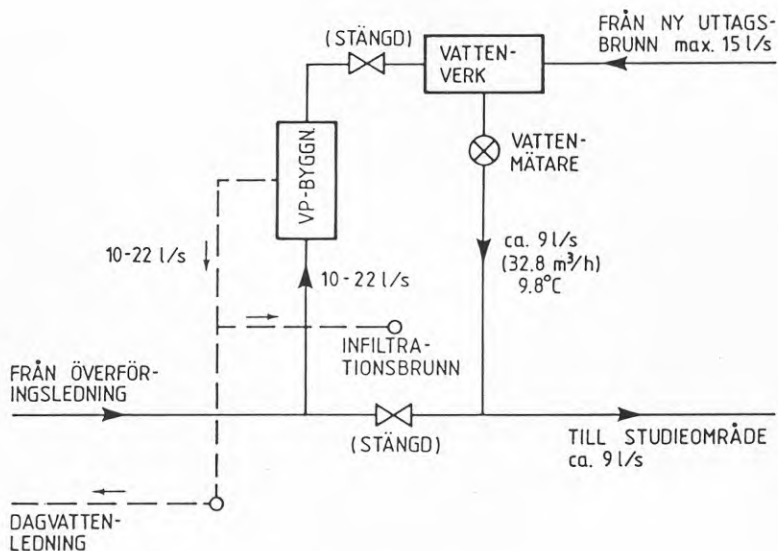
Sedan den nya brunnen tagits i drift är avsikten att efter erforderlig behandling i vattenverket tillföra allt det behandlade vattnet till ledningsnätet. Tillförseln sker medelst hydroforanläggningen. Via ledningsnätet distribueras vattnet till förbrukarna samtidigt med att erforderlig vattenmängd uttas till värmepumpen. En motsvarande vattenmängd kan efter nedkylning avledas till dagvattensystemet eller infiltrationsanläggningen.

Under perioder då konsumtionen och tillförseln till värmepumpen överstiger vattenproduktionen finns möjlighet för utnyttjande av det nedkylda vattnet från värmepumpen för konsumtion. Detta sker praktiskt genom överföring av detta vatten till lågreservoaren under vattenverket. Här blandas det nedkylda vattnet då med det färdigbehandlade vattnet. Vid behov kan tillförsel också ske genom överföring från Malmö.

Det ovan beskrivna planerade driftförfarandet medför att behandlat vatten från det lokala vattenverket tidvis kan komma att blandas med den nedkylda värmekällan och det från Malmö överförda vattnet. Det distribuerade vattnets temperatur kan härvid komma att variera på ett okontrollerbart sätt.

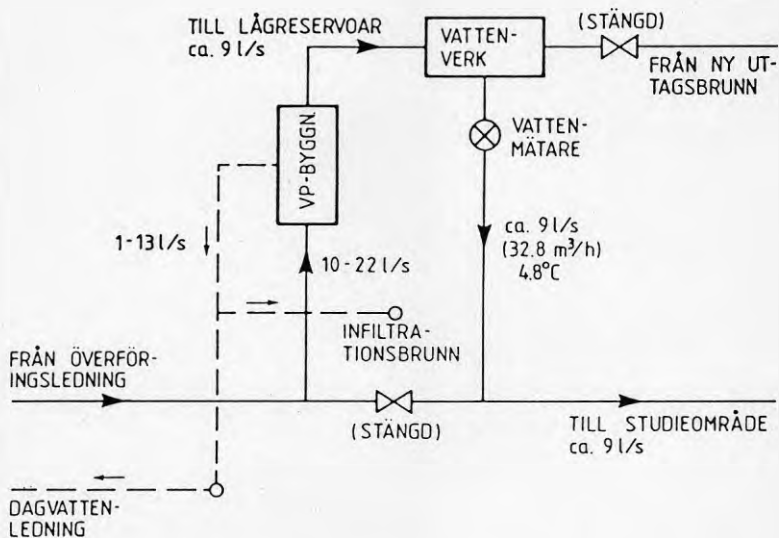
För att åstadkomma en driftsituation som är lämpat för undersökning av flödes- och temperaturförhållandena i ledningsnätet fordras emellertid att vattnet som distribueras från vattenverket håller en konstant temperatur samt att distributionen sker till ett avgränsat område utan annan tillförsel utifrån.

I Åkarp kan en dylik separering av de olika vattnen ske genom att vattnet från vattenverket distribueras till ett avgränsat område omfattande södra och östra delen av samhället som då kan användas som studieobjekt, se figur 2.1. Västra och norra delen av samhället samt värmepumpen förses med vatten genom överföring från Malmö. Avgränsningen mellan de två distributionsområdena kan enkelt ske genom avstängning av en ventil på överföringsledningen mellan anslutningsledningarna till vattenverket och värmepumpen samt två ventiler på avgreningarna från överföringsledningen till ett par distributionsledningar inom studieområdet, se figur 2.2.



Figur 2.2 Flödesschema visande distribution av normaltempererat vatten

För det fall att tillförsel av nedkylt vatten till studieområdet önskas undersökt kan detta realiseras genom att vatten från Malmö via värmepumpen och vattenverket tillförs det avgränsade nätet. Uttagsbrunnen tas då ur drift, se figur 2.3.



Figur 2.3 Flödesschema visande distribution av nedkylt vatten

3. VÄRMEOMSÄTTNING VID RENVATTENDISTRIBUTION

3.1 Utförda mätningar

3.1.1 Förutsättningar

I syfte att klarlägga hur stort värmeutbytet mellan ett renvattennät och den omgivande marken är har undersökningar utförts med det avgränsade ledningsnät inom Åkarp för vilket tillförselsförhållandena kan kontrolleras på sätt som beskrivits i avsnitt 2.4. Utformningen av detta avgränsade nät illustreras i bilaga 1. Undersökningarna har omfattat mätning av temperatur- och flödesförhållandena inom detta nät under två skilda perioder om ca 7 dygn vardera. Mätning av temperaturen på renvattnet har utförts på 11 olika ställen i det avgränsade distributionsnätet, vars lägen framgår av bilaga 1. Temperaturerna mättes två gånger per dygn, morgon och kväll, med bärbar digitaltermometer. Mätställena utgjordes på sju ställen av brandposter (vattenuttag från distributionsledningar) och på fyra ställen av individuella tappningsställen (vattenuttag från servisledningar).

Dessutom mättes temperaturen kontinuerligt med hjälp av skrivare på det från vattenverket (lågreservoaren) distribuerade renvattnet.

Flödesmätningarna omfattade registrering av totala mängden utgående renvatten från vattenverket till det avgränsade distributionsnätet. Vidare registrerades leverans av vatten via en grenledning till grannkommunen. Denna registrering skedde i en mätbrunn vid kommungränsen. Även vattenleveransen till en av de större förbrukarna på grenledningen, Hvilans Lantbruksskola, registrerades. Flödesregistreringarna ovan utgjordes av avläsningar en till två gånger per dygn på fast installerade summamätare.

Första mätperioden, som utfördes i slutet av april 1983, utfördes med värmepumpanläggningen inkopplad enligt figur 2.3. Under denna period distribuerades således nedkyllt renvatten till studieområdet. Under andra mätperioden, distribuerades däremot normaltempererat renvatten enligt figur 2.2.

3.1.2 Flödesmätningar

Under första perioden (med nedkyllt vatten) var den totala förbrukningen inom studieområdet i medeltal ca 32.9 m³/h och under andra perioden (med normaltempererat vatten) ca 32.7 m³/h.

Vattenleveransen till grenledningen, vilken registrerades vid kommungränsen var under första perioden ca 3.19 m³/h och under andra perioden ca 3.21 m³/h. Av dessa mängder förbrukades av Hvilans Lantbruksskola ca 1.84 m³/h och 1.73 m³/h under resp mätperiod.

Variationerna i vattenförbrukningen under de två mätperioderna som utfördes i början av maj 1983, var relativt små och bedöms vara utan nämnvärd betydelse för värmeutbytet mellan ledningsnätet och marken.

3.1.3 Temperaturmätningar

I diagram i bilaga 2-5 redovisas renvattnets temperatur från de 11 olika mätställena i renvattennätet under de två mätperioderna. Av diagrammet i bilaga 2 framgår också reservoartemperaturens medelvärde under resp. mätdygn då nedkyllt vatten distribuerades. I diagrammet har också, med några få undantag, avsatts max- och mintemperatur i reservoaren under mät-dygnen.

Som framgår av diagrammen i bilaga 2 och 3 mättes temperaturen i distributionsnätet i resp mätpunkt två gånger per dygn. Mätpunkternas beteckning (1-8) återfinns på kartan i bilaga 1.

Under första mätperioden var värmepumpen inkopplad kontinuerligt. Under söndagen den 24:e april inträffade dock en driftstörning som medförde att värmepumpen fick tas ur drift under en kortare period. Under denna period fick vatten tillföras från den nya brunnen. Den något högre temperaturen på detta vatten har påverkat temperaturmätningarna i reservoaren och på nätet under söndagen och den efterföljande måndagen. Medeltemperaturen i lågvattenreservoaren varierade i övrigt mellan 3.9°C och 4.9°C. Vattentemperaturen ute i renvattennätet hade i slutet på perioden sänkts till mellan 5.1°C och 7.7°C. Beträffande temperaturfördelningen i nätet gäller i princip att ju längre bort från vattenverket mätstället är beläget desto högre temperatur registreras eftersom värme överförs från omgivande mark till renvattnet. Temperaturhöjningen på renvattnet är härvid beroende av bl a uppehållstiden i vattennätet. Upphållstiden i sin tur bestäms av vattenförbrukningen och dimensionen på rörledningarna.

Temperaturen i en mätpunkt, punkt 8, avviker från vad som beskrivits ovan. Detta mätställe, som är beläget i slutet av en längre grenledning nedströms punkt 4, borde ha en högre temperatur än temperaturen i punkt 4. I realiteten är emellertid temperaturen i punkt 8 ca 0.4°C till 0.6°C lägre än i punkt 4. Vidare noteras att i motsatts till övriga mätningar har temperaturerna i punkt 4 och 8 visat en stigande tendens.

En förklaring till dessa förhållanden kan vara att vattenomsättningen i grenledningen är så begränsat att vattentemperaturen främst är beroende av de naturliga temperaturförändringarna i marken. Att temperaturen ökat något snabbare i punkt 4 och är något högre än i punkt 8 vid mätperiodens slut, kan då bero på att ledningen kring punkt 4 ligger mer ytligt och kraftigare påverkas av den uppvärmning, som sker under våren.

På diagrammen i bilaga 4 och 5 redovisas de vattentemperaturer som uppmätts hos 3 förbrukare. Temperaturen på förbrukningsställena har endast registrerats en gång per dygn (kvällstid). På diagrammen anger sifferbeteckning följt av bokstaven A temperaturmätning utförd hos individuell vattenförbrukare vid första tappställe på inkommande vattenledning. Siffror utan efterföljande bokstav betecknar temperaturmätning på vattnet uttaget från distributionsledningarna via brandposter placerade i närheten av resp. förbrukningsställe, se bilaga 1.

Som det kan förväntas är temperaturen hos individuella vattenförbrukare som regel högre än temperaturen i distributionsledningen utanför förbrukningsstället. Detta beror på att omgivande mark starkare påverkar vattnet genom att uppehållstiden avsevärt förlängs i servisledningen. Dessutom sker en viss uppvärmning av vattnet under vattnets transport fram till tappningsstället i fastigheten där lokaltemperaturen kan vara 20°C. För att så långt som möjligt kompensera för denna uppvärmning inom fastigheten har temperaturmätningarna hos förbrukarna utförts efter att tappning pågått så länge att en konstant temperatur uppnåtts. Förhållandet illustreras av temperatursänkingskurvan i bilaga 6.

Under andra mätperioden med bortkopplad värmepump, var vattentemperaturen i lågreservoaren så gott som konstant d v s ca 9.7°C, vilket motsvarar temperaturen på det uttagna grundvattnet. Under slutet av mätperioden hade mätställena nära vattenverket i stort sett denna temperatur, se bilaga 3. Av samma skäl som under första mätperioden var temperaturerna vid tappningsställena i fastigheterna högre än temperaturen på vattnet i distributionsledningarna utanför fastigheterna se bilaga 5. Mätställe 2 tenderar emellertid att ha en något högre temperatur än 2A. Detta kan bero på att servisledningen är relativt lång och ligger relativt djupt. Dessutom är den till fastigheten inkommande vattenledningen fram till tappningsstället belägen i ett ganska svalt utrymme. I likhet med resultaten från den första mätperioden ökar skillnaden mellan temperaturerna i nätet och reservoarens temperatur med avståndet från reservoaren. Den nerkyllning av vattnet som sker i ledningsnätet ökar härvid med ökad uppehållstid i nätet. Den kraftigaste nerkyllningen av vattnet sker därför vid mätställena 4 och 8. Dessa är därför också de mätställen som är minst känsliga för variationer i vattenreservoarens temperatur.

Förutsättes att marktemperaturen ligger i intervallet mellan de sluttemperaturer, som under de två mätperioderna, registrerats vid de längst bort från vattenverket liggande mätställena, kan den omgivande marktemperaturen beräknas som medelvärdet av sluttemperaturerna i punkt 3, 4 och 7. Marktemperaturen blir då ca 8.2°C.

3.2 Beräkningar

3.2.1 Flödesfördelning

Som redovisats i avsnitt 3.1.2 har mätning av den samlade utpumpade vattenmängden till det avgränsade nätet, flödet i mätbrunnen vid kommungränsen samt vattenförbrukningen hos Hvilans Lantbruksskola utförts under de två mätningsserierna.

Den samlade vattenförbrukningen exkl den vattenmängd, som passerar mätbrunnen har fördelats på abonnenterna inom studieområdet. Fördelningen har beräknats med hjälp av uppgifter om årsförbrukningen hos de större abonnenterna samt om antalet lägenheter inom de olika bostadsområdena. Den fördelade vattenförbrukningen har sedan av beräkningstekniska skäl koncentrerats till vissa knutpunkter på ledningsnätet. Dessa jämte tillhörande vattenuttag redovisas i bilaga 7.

Utpumpningen till ledningsnätet har varit i stort sett konstant under båda mätperioderna. Fördelningen av vattenflödet i ledningsnätet har därför också förutsatts vara konstant.

3.2.2 Beräkningsteori

Värmeenergiutbytet mellan vattnet i ledningsnätet och omgivande mark har studerats med den teori som utvecklats för beräkning av erforderligt läggningsdjup för va-ledningar i jord med hänsyn till tjäle, se Jansson (1963), (1968), (1969) och (1979). Följande ekvationer nyttjas därvid.

Värmeströmningen till och från röret kan tecknas:

$$q_1 = \frac{2 \pi \lambda}{\ln (2h/r_u)} \times t_{ln} \quad (\text{W/m}) \quad (1)$$

där

λ = markens värmeledningstal, W/m K

h = rörets läggningsdjup, m

r_u = rörets utvändiga radie, m

t_{ln} = logaritmiska medeltemperaturdifferensen, som kan tecknas

$$t_{ln} = \frac{(t_{be} - t_h) - (t_{en} - t_h)}{\ln \frac{t_{be} - t_h}{t_{en} - t_h}} \quad (\text{K}) \quad (2)$$

där

t_{be} = vattentemperatur vid rörlängdens början, K

t_{en} = vattentemperatur vid rörlängdens slut, K

t_h = temperaturen i omgivande mark på långt avstånd från röret, K

Värmeutbytet per längdenhet av röret kan tecknas:

$$q_2 = \rho Q C (t_{be} - t_{en}) L \quad (\text{W/m})$$

där

ρ = vattnets densitet, kg/m^3

Q = vattenflödet i röret, m^3/s

C = vattnets specifika värme, Ws/kg K

L = rörets längd, m

I de följande beräkningarna förutsätts stationärt tillstånd, vilket ger $q_1 = q_2$

3.2.3 Markens värmeledningstal

Uppmätta temperaturer i ledningsnätet har använts för att beräkna markens värmeledningstal.

Som framgår av ekvation (1) ovan är energiutbytet proportionellt mot temperaturdifferensen mellan vattnet i ledningsnätet och omgivande mark.

På basis av de mätningar, som redovisats i bilaga 2 och 3, har temperaturen i omgivande mark beräknats till i medeltal $+8.2^\circ\text{C}$, jfr avsnitt 3.1.3. Temperaturen i reservoaren var vid mätningstillfället $+9.7^\circ\text{C}$. Vid drift av värmepumpen har utpumpat vatten hållit en temperatur av $+3.9$ á $+4.9^\circ\text{C}$. Temperaturdifferensen mot omgivande mark har således varit störst under tiden värmepumpen varit i drift. För att i möjligaste mån minska inverkan av mätfel har därför mätningarna från sistnämnda period, då temperaturdifferensen varit störst, använts för beräkning av markens värmeledningstal.

Beräknat värmeledningstal är 2.6 W/m K . Detta tal är något högre än vad som kan förväntas i en fuktig morän, $2.3\text{--}2.5 \text{ W/m K}$. Det bör dock framhållas, att det beräknade värmeledningstalet icke bör uppfattas som en ren materialkonstant, utan utgör ett mått på värmeöverföringen från vattenledningen genom markmaterialet mot den exponerade markytan.

Med användande av framräknat värmeledningstal erhålls följande beräknade temperaturfördelning i ledningsnätet, vilken jämförts med de temperaturer, som uppmätts strax före slutet av resp mätningssperiod. De beräknade värden utgår från överensstämmelse med de uppmätta värdena i mätpunkt 1.

Punkt	Period 1		Period 2	
	<u>Värmepump inkoppl.</u>	<u>Värmepump ej inkoppl.</u>	<u>Värmepump inkoppl.</u>	<u>Värmepump ej inkoppl.</u>
	<u>Uppmätt temp. °C</u>	<u>Beräknad temp. °C</u>	<u>Uppmätt temp. °C</u>	<u>Beräknad temp. °C</u>
Reservoar	3.9	4.7	9.7	9.8
1	4.8	4.8	9.8	9.8
2	5.6	5.5	9.9	9.4
3	7.6	7.6	9.2	8.4
4	7.5	8.1	8.1	8.2
5	6.5	6.6	9.3	9.0
6	6.8	6.8	9.2	8.8
7	7.7	7.7	9.4	8.4

Överensstämmelsen mellan uppmätt och beräknad temperatur är mycket god för i stort sett samtliga punkter när vämpumpen är i drift, vilket innebär att framräknat värmeledningstal bör kunna användas för hela nätet. Den stora uppmätta temperaturskillnaden mellan reservoaren och punkt 1 är svårförklarlig. Till viss del beror denna dock på att vattnet tillförs värme i samband med tryckstegringen i renvattenpumpen och uppehållet i hydroforen.

Under period 2 erhålls god överensstämmelse mellan uppmätt och beräknat värde i reservoaren samt i punkterna 1, 2, 4, 5 och 6. Skillnader på 0.8–1.0°C erhålls i punkterna 3 och 7. Uppmätt temperatur i punkt 7 borde ha varit något lägre relativt den uppströms belägna punkten 5, vilket tyder på att visst mätfel kan ha förekommit. Visst fel i beräkningen kan också ha erhållits genom att konstant vattenflöde förutsatts.

3.2.4 Omgivningstemperaturens betydelse

Marktemperaturen i nivå med vattenledningarna följer markytans temperaturvariationer med viss dämpning samt viss tidsförskjutning. Vid ett läggningsdjup av ca 1 m är förskjutningen ca 3 veckor och temperaturamplituden ca $\pm 7^{\circ}\text{C}$. Under mätperioden har marktemperaturen varit ca 8°C , vilket motsvarar årsmedeltemperaturen vid markytan.

För att kontrollera värmepumpens inverkan vid lägre temperaturer i omgivande mark har vattentemperaturerna i ledningsnätets avtappningspunkter beräknats för förutom +8.2°C även för +4°C och 0°C. Marktemperaturen bedöms inte bli lägre än 0°C, eftersom ledningsnäten normalt förläggs på frostfritt djup. Beräkningen har skett med $\lambda = 2.6 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$. Följande resultat har erhållits

Beräknad vattentemperatur, °C för $\lambda = 2.6 \text{ W/m K}$

Omgivande marktemp	<u>+8.2°C</u>		<u>+4.0°C</u>		<u>±0°C</u>			
	Med	VP	Utan	VP	Med	VP	Utan	VP
Punkt								
Reservoar	4.8	9.8	4.8	9.8	4.8	9.8		
1	4.8	9.8	4.8	9.7	4.7	9.6		
11	5.8	9.3	4.6	8.0	3.4	6.8		
12	5.0	9.7	4.8	9.4	4.4	9.0		
2	5.5	9.4	4.6	8.6	3.8	7.6		
21	5.6	9.4	4.6	8.4	3.6	7.4		
31	6.4	9.0	4.4	6.8	2.4	4.8		
3	7.6	8.4	4.2	5.0	0.8	1.6		
4	8.1	8.2	4.0	4.2	0.2	0.3		
22	5.8	9.4	4.6	8.2	3.4	7.0		
61	7.0	8.8	4.3	6.0	1.6	3.4		
7	7.7	8.4	4.2	4.8	0.7	1.4		
23	6.0	9.2	4.6	7.8	3.1	6.4		
24	6.6	9.0	4.4	6.8	2.2	4.6		
25	6.8	8.8	4.4	6.4	2.0	4.0		

Anm: VP = värmepump

Som väntat visar beräkningarna att närmast vattenverket där vattenomsättningen är hög, påverkas vattentemperaturen mycket lite av omgivande marktemperatur. I de yttre delarna av nätet, där vattenomsättningen är låg, antar vattnet däremot en temperatur, som är mycket nära omgivningens.

Då det ovan använda värmeledningstalet, $\lambda = 2.6$ W/m K, kan befaras vara något för högt, har även temperaturfördelningen för ett något lägre värde på markens värmeledningstal undersökts. Härvid har talet $\lambda = 2.0$ W/m K valts. Detta värmeledningstal motsvarar förhållandena i relativt torr morän eller fuktig grus och sand. Beräkningen har genomförts för omgivningstemperaturen $+8.2^\circ\text{C}$. Följande resultat har erhållits

Beräknad vattentemperatur, $^\circ\text{C}$ för, $\lambda = 2.0$ W/m K

Punkt	Med VP	Utan VP
Reservoar	4.8	9.8
1	4.8	9.8
11	5.6	9.4
12	5.0	9.8
2	5.4	9.6
21	5.4	9.5
31	6.2	9.2
3	7.4	8.6
4	8.0	8.3
22	5.6	9.4
61	6.6	8.9
7	7.4	8.6
23	5.7	9.4
24	6.2	9.0
25	6.4	9.0

Beräkningarna visar att den förutsatta, något försämrade värmeledningsförmågan resulterar i att vattentemperaturen blir $0-0.4^\circ\text{C}$ lägre, då värmepumpen är inkopplad. Skillnaden i temperatur på vattnet, då värmepumpen ej är inkopplad, blir något mindre, $0-0.2^\circ\text{C}$, på grund av den mindre temperaturdifferensen mot omgivande mark.

4. SÄKERHETSFRÅGOR

4.1 Myndighetskrav

Säkerhetsföreskrifter för utförande och användning av värmepumpanläggningar finns i de s k kylnormerna, som utgivits av Svenska kyltekniska föreningen och godkänts av Arbetarskyddsstyrelsen. I dessa behandlas dock ej användningen av olika värmekällor närmare. Risken för förorening av renvatten vid användning av detta som värmekälla har sålunda ej heller berörts.

Kvalitetskrav för renvatten, som tillförs fastighet från allmän anläggning för vattenförsörjning, finns angivna i medicinalstyrelsen och veterinärstyrelsens gemensamma Råd och anvisningar, MM 112/1967. Livsmedelsverket håller dock f n på att utarbeta nya anvisningar, som förväntas medföra skärpningar i vissa avseenden. Dessa anvisningar kan möjligen komma att tillämpas redan från 1984.

I Svensk Byggnorm, SBN 1980 anges vidare bestämmelser för tappvatteninstallationers utförande. Sålunda åligger det enligt punkt 51:124 den som tillverkar eller installerar vattenvärmare eller annan utrustning att påvisa att apparaten uppfyller kraven på skydd mot föroreningar samt att apparaten har erforderlig beständighet enligt 51:16. Bl a krävs att "inläckning av köldmedier, värmebärare e d skall förhindras". Närmare anvisningar för på vilket sätt detta skall ske lämnas dock ej i byggnormen.

Statens Planverk har till följd av den pågående utveckling med installation av mindre värmepumpar tagit upp frågan om det kan finnas hälsorisker i samband med användning av värmepumpar. I sitt yttrande häröver tar emellertid planverket endast upp de eventuella risker som kan föreligga i samband med tappvarmvattenberedning genom s k enkel värmeväxling. Yttrandet avser värmepumpinstallationer inom fastighet och gäller sålunda ej direkt värmepumpanläggningar, som ansluts till allmän anläggning för vattenförsörjning. Dessutom synes det i vissa fall vara en tolkningsfråga om de kvalitetskrav som gäller för renvatten i egenskap av livsmedel även skall tillämpas på tappvarmvatten. Yttrandet är ändå av intresse för den aktuella frågeställningen och huvudinnehållet refereras därför i det följande.

För närvarande finns inga bestämmelser för hur stor mängd köldmedium som får förekomma i samband med s k enkel värmeväxling. Ej heller finns det någon klassificering vad gäller smörjoljor och deras giftighet. Tills vidare avser planverket därför tillämpa vissa riktvärden vad gäller köldmediemängd och motsvarande smörjoljemängd.

Planverket fordrar att vid s k enkel värmeväxling vid tappvattenvärmning skall följande villkor vara uppfyllda:

- a) Köldmediet ska vara så beskaffat och förekomma i sådan största mängd att det vid utläckning i ett tappvattensystem inte bedöms förorsaka hälsofara.
- b) Kompressormörjolor och andra ämnen som kan förekomma tillsammans med köldmediet ska vara så beskaffade och förekomma i sådana mängder att de vid utläckning i tappvattnet inte bedöms förorsaka hälsofara.
- c) Värmeeffekten vid laddning av värmaren förutsätts inte vara överdimensionerad i förhållande till ackumuleringsvolym och tappningsfrekvens.
- d) Ett köldmedium som ingår i kylnormerna grupp 1B godtas, t ex R12, R22, R502 och R114, i värmepumpsaggregat med köldmediemängder mindre än 60 kg och där $I_p \leq 200$ vid kondensorn (se Kylnorm moment 45 och 46). En förutsättning är att mängden smörjolja i aggregatet står i proportion till köldmediemängden. Vid köldmediemängder större än 30 kg bör en indikation på läckage övervägas.
- e) Vattenvärmaren ska utföras av sådant material och med sådana fogar att den kan fungera under tappvatteninstallationens eller byggnadens beräknade livslängd.

Planverket framhåller vidare att en mindre mängd av smörjoljan finns i köldmediesystemet, bl a löst i köldmediet och kan därmed vid läckage förorsaka tappvarmvattnet. Emellertid torde koncentrationen av giftiga ämnen i regel bli så låg att hälsofara inte uppstår.

De angivna bedömningskriterierna kan komma att ändras i takt med att ämnen som ingår i värmepumpen klassificeras och bedöms.

Vad som nämnts ovan gäller enligt uppgift "mindre" värmepumpar, som vanligen är installerade direkt i de fastigheter, som är i behov av varmvattnet. Med hjälp av villkoren enligt punkt d) ovan kan de av planverket accepterade värmepumpstorlekarna värderas enligt följande.

Med en köldmediemängd på 60 kg R22 erhålls med aktuella värmepumpkonstruktioner omkring 200-250 kW värmeeffekt och med lika stor mängd R12 omkring 120 kW. Med villkoret $I_p \leq 200$ menas kondensorns köldmedieinnehåll (I) i liter multiplicerad med kondensortrycket (p) i bar (övertryck) på köldmediesidan. En kondensator med $I_p = 200$ lär emellertid inte kunna överföra mer än 10-20 kW.

Villkoret I p ≤ 200 har av planverket angivits beroende på att vid värden ≤ 200 får besiktning av tryckkärl utföras av hos tillverkaren anställd personal med erforderlig kompetens. Värden inom intervallet $200 < I p \leq 5000$ betraktas dock som fullt acceptabla, men en första besiktning skall då utföras av behörig besiktningsman. Det som planverket finner väsentligt är att köldmediemängden skall vara mindre än 60 kg.

Vid formuleringen av de ovan angivna villkoren synes planverket att ha beaktat att tappvarmvatten vanligtvis ej konsumeras. Då renvatten (dricksvatten) används som värmekälla vid s k enkel värmväxling i en värmepumps förångare bör rimligtvis ännu strängare krav ställas än vad som angivits av planverket.

4.2 Tekniska förhållanden

För att öka säkerheten vid s k enkel värmväxling mellan renvatten och köldmedium i värmepumpens förångare kan trycket på förångarens renvattensida hållas högre än det tryck som råder på köldmediesidan. Eventuellt läckage skulle då innebära att vattnet strömmar in i värmepumpkretsen, vilket i bästa fall innebär att kompressorn löser ut i stället för att haverera. Då kompressorn stannar p g a dylikt läckage sker emellertid tryckutjämning mellan köldmedie- och vattensidan, varvid olja och köldmedium kan förorena renvattent. Med hjälp av tryckvakter kan det kontrolleras att en viss föreskriven tryckdifferens upprätthålls. Om denna underskrids skall distributionen av renvatten, som passerar förångaren avbrytas, vilket kan ske automatiskt.

Om däremot samma eller högre tryck upprätthålls på köldmediesidan än på renvattensidan finns risk för att en del olja och köldmedium vid läckage kan läcka ut i renvattensystemet innan en tryckutjämning kan registreras och felet åtgärdas. Denna risk torde vara störst vid förekomst av små läckor. Ett arrangemang med tryckstyrda ventiler som kan avskärma renvattennätet från förångaren torde därför i detta fall ej ge tillräcklig säkerhet mot inläckage av olja och köldmedium i renvattennätet.

Aktuella förångningstryck för köldmediet är de tryck som råder vid förångningstemperaturer lägre än ca 10°C. Nedan anges mättnadstemperaturerna och motsvarande förångningstryck (absoluttryck) för de två vanligaste köldmedierna.

Mättnadstemperatur	Förångningstryck	
	0°C	10°C
R22	5.0 bar	6.9 bar
R12	3.1 bar	4.2 bar

Trycket i ett vattenledningsnät bör enligt Svenska vatten- och avloppsverksföreningens anvisningar ej överstiga 7 bar i övertryck över gatunivån motsvarande 8 bars absoluttryck. Trycken i de kommunala ledningsnäten varierar normalt mellan 5 och 8 bar (absoluttryck). Vid användning av R12 som köldmedium bör det därför vara möjligt att med hjälp av ett tryckstyrvt ventilarrangemang uppnå rimlig säkerhet mot förorening av renvattnet med olja och köldmedium. Vid användning av köldmediet R22 erhålls däremot tryck av samma storleksordning på renvatten- och köldmediesidan om ej särskilda åtgärder vidtas. I Åkarp används R22 och bl a där bör föroreningsfrågan därför lösas på annat sätt.

En annan lösning, som medför att risken för förorening av renvattnet bör kunna betraktas som eliminerad, är att införa en extra värmeväxlare i vilken renvattnet (värmekällan) värmeväxlas mot en mellankrets för överföring av värme till värmepumpens förångare. I mellankretsen cirkuleras vatten, ev med tillsatts av någon giftfri fryspunktsnedsättande produkt.

Utöver ökade kapitalkostnader medför införandet av mellankretsen något ökade driftkostnader i form av ökat pumparbete för att kompensera tryckfallet över den extra värmeväxlaren. Dessutom försämras värmepumpens värmefaktor med ca 4 % till följd av temperaturförlusten över värmeväxlaren (2°C till 3°C).

Om trots allt köldmedium skulle förorena renvattnet, är köldmediet i ångfas då vatten-köldmedieblandningen strömmar ut ur kranen vid tappningsstället. Detta innebär att risk för konsumtion av själva köldmediet är obetydlig eller åtminstone mycket liten. Köldmedierna R22 och R12 anses giftfria och risken för förorening av renvattnet med dessa ämnen bör därför ej övervärderas.

I kontakt med öppen låga eller heta ytor bildar dessa medier dock giftiga sönderfallsprodukter.

4.3 Rekommendationer

Användning av renvatten som värmekälla för värmepump kan medföra risk för förorening. För att denna risk skall kunna betraktas som eliminerad och vattnet utnyttjas som dricksvatten fordras, att en extra mellankrets införes mellan värmepumpen och vattendistributionsanläggningen. Denna lösning bör användas bl a när driftrycken i värmepumpens förångare är av samma storleksordning som driftrycken i vattenledningsnätet. Detta är normalt fallet när exempelvis R22 används som köldmedium i värmepumpen.

I vissa fall bör frågan om risk för förorening dock kunna lösas på ett något enklare sätt. Förutsättningar härför finns när driftrycken i förångaren är lägre

än trycken i vattenledningsnätet, vilket kan vara fallet när exempelvis köldmediet R12 används. Renvatt-
net bör då kunna tillföras förångaren direkt om till-
och återföringen kontrolleras automatiskt av ett tryck-
styrt ventilarrangemang, som utlöser vid ett eventu-
ellt läckage i förångaren. En dylik lösning bör dock
först väljas sedan de aktuella driftförhållandena
noga klarlagts och säkerhetsriskerna värderats.

Oberoende av vilken lösning som väljas synes det lämp-
ligt, att innan en värmepumpanläggning för användning
av renvatten som värmekälla färdigställs, informera
den lokala miljö- och hälsoskydds nämnden om den pla-
nerade verksamheten samt inhämta de eventuella anvis-
ningar härför, som nämnden kan komma att meddela.

5. RENVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA TILL VÄRMEPUMP

5.1 Allmänt

Utnyttjande av renvatten som värmekälla till värmepump är som framgår av kapitel 3 tekniskt möjligt utan att detta medför problem med vattendistributionen. Som redovisats i kapitel 4 bör också de säkerhetsmässiga frågorna kring användning av renvatten som värmekälla kunna lösas med rimliga insatser. Då distribution av renvatten sker i direkt anslutning till samlhällena, där uppvärmningsbehoven finns, kan användning av renvatten vidare ske till låga kostnader jämfört med användning av alternativa värmekällor såsom bl a grundvatten. Efter nedkylning av renvattnet i värmepump kan vattnet användas som förbrukningsvatten. Detta medför emellertid att renvattnet när förbrukarna med en något lägre temperatur, vilket förbrukarna till viss del får kompensera för genom att själva värma renvattnet. Den ekonomiska besparing som kan göras genom ett centralt värmeuttag motverkas sålunda av den extra värme som konsumenterna får tillföra det erhållna vattnet. I det följande belysas närmare hur stor denna förlust är i förhållandena till den centralt uttagna värmemängden och de ekonomiska konsekvenserna härav värderas.

5.2 Uppvärmning av renvatten

Med ledning av utförda undersökningar har Svenska vatten- och avloppsverksföreningen framräknat hur hushållsförbrukningen i ett svenskt medelhushåll med modern standard fördelade sig på olika användningsområden år 1974. Resultatet härav redovisas i tabell 5.1. I tabellen redovisas också en bedömning av vilka delar av vattenförbrukningen som behöver tillföras värme på förbrukarnas bekostnad. Härvid har beaktats att även en del av kallvattnet tillförs värme. Sålunda uppvärms det vatten som tillförs toilettcisternerna till nära rumstemperatur. Under den kalla årstiden sker detta på förbrukarens bekostnad. Under sommarperioden sker uppvärmningen däremot kostnadsfritt. Posten "Övrigt" avser trädgårdsbevattning, biltvätt m m.

Som framgår beräknas ca 70 % av vattenförbrukningen för hushållsändamål behöva bli uppvärmd på förbrukarnas bekostnad. År 2000 bedömer VAV att hushållsförbrukningen i medeltal kommer att ha ökat till högst 220 l/pd. Detta torde dock vara utan betydelse för hur stor andel av vattnet som behöver värmas.

Användning	Förbrukning	Andel som värms av förbr.	Andel som ej värms av förbr.
Personlig hygien	70 l/pd	55 l/pd	15 l/pd
Wc-spolning	40 l/pd	20 l/pd	20 l/pd
Textiltvätt	30 l/pd	30 l/pd	
Disk	40 l/pd	40 l/pd	
Mat och dryck	10 l/pd	5 l/pd	5 l/pd
Övrigt	<u>25 l/pd</u>	<u>5 l/pd</u>	<u>20 l/pd</u>
Summa	215 l/pd	155 l/pd	60 l/pd
Fördelning	100 %	72 %	28 %

Tabell 5.1 Hushållsförbrukningens fördelning

Även för förbrukningen för allmänna ändamål gäller att den dominerande andelen behöver uppvärmas på förbrukarnas bekostnad. För industriförbrukningen är fördelningen mellan det som behöver värmas och det som ej behöver värmas helt beroende av i vilken typ av industri vattnet används. I allmänhet torde dock även här gälla att den dominerande andelen av förbrukningen behöver värmas upp. Däremot behöver ej vattenförlusterna från ledningsnätet kompenseras genom värmetillförsel. Dessa utgör dock endast en mindre del av den samlade förbrukningen (ofta ca 10 %). Om värmeuttaget sker vid vattenverket bör detta kunna anordnas så att kompensation ej heller behöver ske för verkets egen förbrukning för filterspolning o d. Denna förbrukning är normalt av storleken 4 % av den samlade förbrukningen.

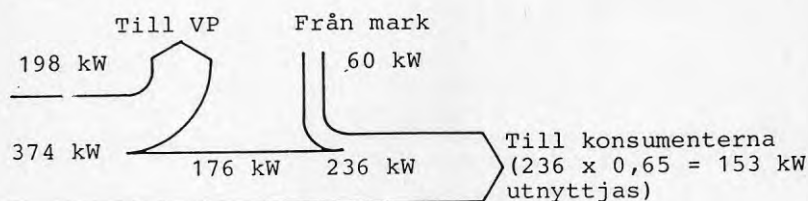
I de följande beräkningarna, som avser förhållandena i Åkarp, förutsätts att 65 % av det vatten som distribueras direkt eller indirekt behöver uppvärmas hos förbrukarna på dessas bekostnad.

5.3 Värmebudget

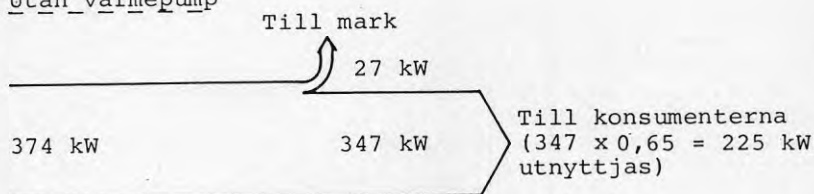
Med ledning av den temperaturfördelning och den fördelning av vattenuttagen, som redovisas i kapitel 3, har vattnets ursprungliga energiinnehåll samt den omsättning av energin, som sker i samband med distributionen, beräknats.

Beräkningar har utförts för dels det fall då värmepumpen är inkopplad, dels det fall då den är urkopplad. Resultaten av beräkningarna åskådliggörs i följande två diagram i figur 5.1, som visar energiomställningarna vid omgivningstemperaturen $+8,2^{\circ}\text{C}$ och värmeledningstalet $\lambda = 2,6 \text{ W/m K}$. Energiomställningarna har beräknats i relation till en referenstemperatur på 0°C .

Med värmepump



Utan värmepump



Figur 5.1 Energibudget med och utan värmepump

Enligt beräkningen ovan är effektuttaget i värmepumpen 198 kW. Av diagrammen framgår vidare att konsumenterna vid värmepumpsdrift tillförs ett vatten, vars energiinnehåll är ca 110 kW lägre än om värmepumpen inte är i drift. Av konsumenternas vattenförbrukning behöver enligt avsnitt 5.2 ca 65 % uppvärmas direkt eller indirekt. För att kompensera för det lägre energiinnehållet i det tillförda vattnet måste konsumenterna därför tillföra $65 \% \times 110 \text{ kW} = 72 \text{ kW}$. Det nettouttag som det samlade kollektiv kan tillgodoräkna sig till följd av värmepumpsdriften blir således $198 \text{ kW} - 72 \text{ kW} = 126 \text{ kW}$. Totalt kan man således tillgodogöra sig ca 64 % eller nära två tredjedelar av värmepumpens bruttoeffektuttag ur vattnet.

För värmeutbytet mellan vattnet i ledningssystemet och den omgivande marken gäller för varje delsträcka att utbytet är proportionellt mot temperaturredifferensen mellan vattnet och marken, d v s att superpositionsprincipen gäller för beräkning av värmeutbytet. En konsekvens av detta är att en förändring av marktemperaturen ej påverkar förhållandet mellan de värmeomsättningar som äger rum när värmepumpen är inkopplad resp. urkopplad. Detta förhållande är också oberoende av den utgångstemperatur som vattnet distribueras med, d v s av den värmepumpeffekt som uttas. Sammanfattningsvis gäller därför att den värmemängd som det samlade kollektiv kan tillgodogöra sig utgör en konstant andel av värmepumpans bruttoeffektuttag från det distribuerade vattnet. Denna andel, som för anläggningen i Åkarp beräknats till 64 %, är alltså oberoende av de säsongmässiga temperaturvariationerna i marken samt av värmepumpens effektstorlek och av eventuella variationer i effektuttaget.

Vid ett lägre värmeledningstal för omgivande mark blir den nettoeffekt, som man kan tillgodogöra sig mindre. Vid värmeledningstalet 2.0 W/m K blir energinnehållet i det vatten, som tillförs konsumenterna ca 120 kW lägre om värmepumpen är inkopplad jämfört med om den ej är inkopplad. Konsumenterna måste således tillföra $65 \% \times 120 \text{ kW} = 78 \text{ kW}$ till vattnet för att kompensera detta. Nettouttaget från systemet blir då $198 \text{ kW} - 78 \text{ kW} = 120 \text{ kW}$ eller ca 60 % av värmepumpens bruttoeffektuttag. Vid en minskning av värmeledningstalet med ca 25 % (från 2.6 W/m K till 2.0 W/m K) försämras nettoeffektuttaget från systemet således med ca 5 % (från 126 kW till 120 kW).

Det bör anmärkas att vattenuttagen i beräkningarna förutsatts ske direkt från ledningsnätets huvudledningar. Verkligt uttag sker till mycket stor del via små servisledningar. Vattnets temperatur kommer härigenom att ytterligare närma sig omgivande marks temperatur, vilket medför att påverkan från en ansluten värmepump i realiteten blir mindre än beräkningarna ovan visar.

Det här studerade nätet är relativt litet. Vid ett större nät blir vattnets totala uppehållstid i nätet större, vilket betyder att påverkan på vattnets temperatur från omgivande mark ökar. Detta innebär i sin tur att nettoeffektuttaget i relation till värmepumpens bruttouttag ökar.

5.4 Ekonomiska konsekvenser

Det värmertilskott som konsumenterna får kompensera av värmepumpens effektuttag medför en energiekonomisk försämring för det samlade försörjningssystemet. Systemets energiekonomi och därmed försämringen i förhållande till själva värmepumpanläggningens energiekonomi kan karakteriseras av en systemvärmefaktor η_s . Denna är beroende av värmepumpanläggningens värmefaktor η_v och den andel av värmepumpens energiuttag, f , som konsumenterna får bekosta med kompensationsenergi. Följande samband gäller:

$$\eta_s = \frac{Q_1}{E + Q_f} = \frac{1}{1/\eta_v + f}$$

där

- Q_1 = värmepumpens kondensoreffekt
 E = drivenergi inkl hjälpenergi som tillförs värmepumpen
 Q_f = kompensationseffekten som får bekostas av konsumenterna
 η_v = Q_1/E = värmepumpens värmefaktor
 f = Q_f/Q_1 = "kompensationsfaktor"

Systemvärmefaktorns beroende av "kompensationsfaktorn" och värmefaktorn illustreras i tabell 5.2.

Värmepumpens värmefaktor	Systemvärmefaktor Kompensationsfaktor, f					
	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,00
2,00	1,11	1,25	1,43	1,67	1,82	2,00
2,50	1,25	1,43	1,67	2,00	2,22	2,50
3,00	1,37	1,59	1,89	2,33	2,63	3,00
4,00	1,54	1,82	2,22	2,86	3,33	4,00

Tabell 5.2 Översikt över systemvärmefaktorens storlek

För anläggningen i Åkarp erhålls med $f = 0.36$ och $\eta = 2.50$ en systemvärmefaktor av $\eta = 1.32$. Jämfört med om någon annan likvärdig värmekälla används, exempelvis grundvatten, representerar detta en försämring av driftekonomin med 47 % eller nära hälften. Om en annan värmekälla finns att tillgå skall nämnda försämring av driftekonomin vara mindre än de extra drift- och kapitalkostnader, som som utnyttjandet av den alternativa värmekälla medför för att lösningen med renvatten som värmekälla skall vara intressant.

Det ovan redovisade beräkningsexemplet indikerar att driftekonomin vid användning av renvatten som värmekälla är relativt dålig. Det bör härvid framhållas att det använda värdet för "kompensationsfaktorn", f , baseras på förhållandena i distributionsledningarna. Hänsyn har sålunda ej tagits till det väremutbyte som sker i sevisledningarna. Beaktas detta kommer driftekonomin att förbättras väsentligt. Beräkningen ovan bör därför endast uppfattas som ett beräkningsexempel.

För att förbättra energi- och driftekonomin vid användning av renvatten som värmekälla kan vissa åtgärder vidtas med ledningsnätet. Härvid kan en reduktion av "kompensationsfaktorn", f , eftersträvas. Genom stängning av vissa ventiler på nätet kan vattnet tvingas ta en längre väg för att nå fram till förbrukarna. Detta medför en längre gående anpassning av vattnets temperatur till marktemperaturen. Detta är dock enbart önskvärt om denna anpassning medför en ökning av vattnets temperatur $d v s$ om vattnets utgångstemperatur är lägre än marktemperaturen. Normalt är detta enbart fallet under den varma årstiden.

Det bör vidare framhållas att stängning av ventiler på ledningsnätet medför en försämring av försörjnings-säkerheten. Dyliga åtgärder får därför först vidtagas sedan säkerhetsaspekterna analyserats.

Vid den ovan redovisade värderingen av energiomsättningarna i ledningssystemet och de ekonomiska konsekvenserna härav har konsumenterna behandlats som ett kollektiv. Det bör emellertid framhållas att de enskilda förbrukarna berörs olika beroende på vilken del av nätet de är anslutna till. De vattenförbrukare som har fastigheter belägna nära värmepumpenläggningen, kan sålunda påverkas kännbart, medan de, som har fastigheter belägna längre bort, endast berörs marginellt. Betydelsen av temperatursänkningen för den enskilda förbrukaren bör dock ej övervärderas. Sålunda medför en temperatursänkning på 2°C en merkostnad för en vanlig familj av storleksordningen 100 kr/år.

Om ej värmekollektivet, som drar nytta av värmeuttaget är identisk med VA-kollektivet, som berörs av uttaget kan det vara befogat upprätta ett särskilt avtal för reglering av de ekonomiska förhållanden mellan de två kollektiverna. I detta sammanhang kan dock noteras att förbrukarna enligt de allmänna bestämmelser som tillämpas för leverans av renvatten ej har krav på leverans av vatten av en viss temperatur.

5.5 Förslag till drift i Åkarp

I Åkarp finns möjlighet till ringmatning från vattenverket via punkt 12, 22 och 61 till värmepumpen och härifrån tillbaka till vattenverket, jfr bilaga 7. Under sommarhalvåret, då marktemperaturen är högre än temperaturen på det distribuerade vattnet kan nätet då användas som ytjordsvärmeslinga. Marktemperaturen kan då uppgå till omkring 12°C. Cirkuleras vatten runt i ringledningen kan värme då utvinnas från marken, vilken kan avges till värmepumpen. Den värmemängd som på detta sätt kan avges till värmepumpen är beroende av hur långt temperaturen på det cirkulerande vattnet sänks i förhållande till marktemperaturen. Sänks temperaturen till 8 á 9°C, d v s till temperaturen på det grundvatten konsumenterna erhåller, blir dessa ej ekonomiskt lidande. Detta ger dock enbart möjlighet för utvinning av omkring 30 kW. Om vattentemperaturen sänks ytterligare bör större delen av den last värmepumpen skall täcka under sommaren däremot kunna täckas. Detta medför dock samtidigt att konsumenterna tillförs ett kallare vatten.

Driften av systemet under övrig del av året bör ske utan ringmatning. Som alternativ till utnyttjande av " eget " renvatten som värmekälla kan extra vatten införskaffas för värmepumpdriften och efter nedkylning avledes detta till dagvattensystemet. Vatten får då inköpas från Sydsvatten AB och priset härför uppgår till ca 40 öre/m³. På detta vatten kan temperaturen sänkas minst 5°C, vilket innebär att minst 6 kWh kan utvinnas per m³. Priset härför blir då ca 7 öre/kWh (exkl eventuell avloppsavgift).

Vid utnyttjande av " eget " renvatten får kompensationsvärme bekostas av vattenförbrukarna. För varje kWh som konsumenterna får bekosta kan $1/f = 1/0.36 = 2.8$ kWh utvinnas vid värmepumpens förångare genom att 1.8 kWh kan uttas från marken. Om kompensationspriset för konsumenterna uppgår till 30 öre/kWh motsvarar detta ett pris på ca 11 öre/kWh på den energi som utvinns vid värmepumpen. Detta betyder att vattenpriset skall bli drygt 50 % högre, d v s ca 65 öre/kWh innan utnyttjande av " eget " renvatten som värmekälla kan bli lönsamt i Åkarp.

Det bör noteras att den redovisade kalkylen gäller för det begränsade ledningsnätet som finns inom det utnyttjade studieområdet. Om hela ledningssystemet i Åkarp utnyttjas och uppehållstiden i servisledningarna beaktas bör kalkylen kunna förbättras något. Uppskattningsvis bör "kompensationsfaktorn" då kunna reduceras till omkring 0.30, vilket innebär att vattenpriset "enbart" behöver ökas till drygt 50 öre/kWh för att utnyttjande av renvattnet som värmekälla skall bli lönsamt.

Även i detta sammanhang bör dock osäkerheten kring "kompensationsfaktorns" storlek framhållas. Om denna bestäms med beaktande av värmebytet kring servisledningarna är det sålunda väl möjligt att utnyttjandet av det "egna" renvattnet som värmekälla kan visa sig vara fördelaktigt.

5.6 Dimensionering av värmepump

Värmepumpanläggningen i Åkarp bidrar endast till värmeförsörjningen av en mindre del av det område, som berörs av värmeuttaget från renvattnet. Det skulle därför ej ha varit möjligt att där täcka det extra värmetillskott till VA-kollektivet, som erfordras till följd av värmeuttaget.

Vid planering av nya värmepumpar för fjärrvärmeförsörjning, där renvatten kan användas som värmekälla, bör däremot konsekvenserna av värmeuttaget beaktas vid dimensioneringen. Om det område som betjänas av fjärrvärmem till större delen sammanfaller med det område, som tillförs det nedkylda renvattnet, kan möjlighet finnas, att med hjälp av värmepumpen ersätta det extra värmebidrag, som vattenkonsumenterna annars får svara för. Detta fordrar då att värmepumpens kapacitet ökas. Om full ersättning skall erhållas fordras teoretiskt att kapacitetsökningen blir av storleken $1 / (1-f)$. Både anläggnings- och driftkostnaderna kommer att öka i samma omfattning. En dylik ökning är dock med hänsyn till vattenförbrukningens begränsade storlek endast möjlig där värmepumpen skall svara för en liten del av den samlade fjärrvärmeproduktionen.

6. SLUTSATSER

6.1 Potentiella möjligheter

De potentiella möjligheterna för uttag av värme från de kommunala vattenförjningsanläggningarna är betydande. Enligt Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, VAVs statistik är ca 7,1 miljoner förbrukare anslutna till kommunala vattenförsörjningsanläggningar och den årliga vattenproduktionen uppgår till ca 965 miljoner m³. Härav används ca 700 miljoner m³ för hushålls- och allmänna ändamål (inkl förluster). Antas att en temperatursänkning på 2°C på hela denna vattenmängd kan tillgodogöras med hjälp av värmepump erhålls en värmemängd på ca 1,6 TWh, vilket motsvarar omkring 1 % av landets samlade energiförbrukning för byggnadsuppvärmning. I realiteten kommer det endast vara möjligt att utnyttja en del av denna teoretiska potential, vilket dock bör vara mycket attraktivt då renvattnet utgör en säker och lättåtkomlig värmekälla.

6.2 Utvecklingsinsatser

Användning av renvatten som värmekälla medför att en mindre del av den värme, som tillförs värmepumpen, tas från vattenkonsumenterna. Dessa får då bekosta detta värmeuttag. Storleken på värmeuttaget från konsumenterna är av avgörande betydelse för ekonomin för den aktuella lösningen. Samtidigt är dock denna storlek svår att bestämma.

Det beräkningsexempel som redovisades i avsnitt 5.4 antyder att utnyttjande av renvatten som värmekälla ej skulle vara lika lönsamt som utnyttjande av olika naturliga värmekällor. I detta exempel har tillbörligt hänsyn dock ej tagits till en del praktiska förhållanden, som kan påverka ekonomin väsentligt. Dessa är främst följande:

- Värmetillförsel från marken till servisledningarna.
- Ovan nämnda värmetillförsels beroende av tappningsfrekvensen hos förbrukarna
- Värmeinvinning, som sommartid kan göras genom cirkulation.
- Värmetillförsel, som kan ske i samband med lagring och utpumpning av vattnet.

Fortsatta undersökningar av bl a dessa förhållanden är därför befogade. Undersökningarna bör ta sikte på att främst belysa de ekonomiska förutsättningarna för utnyttjande av renvatten som värmekälla.

LITTERATUR

Hydén, Hans & Lundgren Jan 1981. Va-hanteringens energiomsättning. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport K132:1981 Stockholm.

Janson, L-E, 1963, Minskning av lägningsdjup för vatten- och avloppsledningar, KVV:s publikationsserie Pu 8:2.

Janson, L-E, 1968, Tjälldjupet i Sverige, Statens naturvårdsverk, Publikation V4

Janson, L-E, 1969, Lägningsdjup för va-ledningar i jord med hänsyn till tjäle, VAV P14.

Janson, L-E, 1979, Tryckavloppsledningars frostskydd, BFR-rapport R43:1979.

Vattenprognos 1975-2000, 1975 Svenska vatten och avloppsverksföreningen. Publikation VAV P30 Stockholm

Normalförslag till allmänna bestämmelser för brukande av kommuns allmänna vatten- och avloppsanläggning, 1979. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen. Publikation VAV P18. Stockholm

Allmänna vattenledningsnät. Anvisningar för utformning och beräkning, 1979. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen. Publikation VAV P38. Stockholm.

Säkerhetsnormer angående utförande, användning, besiktning m m av kylanläggningar för stationärt bruk (Kylnormer) 1965 Svenska Kyltekniska Föreningen. Handbok 6. Stockholm.

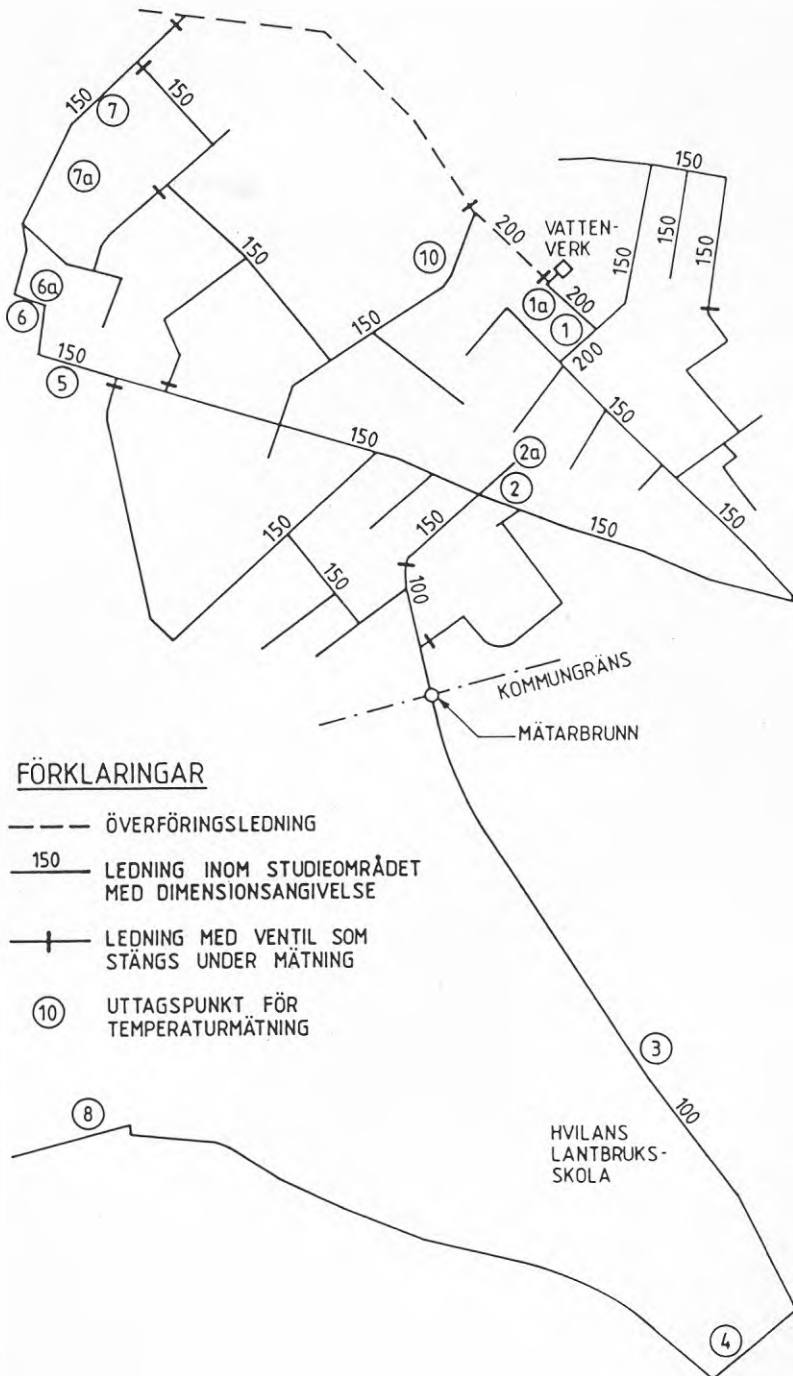
Ang. hälsorisker i samband med värmepumpar och tappvattenvärmning, PM 1983-03-17. Statens Planverk Installationsbyrå. Stockholm.

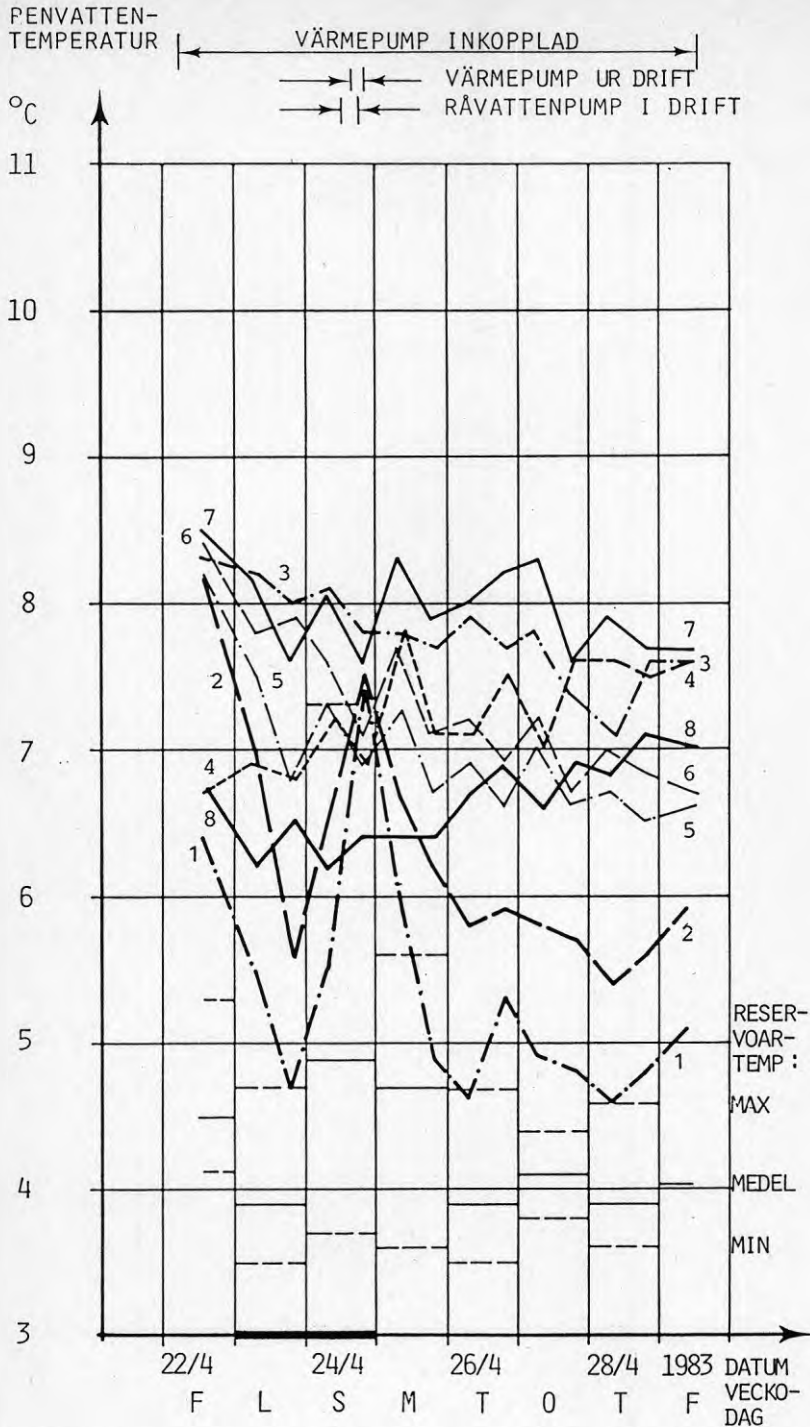
Råd och anvisningar utfärdade av medicinalstyrelsen och veterinärstyrelsen gemensamt. MM 112/1967.

Svensk byggnorm, SBN 1980. Statens planverks författningssamling, PFS 1980:1. Stockholm.

Statens livsmedelsverks kungörelse om dricksvatten m m. Statens livsmedelsverks författningssamling, SLV FS 1983:12. Stockholm.

Ledningsnät använt för mätningar.

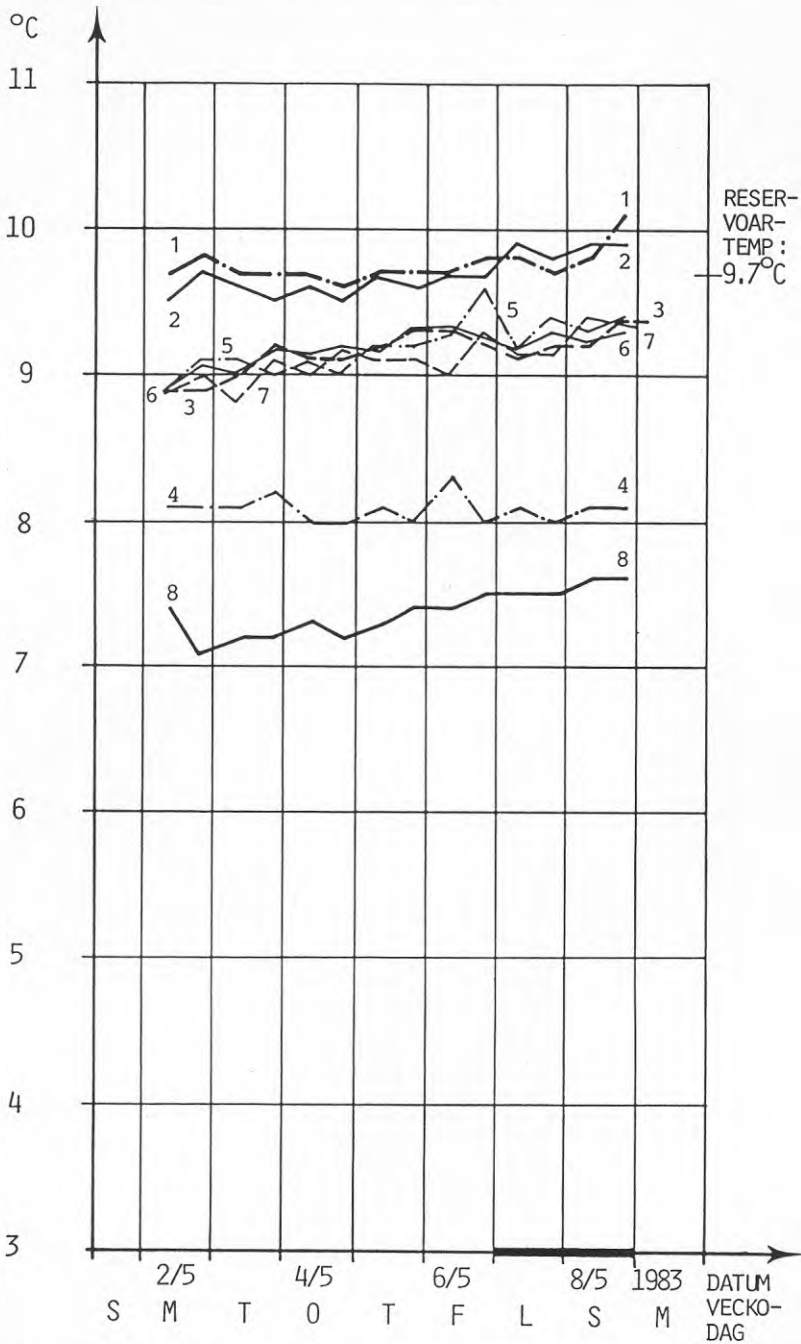




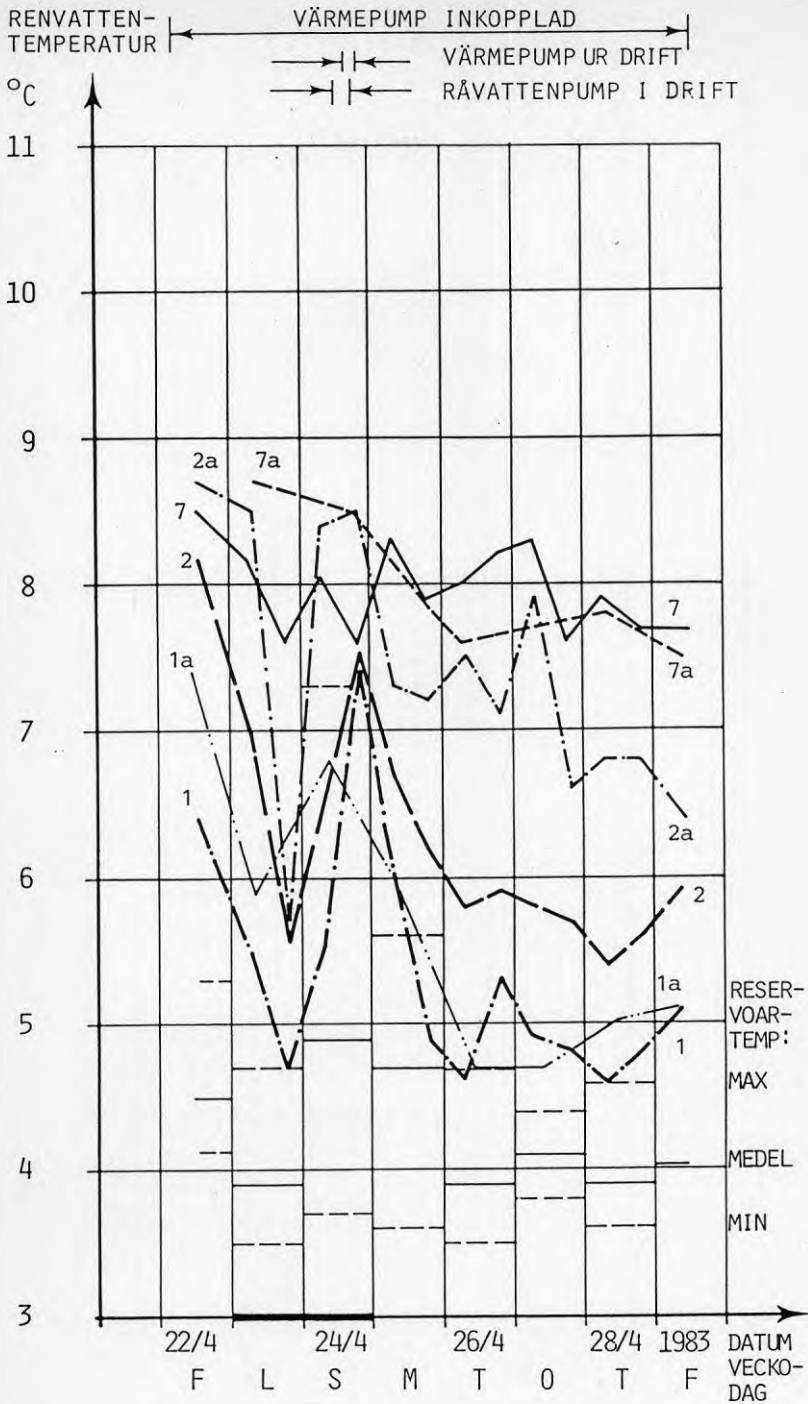
Vattentemperaturen i distributionsnätet vid distribution av nedkyllt vatten (driftperiod 1).

RENVATTEN-
TEMPERATUR

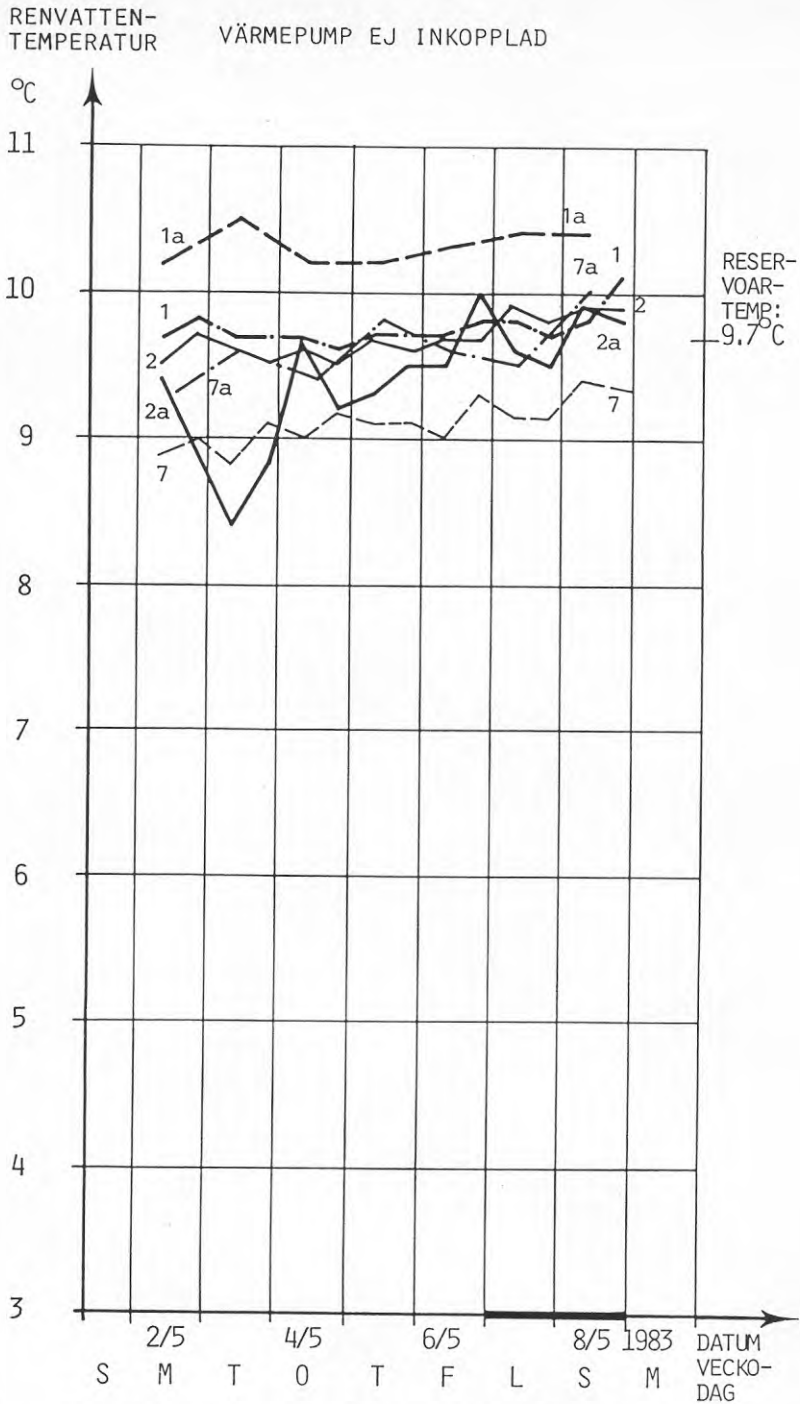
VÄRMEPUMP EJ INKOPPLAD



Vattentemperaturen i distributionsnätet vid distribution av normaltempererat vatten (driftperiod 2).

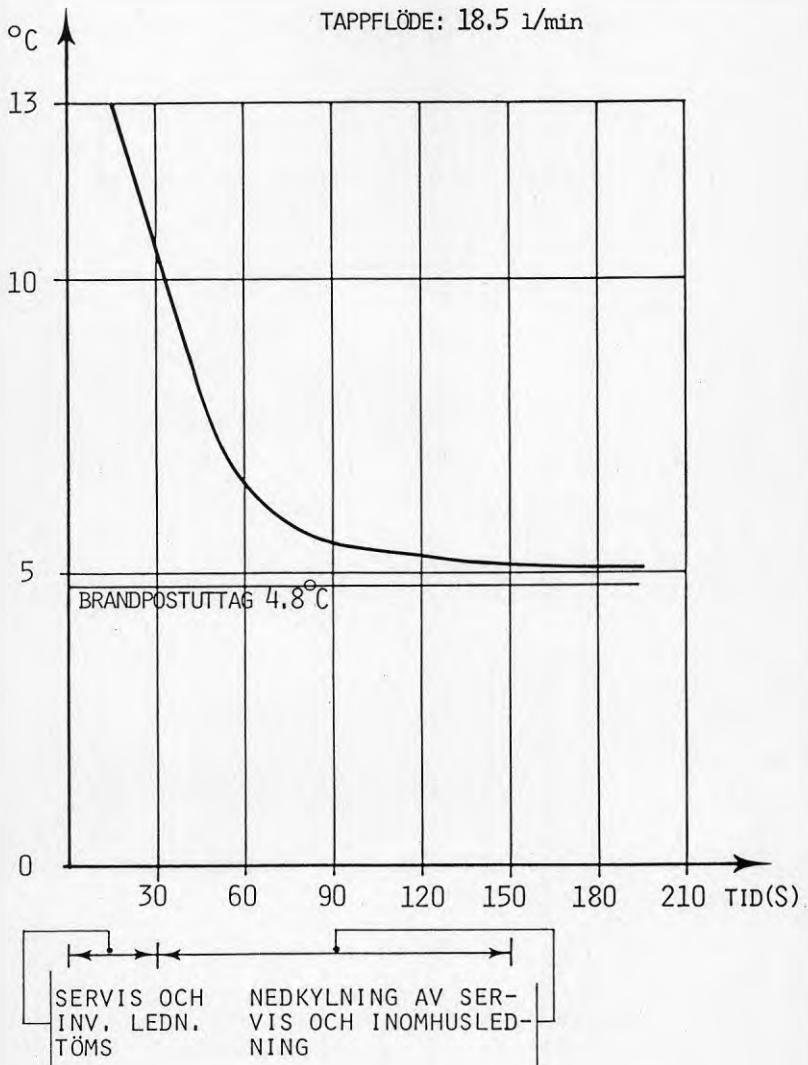
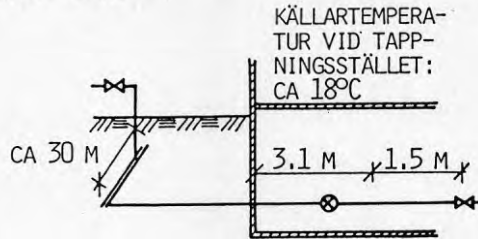


Vattentemperaturen hos förbrukarna vid distribution av nedkylt vatten (driftperiod 1).

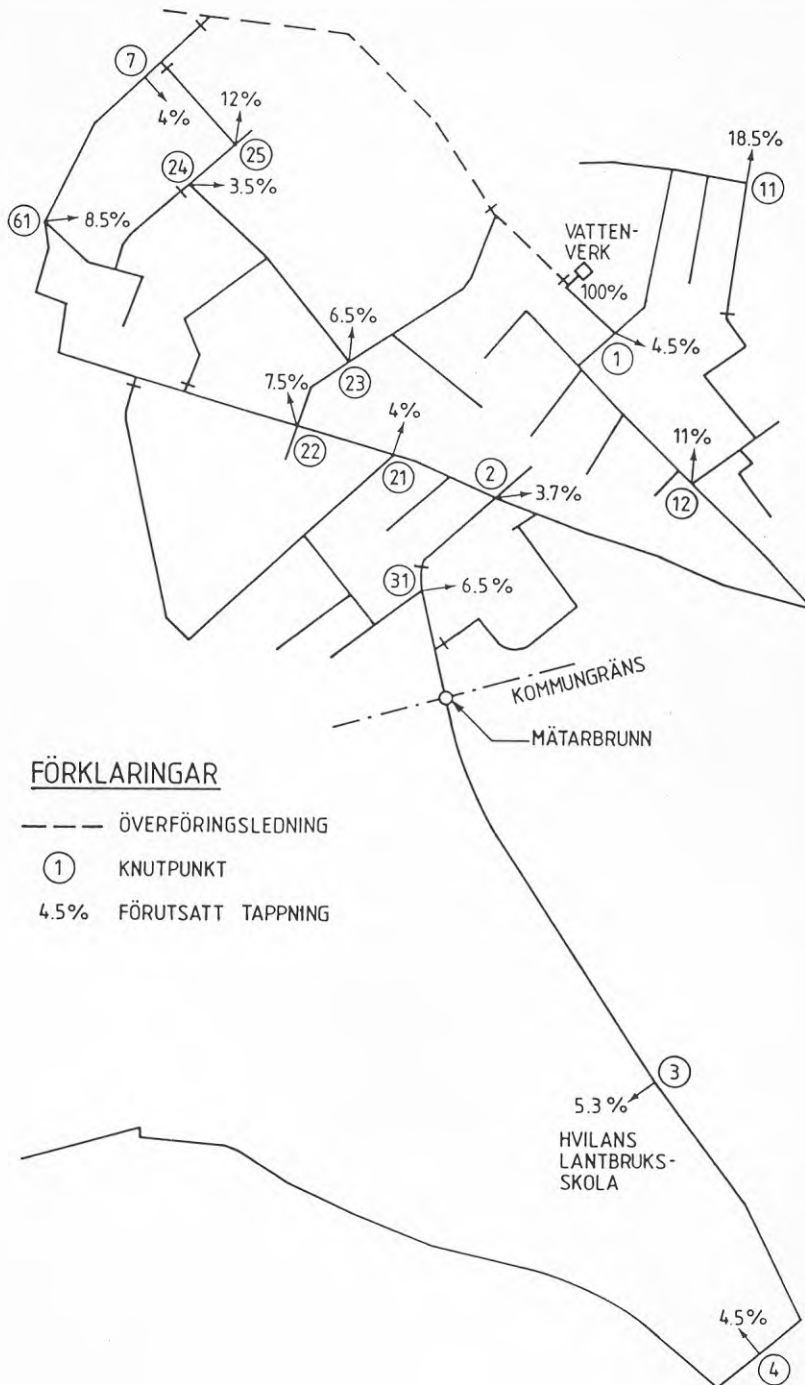


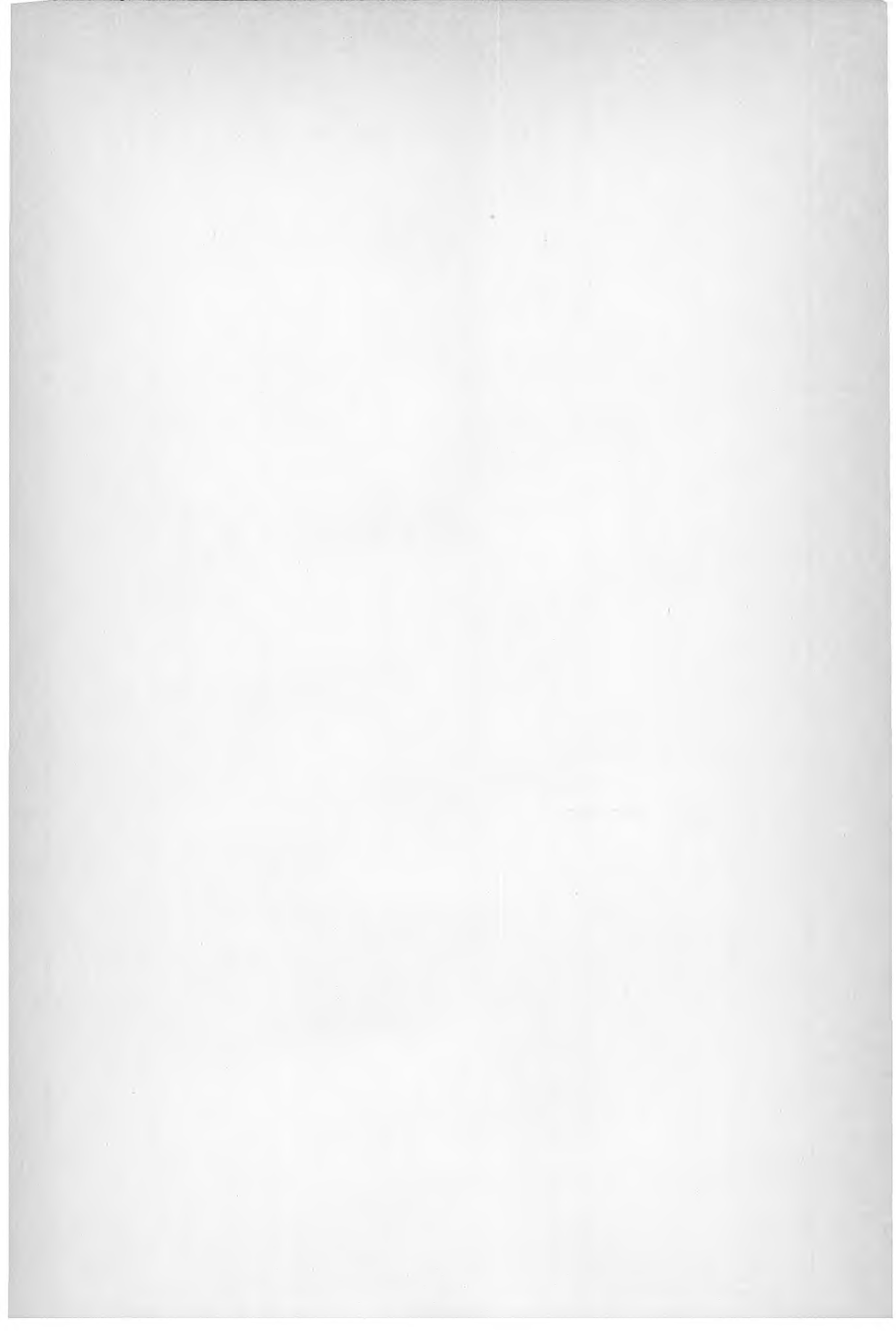
Vattentemperaturen hos förbrukarna vid distribution av normaltempererat vatten (driftperiod 2).

EXEMPEL PÅ MÄTNING AV VATTENTEMPERATUREN HOS FÖRBRUKARNA (MÄTNING UTFÖRD 1983-04-27, KL 11.00 VID PUNKT 1 A)



Ledningsnät med beräknad tappning.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
821091-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Burlövs kommun, Arlov.**

R75: 1984

ISBN 91-540-4125-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**Art.nr: 6704075
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms