

Spillvärme och solenergi till fjärrvärmenät med låg temperatur

Förstudie i Kungsbacka

Anders Bernestål
Gunnar Gustavsson
Göran Hultmark

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *See*

K
AMT

R14:82

SPILLVÄRME OCH SOLENERGI TILL FJÄRRVÄRMENÄT
MED LÅG TEMPERATUR

Förstudie i Kungsbacka

Anders Bernestål
Gunnar Gustavsson
Göran Hultmark

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
800422-9 från Statens råd för byggnadsforskning
till Kungsbacka kommun.

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

R14:82

ISBN 91-540-3631-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

LiberTryck Stockholm 1981 138833

INNEHÅLL

1	FÖRORD	5
2	SAMMANFATTNING	6
3	ENERGIBEHOV	12
3.1	Nuvarande bruttoenergibehov	12
3.2	Energibehov för fjärrvärmenätet ..	13
3.3	Effektbehov för fjärrvärmenätet ..	14
4	TEMPERATURBEHOV	19
4.1	Beräkningsunderlag för temperatur- behov	19
4.2	Förutsättningar för mätning	19
4.3	Dimensionerande temperaturbehov som funktion av dimensionerande temperatur	21
4.4	Resultterande temperaturbehov	24
5	UNDERCENTRALER	26
5.1	Möjlighet att erhålla låg retur- temperatur i olika typer av se- kundärsystem	26
5.2	Kostnad för värmeväxlare vid olika medeltemperatur- differanser	28
6	KULVERTSYSTEM	32
6.1	Utformning av nätet	32
6.2	Rundcirkulation i nätet	32
6.3	Temperaturvariationer i fjärrvär- mesystemet vid olika dimensione- ring	37
6.4	Årsenergiförlusten för olika fram- lednings - och returtemperaturer..	40
6.5	Nuvärdesberäkning av energiför- lusten	41
7	DIMENSIONERING AV FJÄRRVÄRMESY- STEMET	43
7.1	Val av temperaturnivåer	43
7.2	Resultterande flöden och temperatu- rer	45

8	HAMMARGÅRDS RENINGSVERK	48
8.1	Årsvariation av energitillgången ..	48
8.2	Dygnsvariation av energitillgången	50
9	ENERGIUTNYTTJANDE VID HAMMARGÅRDS RENINGSVERK	52
9.1	Carnotverkningsgradanalys av konstruktioner och drivkälla	52
9.2	Nyttiggjord energimängd som funktion av nedkylningstemperatur, kyleffekt och drivkälla	56
9.3	Värmeväxlare på värmepumpens förångarsida	60
9.4	Flera värmepumpar i serie	64
9.5	Val av installation	65
10	SUNCLAYANLÄGGNING	69
10.1	Utförande	69
10.2	Nyttiggjord energimängd som funktion av installerad effekt	71
11	ENERGIBIOLOGISK KARTA, V HAMMERÖ .	74
11.1	Metodik	74
11.2	Områdesbeskrivning och topografi .	74
11.3	Jordartskarta med jorddjup	74
11.4	Tektonisk karta	77
11.5	Energigeologisk karta	79
11.6	Värmelager, exempel	81
11.7	Undersökningar för anläggande av värmelager	83
11.8	Förutsättningar för lokalisering .	83
12	ENERGISITUATIONEN UNDER UTBYGGNADSKEDE	86
13	INVESTERINGSKOSTNADER	91
13.1	Fjärrvärmenätet	91
13.2	Panncentralen	92
13.3	Reningsverkscentralen	92
13.4	Sunclaycentralen	93
14	ENERGIKOSTNADER	94
15	UNDERHÅLLSKOSTNADER	95
16	LÖNSAMHET	96

1 FÖRORD

Temperatur och flödesmätningar vintern 1978 - 1979 visade att det renade avloppsvattnet från Hammargårds reningsverk innehöll stora mängder energi som kunde utnyttjas i en fjärrvärmeanläggning.

Vetskapen om att värmepumpar arbetar effektivare med lägre temperaturer på fjärrvärmevattnet gjorde att Kungsbacka kommuns arbetsutskott uppdrog åt Bengt Dahlgren AB att utföra en första utredning om möjligheten att använda lägre temperaturer i det fjärrvärmenät som skulle kunna byggas för att transportera energin från reningsverket till tätorten.

Utredningen visade att kostnaden för att sänka temperaturerna var mindre än vad som inbesparades i minskad energiförlust.

Byggnationen av Sunclay-projektet vid Lindälvsskolan gav hopp om att ekonomiskt kunna utnyttja solenergi som värmekälla till byggnadsuppvärmning.

Dessa faktorer resulterade i att Kungsbacka kommun erhöll medel från Statens råd för byggnadsforskning till en fördjupad förstudie av möjligheten att utnyttja lågtemperaturfjärrvärme som transportör av spillvärme och solenergi.

Denna förstudie har resulterat i denna rapport utförd i samarbete mellan Bengt Dahlgren AB och Viak AB, där Bengt Dahlgren AB i huvudsak har svarat för de värmeteknisk delarna och Viak AB för de geologiska undersökningarna, markförhållanden samt kemiska analyser.

2 SAMMANFATTNING

Denna rapport behandlar möjligheten att lönsamt ersätta större delen av dagens oljeförbrukning i Kungsbacka tätort med de förnyelsebara energikällorna spillvärme och solenergi.

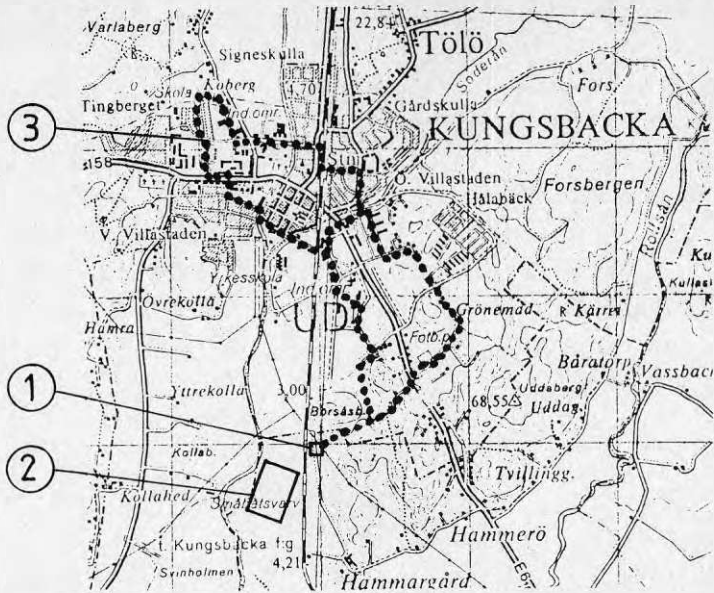
För att effektivt kunna utnyttja dessa energikällor, utan att förändra temperaturer och energimängder hos konsumenten, utnyttjas fjärrvärme med relativt låga temperaturer för att distribuera energin. Härigenom ges frihet att utnyttja de energikällor som finns eller kan skapas på platser belägna utanför själva tätorten.

De lägre temperaturerna ökar effektiviteten hos energikällorna samtidigt som förlusterna i fjärrvärmenätet minskar.

Detta uppnås genom att effektivisera undercentralerna vid fastigheterna så att både framlednings- och returtemperaturerna sänks. Denna åtgärd förändrar således icke kulvertdimensionerna varför den även kan utföras i befintliga fjärrvärmenät.

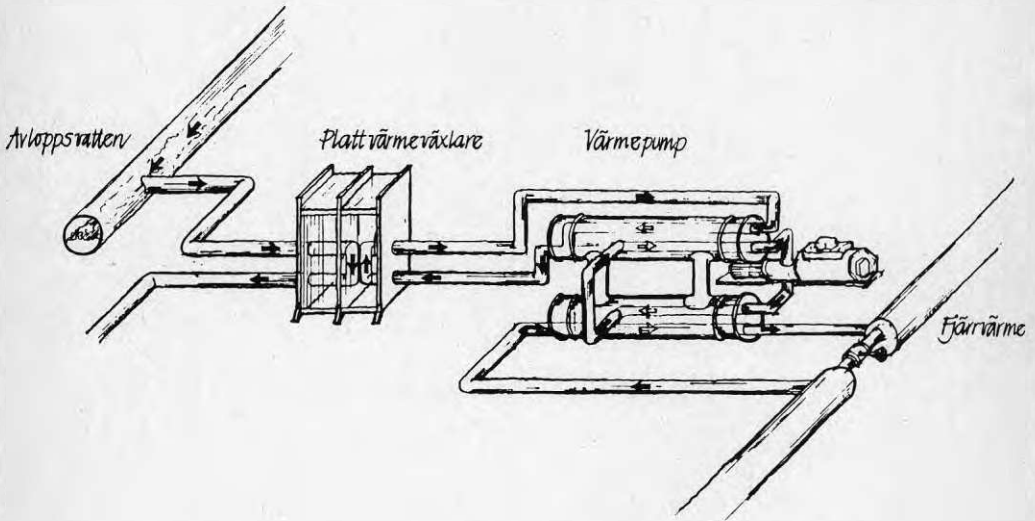
Genom att planera fjärrvärmenätet så att detta utnyttjas som transportmedel av förnyelsebar energi kan lönsamheten avsevärt förbättras.

Från Hammargårds reningsverk, beläget strax söder om tätorten, försvinner dagligen stora mängder energi med låg temperatur. Genom att uppoffra en liten del elektricitet kan värmepumpar kyla det renade avloppsvattenet och transformera denna energi till fjärrvärmenätets temperatur.



Karta över Kungälv.

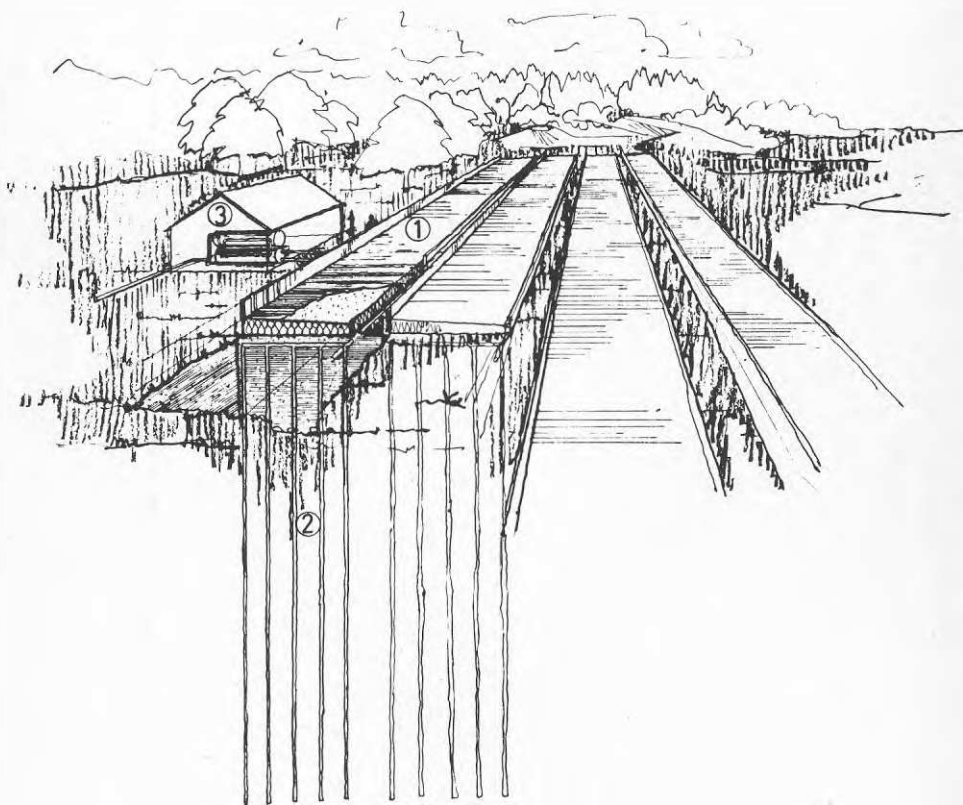
1. Reningsverket
2. Solcentral
3. Fjärrvärmekulvert



Värmepumpar vid reningsverket

I närheten av reningsverket finns ett område med lera som kan användas i en solcentral av samma typ som det i kommunens nya gymnasieskola installerade Sunclaysystemet.

Sunclaysystemet bygger på att enkla svartmålade solabsorbatorer värmer lerlagret sommartid. Värmen förs ner genom nedstuckna plaströr, vilka sedan utnyttjas under vintern för att ge energi till de dieseldrivna värmepumparna.

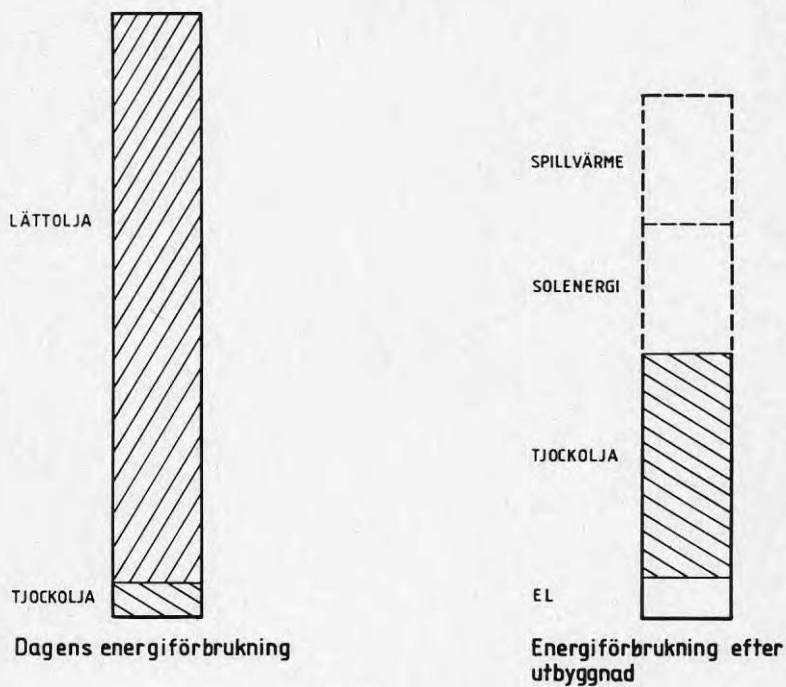


Sunclaycentralen

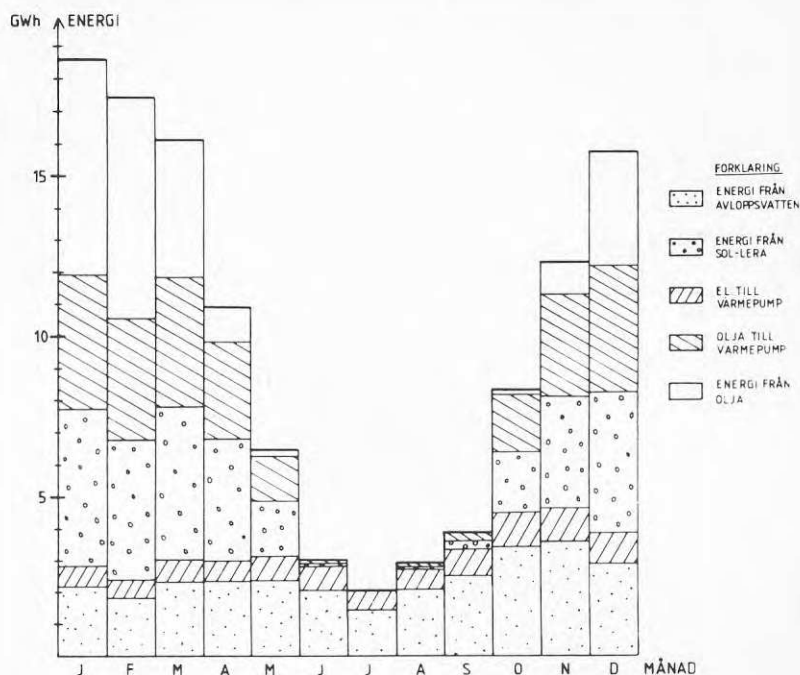
1. Solfångare
2. Lerlager
3. Värmepump

I dag förbrukas cirka 13.500 m³ olja per år, till ett värde av 20,3 miljoner kronor, inom det område som har studerats.

Genom att bygga ut fjärrvärme, värmepumpar vid reningsverket samt Sunclaycentralen reduceras kostnaden för inköpt energi till 8,0 miljoner kronor per år.



I första hand kommer energin att hämtas från reningsverket, om denna energimängd ej är tillräcklig hämtas energin från solcentralen och först när denna ej räcker måste olja direkteldas i pannorna. Den olja som eldas i panncentralen kan ersättas med annat bränsleslag t ex flis, kol, torv eller ved.



Energifördelningen under ett normalår efter full utbyggnad.

De oljeinköp som görs i dag kan således utbytas mot inhemskt arbete och produktion.

För att erhålla detta resultat behöver kommunen investera 36,4 miljoner kronor i fjärrvärmenätet, 13,0 miljoner i panncentral, 9,0 miljoner vid reningsverket och 31,5 miljoner i Sunclaycentralen.

Om den årliga inflationen är 11%, den årliga oljeprisökningen följer inflationen, avskrivningstiden på fjärrvärmeanläggningen 25 år, avskrivningstiden på sol och varmpumpsanläggningarna 15 år, merunderhållskostnaden 3% av produktionsanläggningarna samt räntan på kapitalet 15%, erhålles ett energipris på 16 öre/kWh för den levererade energin.

Under dessa antagande blir således utbyggnaden av det kompletta systemet lönsam.

För orter med förutsättningar som Kungsbacka kan man med hjälp av utredningen konstatera:

att det är lönsamt att använda lägre temperatur i fjärrvärmeanläggningar.

att möjligheten att använda förnyelsebara energikällor ökar med lägre temperatur på fjärrvärmeanläggningen.

att utnyttjande av spillvärme från reningsverk förbättrar lönsamheten vid utbyggnad av fjärrvärme.

att solenergi i kombination med marklagring kan utnyttjas ekonomiskt under hela året till fjärrvärmeanläggningar.

att behovet av inköpt energi kan minskas till mindre än hälften med god ekonomi.

3 ENERGIBEHOV

3.1 Nuvarande bruttoenergibehov

Den olja som idag förbränns i pannor skall täcka energibehovet för transmission, ventilation samt tappvarmvattenberedning. Vi betecknar i fortsättningen detta energibehov för nettoenergibehovet. Bruttoenergibehov inkluderar förlusterna och utgörs av den faktiska förbrukningen.

De panncentraler som ligger inom fjärrvärmenätet har kartlagts m a p oljeförbrukning, panntillverkningsår och byggnadsår för anslutna områden.

Inom stadskärnan där bebyggelsen är inhomogen med äldre affärs- och bostadshus blandad med nyare bebyggelse finns ett stort antal mindre pannor. Inom detta arbete har ej någon fullständig kartläggning av den centrala delen gjorts.

Oljeförbrukningen har framtagits under 1980 varför de flesta uppgifterna hänförde sig till eldningssäsongen 1979 - 80. Data har insamlats genom:

- direktkontakt med förvaltare/fastighetsskötare/ägare
- indirekt kontakt via oljedistributörer
- energispargruppen i Kungsbacka kommun
- informationssekreteraren i Kungsbacka kommun.

För vissa områden - nybebyggelse i Västra Hammerö och stadskärnan - har data ej kunnat erhållas. Beräkningar för dessa områden har gjorts med:

- uppgifter från Göteborgs Förorter (Västra Hammerö) avseende hustyper och antal lägenheter
- extrapolering m h a de delar inom stadskärnan där förbrukningen är känd.

Bruttoenergibehovet för ett normalår har framtagits. Då avvikelser i utetemperatur, för det år förbrukningen skett och ett normalår, påverkar energisituationen för uppvärmning och ventilation måste detta

beaktas. Tappvarmvattenförbrukningen är här antagen att ej vara utetemperaturberoende. Avvikelsen från ett normalår (100%) enligt tabell 1.

<u>Eldningsår</u>	<u>Förbrukning</u>
1977/78	100%
1978/79	115%
1979/80	110%

Tabell 1 *Energiförbrukningens avvikelse från normalår (exklusive varmvatten).*

Tappvarmvattenförbrukningen har beräknats uppgå till 5000 kWh/lgh och år. Förhållandet mellan varmvatten och uppvärmning vid full fjärrvärmeutbyggnad har beräknats till 31% / 69% (nettoenergi) under ett normalår.

Bruttoenergibehovet för de panncentraler som berörs av fjärrvärmeutbyggnad är 137 GWh vilket uppdelat på oljeslag motsvarar en oljeförbrukning på 12.900 m³ (E01) och 750 m³ (E04).

3.2 Energibehov för fjärrvärmenätet

Den förbränning av eldningsolja som idag sker i panncentraler skall i det fullt utbyggda fjärrvärmealternativet ersättas med en central energiproduktion samt värmeväxling i undercentraler.

Det bruttoenergibehov som framtagnits innehåller förluster från förbränningen. För att erhålla den energimängd som krävs för uppvärmning, ventilation och tappvarmvatten dras förlusterna vid förbränningen från bruttoenergibehovet.

Under den inventering som gjordes undersöktes pannornas allmänna tillstånd. Det framkom att de flesta pannorna var väl underhållna och i bra kondition.

Vid beräkning av nettoenergibehovet har årspannverkningsgraden för pannor i större panncentraler (samtliga utanför stadskärnan) satts till 0,8. För de mindre pannorna i centrala staden har värdet 0,75 använts.

Nettoenergibehovet för de panncentraler som berörs av fjärrvärmeutbyggnaden blir 106 GWh.

Det nettoenergibehov som kvarstår skall täckas av värmewäxling i undercentralerna. Energibehovet för fjärrvärmenätet består även av förlusterna från ledningarna samt från ledningsarmaturen. Ledningsförlusterna har beräknats med den preliminära fjärrvärmedragningen som underlag med tillslag för oisolerade delar som ventiler, flänsar etc.

Förlusterna har beräknats med följande förutsättningar:

Läggingsdjup:	600 mm till isol ovkant
Värmemotstånd jord:	1,5 W/m ⁰ C
	isolering: 0,03 W/m ⁰ C (polyuretan)

Tjocklek på isolering enligt fabrikanternas normalisolering ex

DN 65 mm	- 29 mm
DN 250 mm	- 56 mm
DN 400 mm	- 66 mm

Värmeförlusten från kulvertssystemet bestäms - förutom av ovanstående faktorer - av temperaturnivån i kulvertarna. Temperaturnivåer och förluster behandlas i kapitel 6.3.

3.3 Effektbehov för fjärrvärmenätet

Den energi som förbrukas inom distributionsområdet kan beskrivas i ett varaktighetsdiagram. Energiförbrukningen fördelas på årets timmar efter det behov som föreligger.

Värmebehovet är en funktion av utetemperaturen. I beräkningarna har förutsatts att uppvärmning sker till rumstemperaturen +14⁰C om det är kallare än +11⁰C

utomhus. Temperaturhöjningen från $+14^{\circ}\text{C}$ till $+20^{\circ}\text{C}$ sker genom byggnadernas interna energiöverskott.

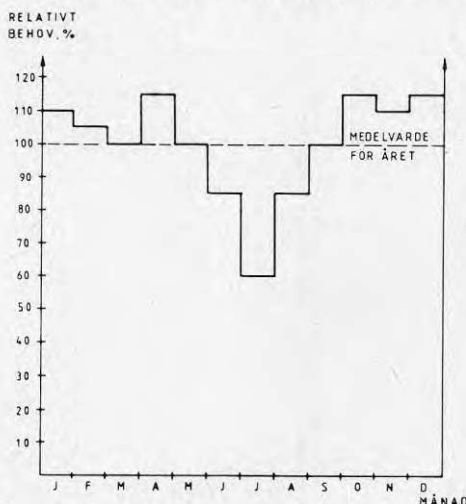
Varje timme används ett värde på uteluftens temperatur som är baserat på dels SMHI:s statistik över en längre period och dels den årliga normaltemperatur som gäller på den aktuella platsen ($+8^{\circ}\text{C}$).

Tappvarmvattenbehovet varierar under året och under varje dag. Fördelningen under dygnet har antagits enligt tabell 2.

TID	MÅNDAG - FREDAG	LÖRDAG - SÖNDAG
07-12	24%	29%
12-17	24%	31%
17-22	38%	29%
22-24	5%	5%
24-07	9%	6%

Tabell 2 Varmvattenförbrukningens fördelning under dygnet.

Varmvattenförbrukningen varierar även under året med den största förbrukningen under höst - vinter och lägst under sommarmånaderna. Fördelningen under året enligt figur 3.1.

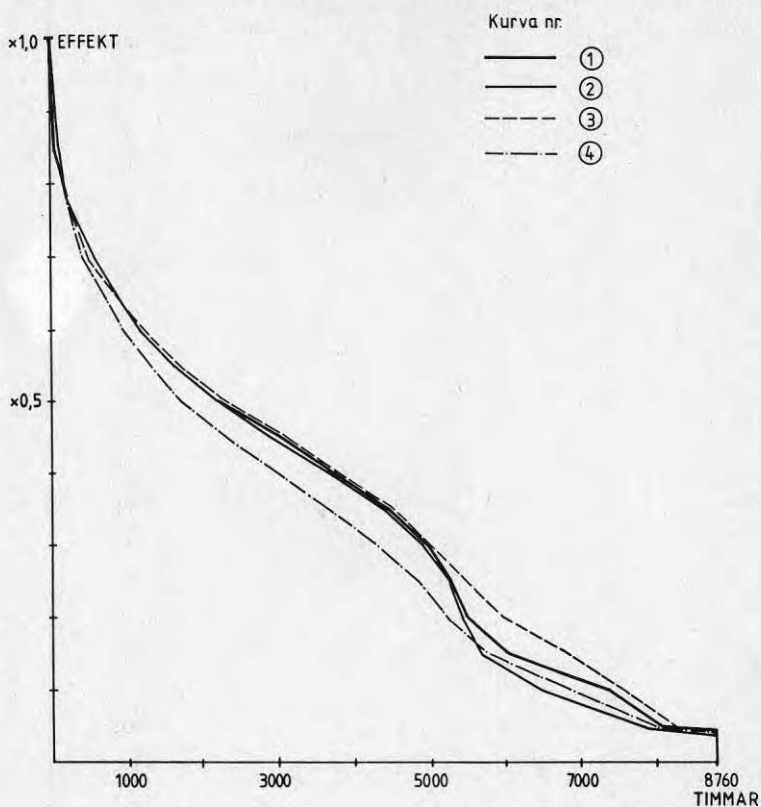


Figur 3.1 Fördelning av energibehovet för varmvattenberedning över året.

Energibehovet för ventilation i de byggnader som här studeras följer till största delen energibehovet för värme. Det är få byggnader som har eftervärme respektive återvinning-återluftsaggregat vilka kan påverka energiförbrukningen. I det fortsatta arbetet har effektbehovet för ventilation antagits vara en funktion av utetemperaturen samt uppvärmning till $+14^{\circ}\text{C}$.

Energiförbrukningens fördelning under ett normalår, med de förutsättningar som beskrivits i detta kapitel, visas i figur 3.2. Vid jämförelse mellan det teoretiskt framräknade och befintliga värmeverks varaktighetsdiagram har bra överensstämmelse fåtts då förlusterna reduceras i de befintliga systemen. De byggnader som ansluts till fjärrvärmenätet och således bildar underlag för varaktighetsdiagrammen är uppförda före 1975.

För att studera inverkan av tillskottsenergins och tappvarmvattenandelens betydelse för energiförbrukningens fördelning har dessa varierats. I figur 3.2 kan inverkan av dessa parametrar studeras. Det blir en mindre förändring av energiförbrukningen vid stora variationer i indata.



Figur 3.2 Varaktighetsdiagram för ett normaldr.

Förutsättningar:

kurva 1 varmvattenförbrukning 31%
uppvärmning till $+17^{\circ}\text{C}$

kurva 2 varmvattenförbrukning 25%
uppvärmning till $+17^{\circ}\text{C}$

kurva 3 varmvattenförbrukning 40%
uppvärmning till $+17^{\circ}\text{C}$

kurva 4 varmvattenförbrukning 31%
uppvärmning till $+14^{\circ}\text{C}$

Jämförelse för känslighetsanalys. I denna utredning används 31%/ $+14^{\circ}\text{C}$ (kurva 4).

Det bör observeras att effekten inte är lika för de fyra kurvorna. Energin är lika för de fyra fallen och motsvaras av arean under respektive kurva. Då arean varierar måste någon av parametrarna dagar - effekt variera. Då tiden är konstant är det effekten som ändras. Areal under kurva 4 är minst vilket leder till att max-effekten är störst för detta fall.

För Kungsbacka gäller att maximalt effektbehov för ett normalår är 44 MW vid fullt utbyggt fjärrvärmesät.

4 TEMPERATURBEHOV

4.1 Beräkningsunderlag för temperaturbehov

Temperaturen hos värmevattnet på undercentralens sekundärsida (i abonnentens system) skall vara tillräckligt hög för att klara värme-, ventilation- och varmvattenproduktion.

Värmesystem dimensioneras med en framledningstemperatur som varierar med utetemperaturen.

Tappvarmvattentemperaturen dimensioneras för att vara konstant under året.

Ventilationsaggregatens värmevattnentemperatur dimensioneras på olika sätt beroende på funktion. Eftervärmningsaggregat kan dimensioneras med konstant temperatur på värmevattnet under året medan tilluftsaggregatets värmebatteri får vatten med temperatur som följer utetemperaturen.

För att erhålla tillräckliga temperaturer i sekundärsystemen måste fjärrvärmevattnets temperatur överstiga dessa. Betraktar man temperaturbehovet på primärsidan utan hänsyn till värmväxlar- och ledningsstorlek räcker det att temperaturen på primärsidan i undercentralen är någon grad högre än sekundärsidans temperaturbehov.

4.2 Förutsättningar för mätning

För att kunna beräkna en primär returtemperatur från undercentralerna måste de enskilda centralernas temperaturbehov undersökas. Under hösten 1980 utfördes en serie temperaturmätningar för de byggnader som ingår i etapp 1.

Temperaturmätningar gjordes i det sista ledet i leveranssystemet. Således mättes utgående och returvattentemperaturerna efter shuntgrupp respektive blandningscentral.

Temperaturen mättes med en digital termometer med anläggningsgivare. Givaren placerades på rörets utsida efter det att isolering och eventuella avlagringar på rörets utsida tagits bort. Temperaturen avlästes även på de i systemet installerade termometrarna.

I kapitel 4.1 redogjordes för olika systems temperaturbehov. För värmesystem varierar framledningstemperaturen med utetemperaturen. De temperaturer som uppmäts på fram- respektive returledningen efter t ex en shuntgrupp motsvaras således av en utetemperatur och vice versa.

Vid dimensionering av värmesystem väljer projektören framlednings- och returtemperatur vid dimensionerande utetemperatur. De värmebehov som beräknas och således bestämmer radiatorstorlek samt flöden har i de flesta fall överskattats. Det har insmugit sig pålägg vid beräkningarna på de flesta variablerna. Det är alltid påslag "för att vara på den säkra sidan". De alltför stora radiatorerna och flödena leder till höga rumstemperaturer. Pannskötarna eller husägaren försöker begränsa temperaturerna i lokalerna och detta sker lättast genom att sänka framledningstemperaturerna. Det höga flödet förändras i regel ej utan kvarstår med höga returtemperaturer som följd.

4.3 Dimensionerande temperaturbehov som funktion av dimensionerande temperatur

Effektgivningen från en radiator bestäms enligt:

$$P = A \times \Delta\theta_m \times k$$

där P är effekt i W

A är radiatorytan i m²

$\Delta\theta_m$ är den logaritmiska medeltemperaturen i °C

k är radiatorns värmegenomgångstal i W/m²°C

$\Delta\theta_m$ och k som ingår i ekvationen är ej konstanta utan varierar med temperaturen.

För att hålla konstant temperatur i ett rum när utetemperaturen varierar krävs att framledningstemperaturen följer utetemperaturen. Ett system dimensionerat för +80/-60°C vid dimensionerande utetemperatur -16°C skall vid konstant flöde följa kurva enligt figur 4.1. Rumstemperaturen är satt till +20°C och all energi som behövs för att hålla konstant temperatur kommer från värmesystemet.

Med kända fram-, ute- och returledningstemperaturer kan de dimensionerande värdena erhållas.

Vi beräknar som exempel:

Panncentral APELSINEN, undercentral 5

Utetemperatur: -2°C

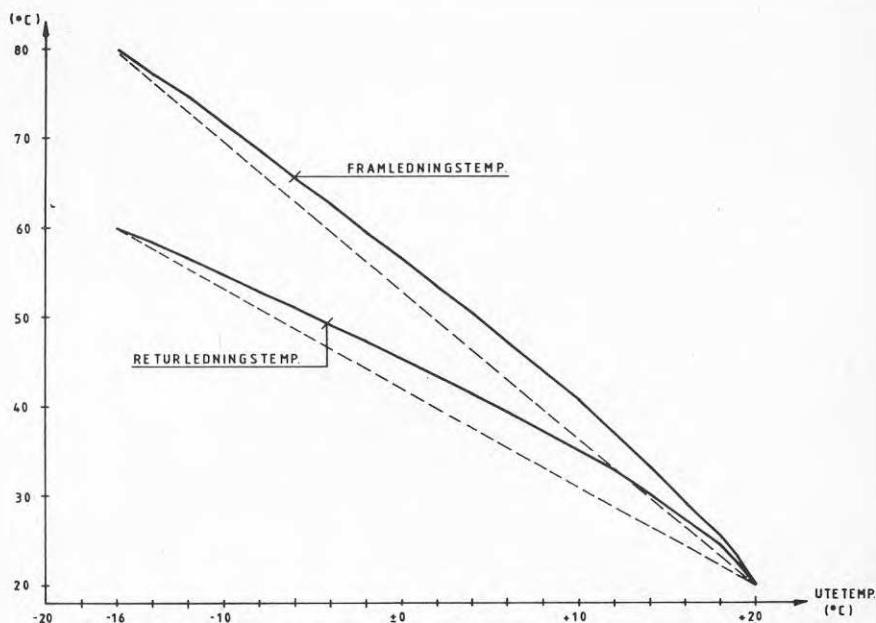
Framledningstemp: +43°C uppmätt 1980-11-04

Returledningstemp: +35,3°C

Passningsräkning ger vid dim utetemperatur -16°C

Framledningstemp: +57,1°C

Returledningstemp: +43,5°C



Figur 4.1 Fram- och returledningstemperaturer för att effektavgivningen skall vara proportionell mot temperaturdifferensen rumstemperatur - utetemperatur.

Streckade linjer är räta hjälplinjer.

De elektroniska reglercentraler som förekommer på marknaden har krökta börvärdeskurvor. De temperaturer som uppmätts i undercentralerna motsvarar en viss fram- och returledningstemperatur vid dimensionerande utetemperatur. Härvid tas hänsyn till den krökning som framledningstemperaturkurvan gör.

Erfarenheten från mätningarna och studiet av reglercentralernas inställning visar att punkten 20°C framledning vid $+20^{\circ}\text{C}$ utetemperatur i figur 4.1 är något hög när det är varmare än $+11^{\circ}\text{C}$ utomhus, på grund av byggnadens interna värmeutveckling genom belysning, människor o s v.

Detta kompenseras ofta manuellt, medan det troligtvis hade varit bättre med en kurva på reglercentralen med en större krökning.

Mätningarna för panncentralerna inom etapp 1 redovisas i tabell 3. De resulterande temperaturerna är en sammanlagring av de uppmätta temperaturerna i shuntgrupperna.

PANNCENTRAL	FRAMLEDN. TEMP/RETURLEDN. TEMP VID D.U.T.	
	UPPMÄTT (°C)	PROJEKT (°C)
Hamneröskolan	80/62	90/70
Hålabäckskolan	56/46	90/70
Sommarlustskolan	70/60	90/70
Apelsinen	58/49	90/70
Hålabäcks V.-C.	51/43	
Polstjärnan	64/54	
Kamelen	68/60	80/60
Dadeln	63/55	80/60
Slånbäret	49/45	

Tabell 3 Värmebärartemperatur vid D.U.T. (-16°C)
för panncentraler ingående i etapp 1.

Inom stadskärnan har temperaturmätningar utförts i vissa panncentraler. Värmeproduktion och distribution har stora olikheter mellan panncentralerna. Det förekommer i vissa värmesystem handshunt. Med vanliga radiatortermostater kommer variationer i rumstemperaturen att uppstå. I samband med fjärrvärmeanslutning måste reglerutrustning för utekompensering installeras. En automatisk reglering ger lägre energiförbrukning. I de energibehov som ligger till grund för denna utredning har inte den minskning som fås vid automatisk reglering medtagits.

Vid mätningarna på värmlledningarna i stadskärnan efter shuntgrupp uppmättes tillloppstemperaturer mellan $+50^{\circ}\text{C}$ och $+70^{\circ}\text{C}$ vid D.U.T. -16°C . Resultatet av mätningarna, med samma beräkningsmetod som för etapp 1, gav medeltemperaturvärdet på framledningstemperaturen $+58^{\circ}\text{C}$ och returtemperaturen $+50^{\circ}\text{C}$ vid D.U.T.

4.4 Resultterande temperaturbehov

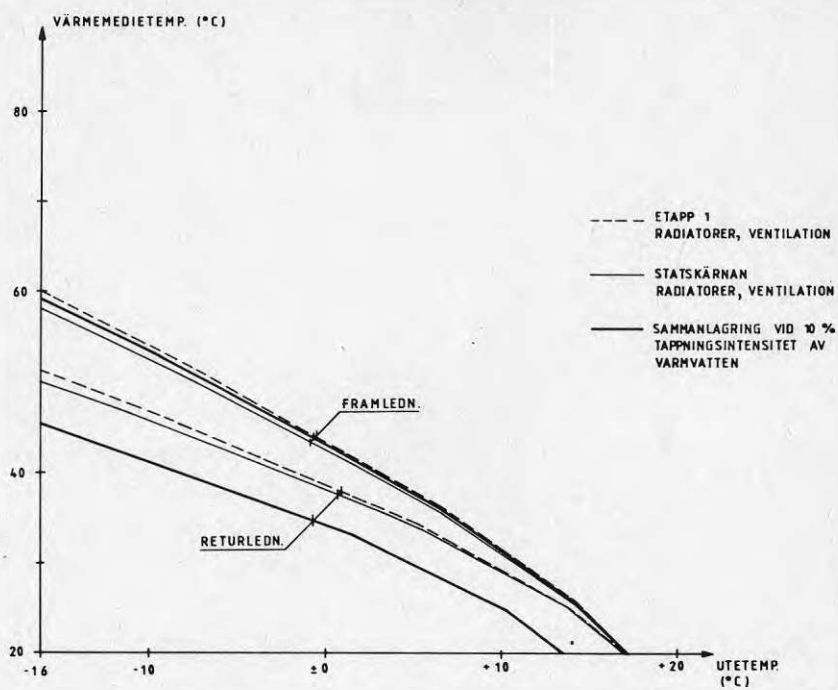
Det temperaturbehov som beräknas för fullt utbyggt fjärrvärmesystem grundas på de mätningar som gjorts enligt kapitel 4.3.

Fjärrvärmenätets framledningstemperatur måste i de enskilda centralerna vara högre än den högsta temperatur som en enskild grupp kräver. Det resulterande temperaturbehovet får för framledningstemperaturen ses som en medeltemperatur.

För etapp 1, område Hammarö och Hålabäck enligt kapitel 9, har ett temperaturbehov beräknats till $60 - 51^{\circ}\text{C}$.

För den centrala bebyggelsen har motsvarande temperaturer beräknats vara $58 - 50^{\circ}\text{C}$.

En sänkning av returtemperaturen från värmesystemen kan fås om inreglering utförs. Den medeltemperatur (värmevattentemp - rumstemp) som idag finns räcker att täcka värmebehovet. En sänkning av flöden i värmekretsarna och samtidig höjning av framledningstemperaturerna leder till en sänkt returtemperatur.



Figur 4.2 Temperaturbehov för etapp 1 och statskärnan samt total sammanvägd temperatur vid 10% varmvattentappningsintensitet.

5 UNDERCENTRALER

5.1 Möjlighet att erhålla låg returtemperatur i olika typer av sekundärssystem

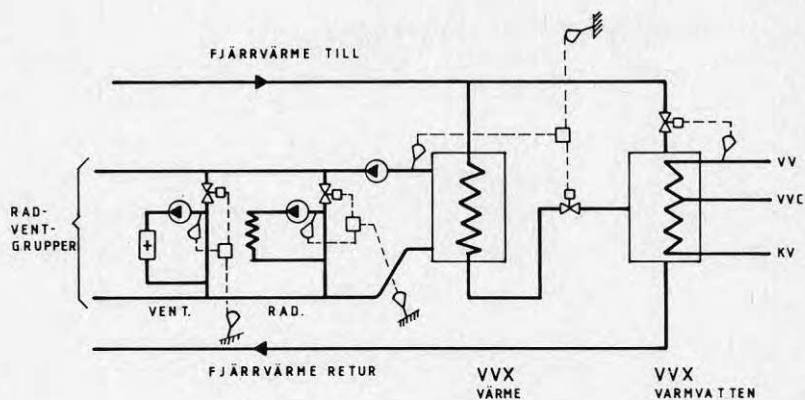
Det finns två huvudprinciper för de befintliga värme- och varmvattendistributionssystemen.

1. Värme-, ventilation- och varmvattenproduktion sker i panncentral från vilken det distribueras shuntad värme för radiatorer och ventilation samt tappvarmvatten.
2. En panncentral försörjer undergrupper med primärt värmevatten via ett ledningssystem. I undergrupperna blandas värmevatten i shuntgrupper till radiatorer och ventilationsaggregat. Varmvatten bereds i undergruppen genom att man låter det primära värmevattnet värma kallvatten i en varmvattenberedare.

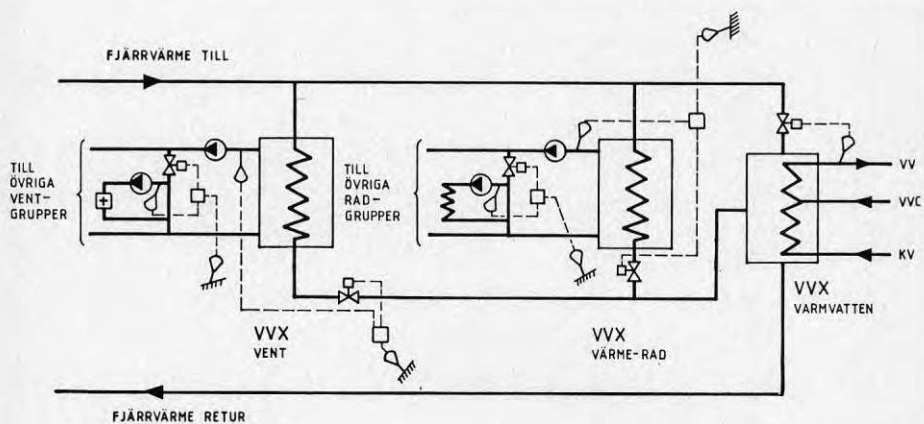
Vid inkoppling till ett fjärrvärmenät måste man eftersträva att erhålla låga returtemperaturer. I ett lågtemperatursystem med värmepump som produktionskälla är detta av största betydelse för att värmefaktor och utnyttjandetid av värmepumpen skall vara så stor som möjligt.

För fall 1 där distribution och produktion sker från en central, kopplas fjärrvärmen in enligt figur 5.1 eller 5.2. I detta fall ansluts befintliga ledningar till värmeväxlarnas sekundärsida och abonnentens system är skiljt från fjärrvärmesystemet.

Tappvarmvattnet förvärms av returvatten från värmesystemets värmväxlare.

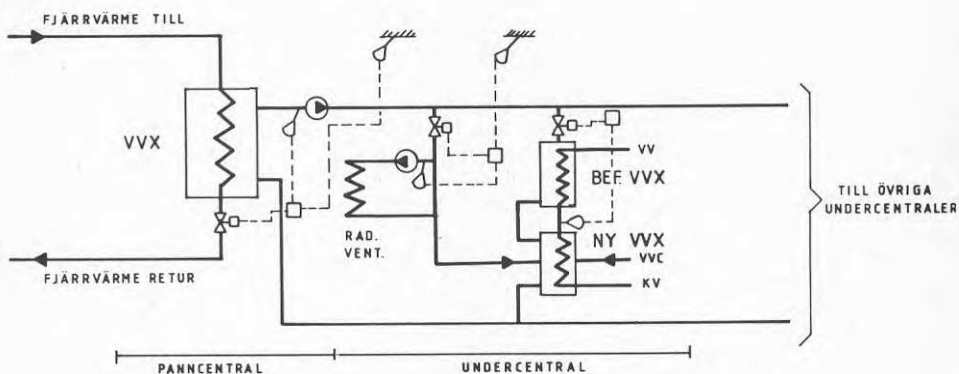


Figur 5.1 Inkoppling av fjärrvärme i panncentral utan undergrupper, 2 värmeväxlare.



Figur 5.2 Inkoppling av fjärrvärme i panncentral utan undergrupper, 3 värmeväxlare.

I fall 2 kan olika inkopplingar göras. De panncentraler som idag producerar primärvatten kan ombyggas för att vid fjärrvärmealternativet producera värme- och varmvatten lika fall 1. För distribution av varmvatten från panncentralen krävs det att nya varmvattenledningar installeras vilket leder till stora kostnader. Ett annat alternativ är att använda det system som finns för distribution av primärt värmevatten och således värma vatten i undercentralerna. För att erhålla låga returtemperaturer inkopplas fjärrvärme enligt figur 5.3. Den befintliga varmvattenberedaren kopplas i serie med en ny värmeväxlare. Att behålla den befintliga beredaren ger mindre värmeöverföringsyta på den nya växlaren.



Figur 5.3 Inkoppling av fjärrvärme i panncentral med undercentraler.

5.2 Kostnad för värmeväxlare vid olika medeltemperaturdifferenser

Förutsättningen för hela utredningsarbetet är att konsumenten skall kunna erhålla samma temperatur och energimängd som tidigare.

De värmeväxlare som utnyttjas för att överföra energin från fjärrvärmesystemet till byggnadernas värmesystem ökar i ytstorlek vid sänkning av fjärrvärmesystemets temperatur.

Temperaturdifferensen mellan framledning och returtemperatur i fjärrvärmesystemet har valts till 50°C i dimensioneringspunkten, d v s den temperaturnivå som är brukligt att utnyttja i dag.

I och med att temperaturdifferensen i den fortsatta analysen hålls konstant kommer rörsystemet, ventiler, pumpar o dyl icke att påverkas vid variationer av temperaturnivån.

Den enda kostnadsökning som erhålles är således kostnaden för värmeväxlaren. Plats för värmeväxlare finns då demonteringen av pannorna ger en större tillgänglig yta än vad som behövs för värmeväxlarna.

Kostnadsundersökningen av värmeväxlarna har utförts för plattvärmeväxlare och tubvärmeväxlare.

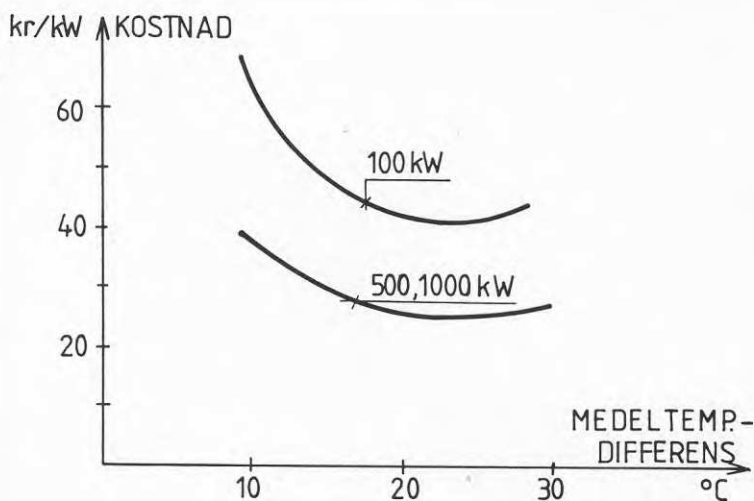
I undersökningen har ett stort antal olika temperaturnivåer på fjärrvärmesystemet använts, medan konsumentens temperaturbehov framgår av kapitel 4.4.

För varje temperaturbehov har en värmeväxlare av varje typ tagits fram, varpå denna har kostnadsberäknats.

Varje temperaturnivå har sedan transformerats till den för värmeväxlare karaktäristiska formen: medeltemperaturdifferens.

Temperaturhöjningen på värmesystemets sekundärsida sker i medeltal från 50 till 60°C och på förbrukningsvarmvattnet från 5 till 50°C . De abonnenter som har högre temperaturkrav på värmesystemet kan erhålla dessa genom att fjärrvärmevattnets framledningstemperatur är $+98^{\circ}\text{C}$ vid D.U.T.

Ur denna undersökning erhålles figur 5.4 och 5.5.

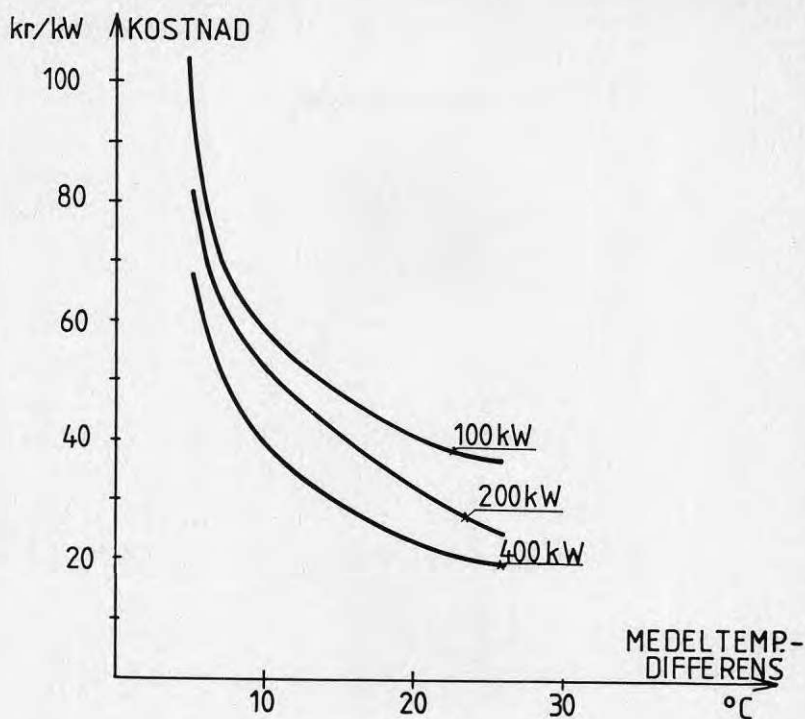


Figur 5.4 Specifik kostnad vid olika medeltemperaturdifferenser för värmeväxlare till värmeanläggning.

På sekundärsidan höjs temperaturen från 50°C till 60°C.

Med olika dimensionerande primärvattentemperaturer erhålls medeltemperaturdifferens enligt nedan:

98	-	55°C	medeltemp. diff	16,3°C
110	-	60°C	"	24,9°C
120	-	70°C	"	36,4°C



Figur 5.5 Specifik kostnad vid olika medeltemperaturdifferenser för värmeväxlare till varmvattenberedning.

I figur 5.4 och 5.5 har den billigaste värmeväxlaren för given medeltemperaturdifferens inritats.

Den dimensionerande effekten påverkar också priset varför tre för undercentralerna karaktäristiska effektstorlekar på värmeväxlare har analyserats.

6 KULVERTSYSTEM

6.1 Utformning av nätet

Vid fullt utbyggd fjärrvärme är systemet uppbyggt av två ringar. Ur leveranssäkerhet är det stor fördel att kunna mata abonnenterna från olika håll. Vid ett brott på huvudledningen kan man, genom att vända på värme- mediets flödesriktning i viss del av systemet, mata alla abonnenter.

Från produktionsenheten som placeras vid Hammargårds reningsverk läggs en huvudmatningsledning till Västra Hammerö. Från Västra Hammerö utgår två ledningar vilka läggs i en ring. Ledningarna ansluts söder om stadskärnan. Den norra ringen matar centrum och går i en slinga upp till bostadsområdet i kvarter Spoven.

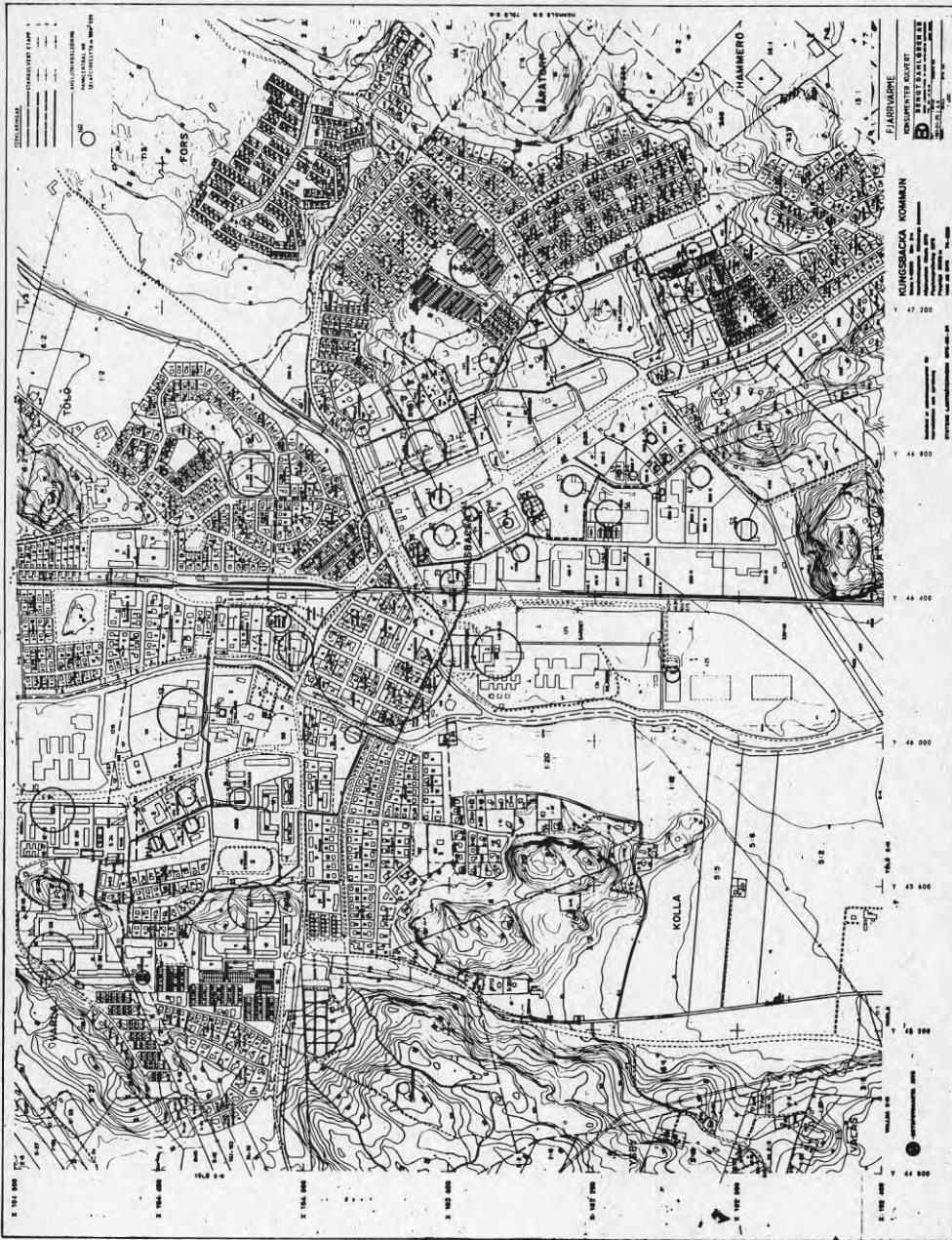
Den preliminära fjärrvärmedragningen redovisas i figur 6.1.

Kulvertrören är av typ direktskummade järnrör med dagens normala utförande vad beträffar tryckklasser, isolertjocklekar, höljen o s v.

Rör som skiljer sig från etablerad standard är i dag väsentligt dyrare, men en ökning av isolertjockleken är att vänta i framtiden då standarden icke har följt med energipriserna.

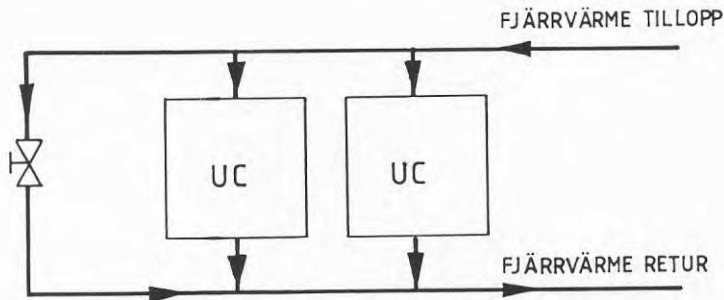
6.2 Rundcirkulation i nätet

Vid låga värmebehov och åtföljande låga flöde kommer fjärrvärmevattnet att kylas under acceptabel temperaturnivå på grund av fjärrvärmenätets förluster. Denna sänkning av temperaturen minskar vid lägre framledningstemperatur och med ökad isolering, men kommer ändå att bli stor under sommarnätterna då mycket litet energi tages ur nätet.



Figur 6.1 Preliminär kulvertförläggning samt panncentralernas läge och relativa energiförbrukning utanför centrum.

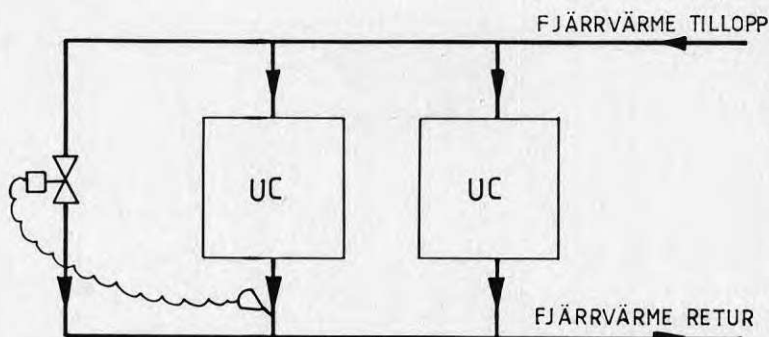
I de flesta fjärrvärmenät löses problemet genom att anordna en så kallad by-pass ledning i den längst bort belägna delen av varje delsystem.



Figur 6.2 Oreglerad by-pass ledning i fjärrvärmenät.

Detta utförande medför att vätska alltid passerar genom by-pass ventilen och ledningssystemet kommer dels att behöva dimensioneras för större flöden dels kommer returtemperaturen att vara högre än nödvändigt under de delar av året då runcirkulation ej erfordras.

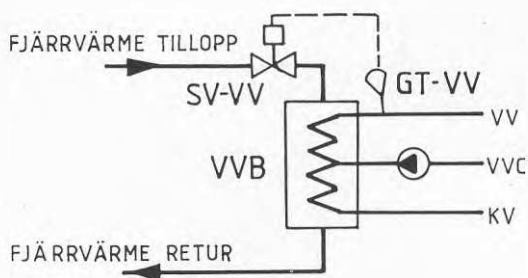
För att råda bot på detta sätts i vissa fall en reglerande ventil in i by-pass ledningen.



Figur 6.3 Reglerad by-pass ledning i fjärrvärmenätet.

Denna ventil regleras på temperaturen vid den plats där den lägsta temperaturen förväntas inträffa. Under förutsättning att för låga temperaturer endast inträffar sommartid kan temperaturgivaren vara inställd på min framledningstemperatur för sommarfallet. Om temperaturen kan bli för låg under värmesäsongen krävs en utomhuskompenserad reglering av ventilen, vilket ökar komplexiteten och därmed risken för driftsstörningar, speciellt vid ändrade driftsförhållanden i fjärrvärmeverket.

Om en konsekvent styrning av undercentralernas varmvattentemperatur och utnyttjande av varmvattencirkulationspumpar införes kan by-pass ledningen helt slopas. Detta kan göras om för låga temperaturer erhålles under den period framledningstemperaturen för värme understiger erforderlig varmvattentemperatur. Denna typ av styrning kan ev utföras i flertalet fjärrvärmenät.



Figur 6.4 Undercentralens styrning för att reglera erforderlig vattenmängd i fjärrvärmenätet.

När givaren GT-VV icke erhåller önskad varmvattentemperatur öppnar fjärrvärmenätets SV-VV för att öka flödet. Om fjärrvärmenätet har förlorat temperatur under värdet för GT-VV kommer SV-VV att ställa sig helt öppen tills erforderlig temperatur har uppnåtts.

GT-VV och SV-VV klarar således av att cirkulera vatten i fjärrvärmenätet så att detta ej kyls för mycket.

Temperaturförlusten i fjärrvärmenätet kan således maximalt bli skillnaden mellan önskad framledning och önskad varmvattentemperatur. Detta innebär att någon grads lägre temperatur kan erhållas temporärt vid mycket stora varmvattentappningar efter en period med liten tappning. Under normala förhållanden kommer detta aldrig att märkas.

Det bör påpekas att denna koppling av undercentralerna är standard i Sverige varför man kan stänga flertalet by-pass ledningar och därigenom spara energi genom minskade förluster, då returtemperaturen sänks avsevärt.

6.3 Temperaturvariationen i fjärrvärmesystemet vid olika dimensionering

För att kunna undersöka hur temperaturen varierar i ett fjärrvärmenät under ett normalår måste dels maximal framledningstemperatur den kallaste dagen bestämmas dels vilken framledningstemperatur som erfordras sommartid.

Dessa två temperaturnivåer kan väljas i stort sett oberoende av varandra, då maximal framledningstemperatur påverkar värmeväxlardimensioneringen för värmesystemet och framledningstemperaturen sommartid påverkar värmeväxlardimensioneringen för förbrukningsvarmvattenvärmeväxlaren. Samspelet mellan dessa dimensioneringar påverkar dock i hög grad returtemperaturen då förbrukningsvarmvattenvärmeväxlaren ligger i serie efter värmesystemets värmeväxlare.

I de fortsatta beräkningarna, som utförts timvis i dator, har 3 st olika temperaturnivåer under året valts.

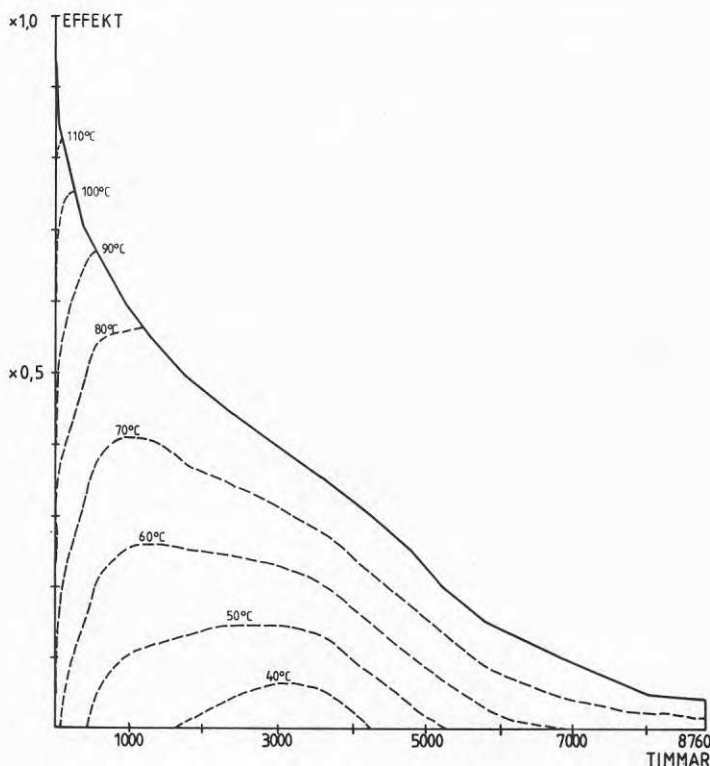
Dimensionerande temperaturnivåer:

Värme - primärtemp	Varmvatten - primärtemp
(120 - 70 ^o C) vid D.U.T.	(80 - 40 ^o C) sommar
(110 - 62 ^o C) vid D.U.T.	(70 - 30 ^o C) sommar
(98 - 55 ^o C) vid D.U.T.	(55 - 20 ^o C) sommar

Temperaturnivåerna har valts så att det maximala flödet blir lika i dimensioneringspunkten. Den lägre temperaturdifferensen (98 - 55^oC) kompenseras av att allt returvattnet kan efterkylas i förbrukningsvarmvattenvärmeväxlaren.

För att kunna åskådliggöra hur temperatur- och effektvaraktigheten samverkar har temperaturlinjerna inritats i ett varaktighetsdiagram för de tre olika dimensioneringsalternativen. Ytan under temperaturkurvorna representerar den energimängd som kan tillfredsställas av en energikälla med temperaturkurvans temperatur.

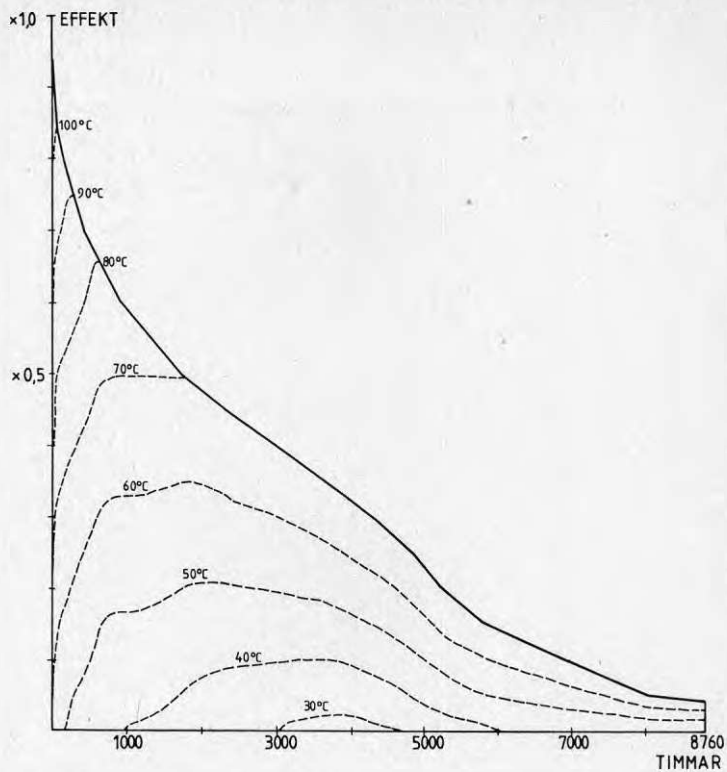
Skärningen mellan varaktighetsdiagrammets övre begränsningslinje och temperaturkurvan visar framledningstemperaturen medan temperaturkurvans skärning med den horisontella axeln visar returtemperaturen.



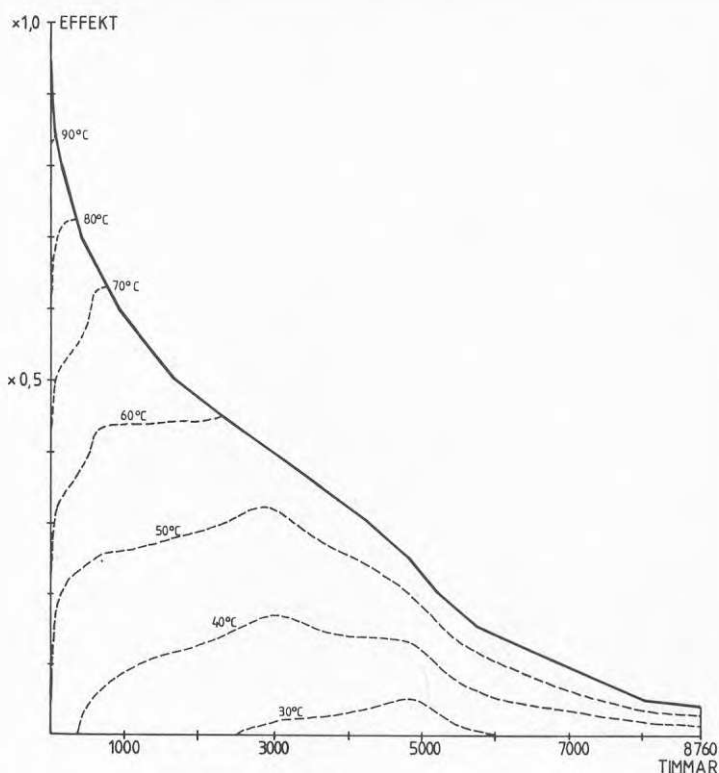
Figur 6.5 Varaktighet för effekten med inlagda temperaturkurvor för:

120 - 70°C dim primärvattentemp för värme

80 - 40°C dim primärvattentemp för varmvatten.



Figur 6.6 Varaktighet för effekten med inlagda temperaturkurvor för:
 110 - 62°C dim primärvattentemp för värme
 70 - 30°C dim primärvattentemp för varmvatten.



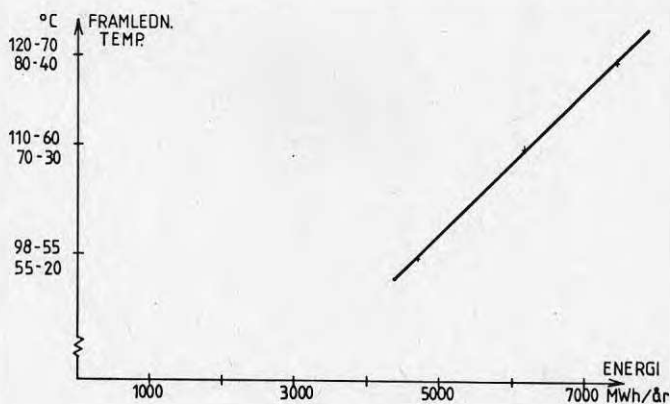
Figur 6.7 Varaktighet för effekten med inlagda temperaturkurvor för:

98 - 55°C dim primärvattentemp för värme
55 - 20°C dim primärvattentemp för varmvatten.

6.4 Årsenergiförlusten för olika framlednings- och returtemperaturer

Beroende på hur fjärrvärmenätet dimensioneras ur temperatursynpunkt, erhålls olika temperaturnivåer i kulvertledningarna under ett år. Genom att beräkna kulvertsystemets dimension, längd, isolering samt förläggning kan energiförlusten från nätet beräknas.

Till denna årsförlust adderas sedan ytterligare 50% för förluster i pumpar, ventiler, genomföringar, fixar o s v. Resultatet av dessa beräkningar åskådliggöres i figur 6.8.



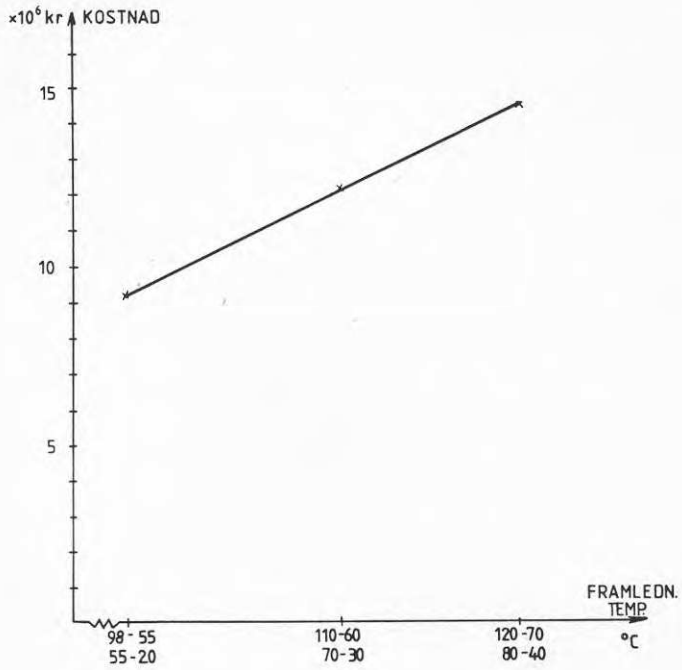
Figur 6.8 Årsenergiförlusten i fjärrvärmesystemet som funktion av temperaturnivåerna.

6.5 Nuvärdesberäkning av energiförlusten

För att kunna fastställa hur mycket som kan investeras i värmeväxlarna för att sänka temperaturnivån och därmed minska förlusten måste årsenergiförlusten enligt figur 6.8 kapitaliseras.

Med 20 års avskrivningstid och 6% ränta utöver oljeprissteget blir nuvärdesfaktorn 11,47.

Med ett energipris på 17 öre/kWh kan figur 6.8 omritas till ett investeringsdiagram som visar hur stor investering den aktuella energiförlusten motsvarar för olika fjärrvärmesystemtemperaturer.



Figur 6.9 Investering som kan tillåtas för att sänka fjärrvärmes temperaturerna.

7 DIMENSIONERING AV FJÄRRVÄRMESYSTEMET

7.1 Val av temperaturnivåer

De faktorer som huvudsakligen påverkar valet av temperaturnivåer är kostnaden för värmeväxlare enligt kapitel 5.2 samt den kapitaliserade energiförlusten enligt kapitel 6.5.

För att kunna bedöma kostnaden för värmeväxlare måste man bestämma hur stor installerad effekt som kan hänföras till de olika storleksklasserna på värmeväxlarna.

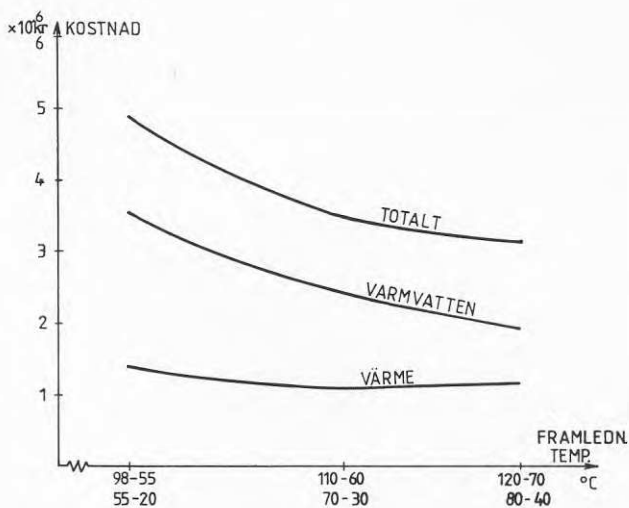
Det bör observeras att den installerade effekten skiljer sig från den totalt sammanlagrade enligt kapitel 3.3.

VÄRMEVÄXLARE	EFFEKTSTORLEK			TOTALT INSTALLERAD EFFEKT
	100 kW	200 kW	400 kW	
Förbruknings- varmvatten	17 MW	35 MW	34 MW	86 MW

VÄRMEVÄXLARE	EFFEKTSTORLEK			TOTALT INSTALLERAD EFFEKT
	100 kW	500 kW	1000 kW	
Värme	14 MW	7 MW	14 MW	35 MW

Tabell 4 Effektinstallation vid totalt utbyggt fjärrvärmenät uppdelat på värmeväxlartyp och effektstorlek.

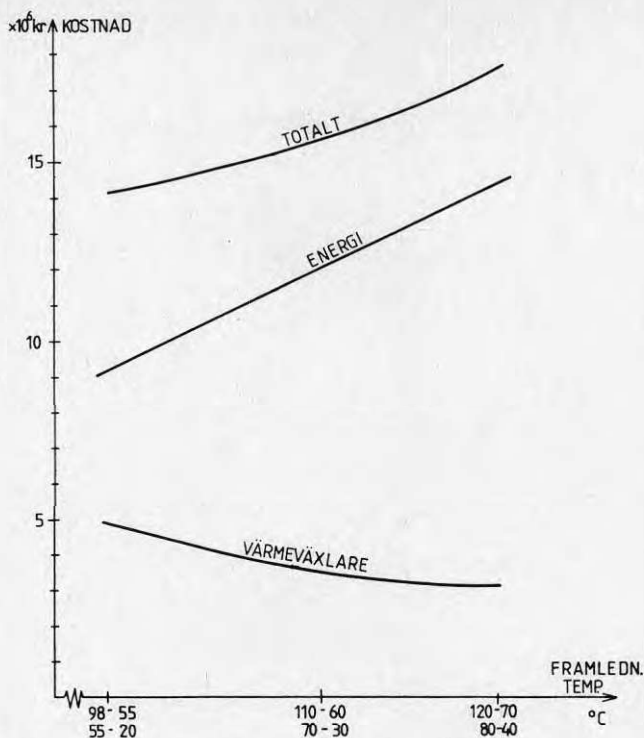
Den totalt erforderliga kostnaden för värmeväxlare i fjärrvärmeområdet kan nu beräknas.



Figur 7.1 Total investering i värmeväxlare för olika temperaturnivåer.

Härav framgår att de höga temperaturerna var riktiga i fjärrvärmenäten då energin var en mycket billig tillgång och i stort sett endast investeringskostnaden behövde beaktas.

Genom att till detta diagram addera den kapitaliserade energiförlusten erhålles den kompletta kostnadsbilden.



Figur 7.2 Kostnad för både värmeväxlare och kapitaliserad energi.

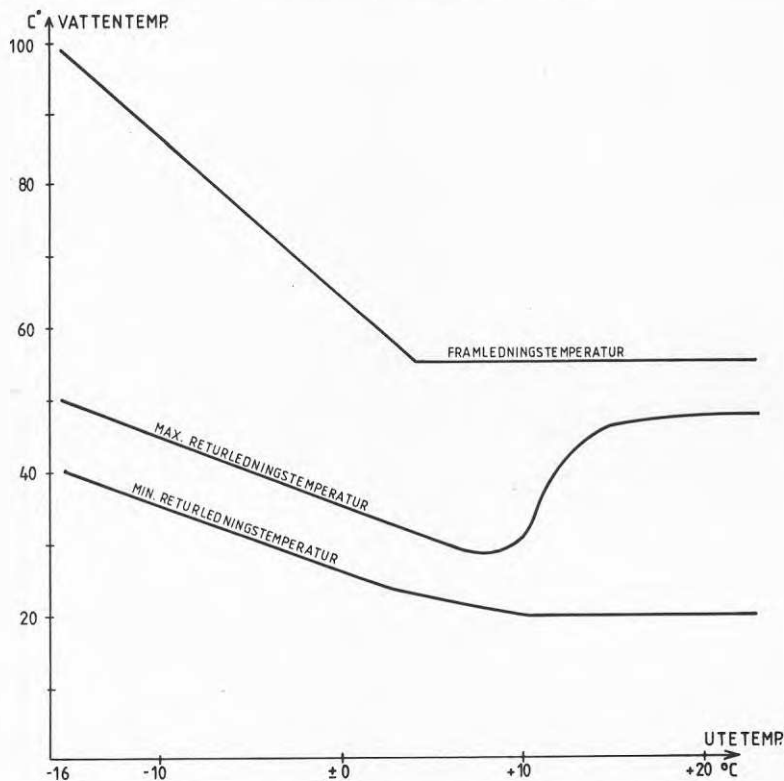
Härur framgår att den optimala temperaturnivån är 98 - 55, 55 - 20 $^{\circ}\text{C}$ eller till och med ännu lägre. Dessa temperaturer kan ytterligare sänka investeringskostnaden genom sänkta tryckklasser, men denna aspekt räknas icke in här.

7.2 Resultterande flöden och temperaturer

I föregående kapitel bestämdes temperaturnivån i fjärrvärmenätet till 98 - 55 $^{\circ}\text{C}$ vid D.U.T. och 55 - 20 $^{\circ}\text{C}$ sommartid.

Framledningstemperaturen kan nu följa en bestämd kurva, som funktion av utomhustemperaturen. Returtemperaturen varierar under dygnet. Under vintern beror denna variation på förbrukningen av varmvatten medan det under sommaren tillkommer en variation beroende på rundcirkulation enligt kapitel 6.2.

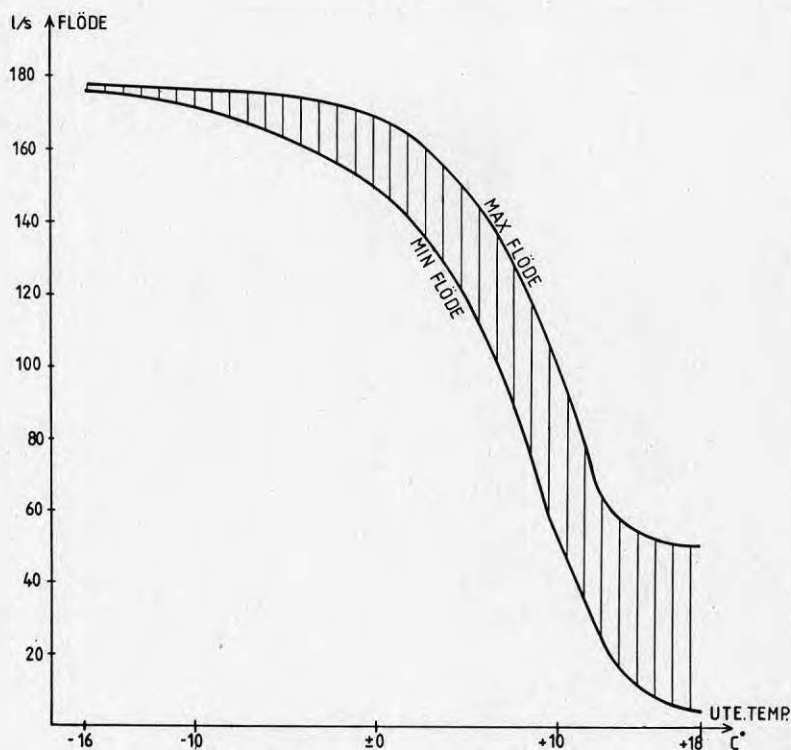
Dessa temperaturvariationer i fjärrvärmenätet kan beskrivas som funktion av utomhustemperaturen.



Figur 7.3 Fjärrvärmenätets temperaturer som funktion av utomhustemperaturen.

De stora variationerna vid höga utomhustemperaturer beror på att enbart uppvärmning av varmvatten sker, vilket ger mycket låga returtemperaturer vid stor tappningsintensitet och höga returtemperaturer på grund av rundcirkulationen vid låg tappningsintensitet, som inträffar nattetid.

Även flödet varierar vid samma utomhustemperaturer, beroende på att större flöde behövs vid tappning av förbrukningsvarmvatten. Vid D.U.T. -16°C är flödet dock relativt konstant, då returen från värmesystemet värmer tappvarmvattnet vilket ger utslag i returtemperaturen och inte i flödet.



Figur 7.4 Flödet i kulvertsystemet som funktion av utomhustemperaturen.

8 HAMMARGÅRDS RENINGSVERK

8.1 Årsvariation av energitillgången

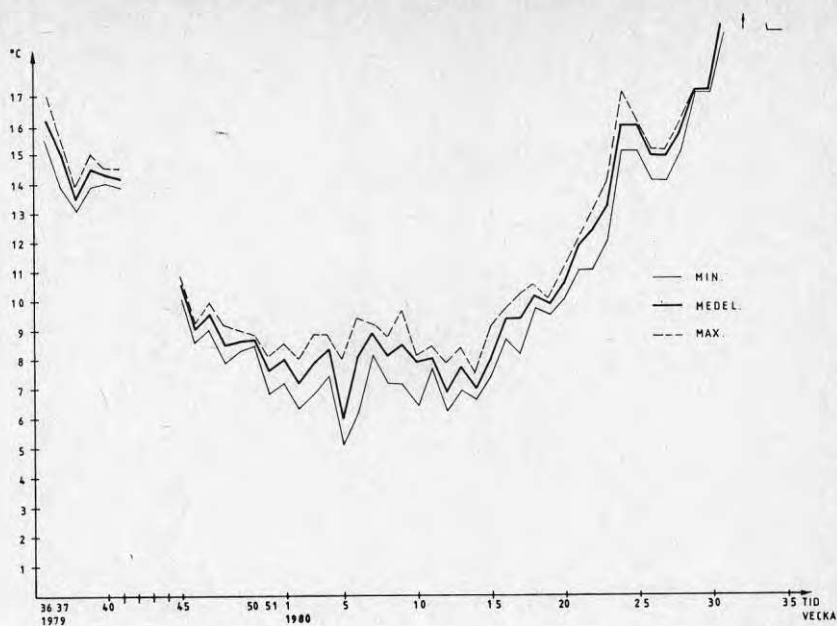
Genom Hammargårds reningsverk flyter dagligen vatten som innehåller en stor energimängd. Reningsverket har 3-steps rening; mekanisk, biologisk och kemisk varför det utgående vattnet från verket är av god kvalitet vilket möjliggör att standardprodukter kan användas vid värmeväxling.

Temperaturen på det utgående vattnet från reningsverket har mätts kontinuerligt av verkets personal under 1979/80.

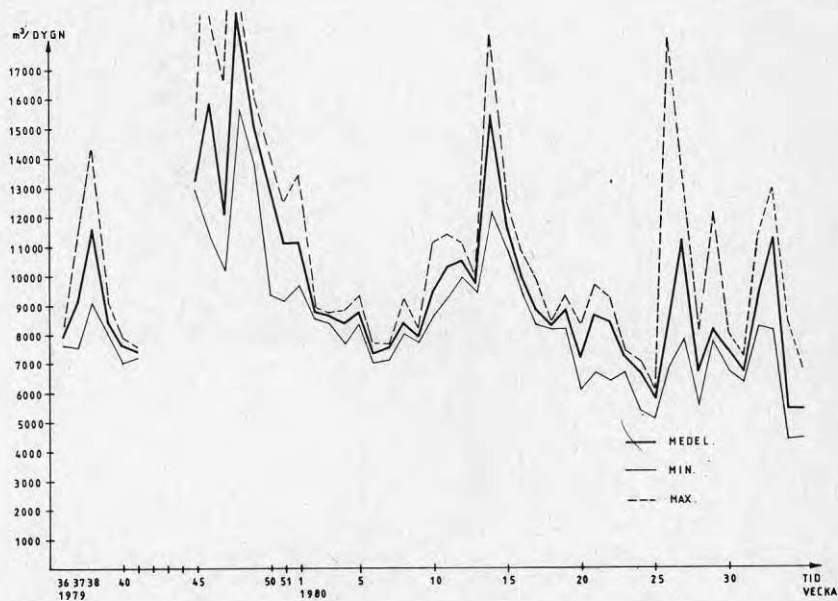
Temperaturen har mätts med termistorgivare. Flöden har framtagits från den journal som reningsverkets personal dagligen för.

I diagrammen över temperatur och flöde har veckomedelvärden använts, det finns även inlagt en kurva över de max- och minimivärden som förekommit under veckan.

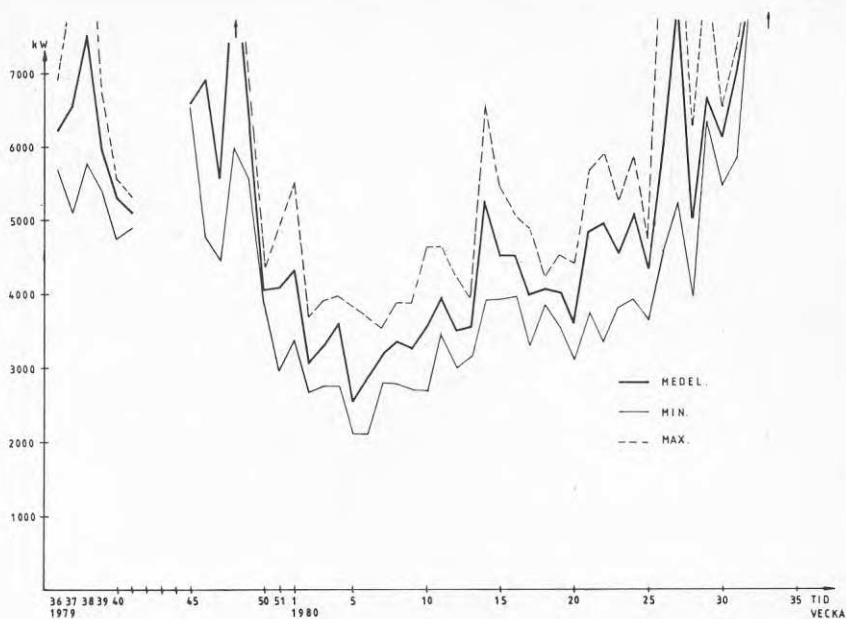
Effektdiagrammet visar den medeleffekt som finns tillgänglig (avloppsvattnet kyls till $\pm 0^{\circ}\text{C}$) som funktion av tiden.



Figur 8.1 Veckomedeltemperatur resp min och max på utgående renat avloppsvatten från Hammargårds reningsverk under 1979-80.



Figur 8.2 Veckomedelflöde resp min och max på avloppsvattenflöde genom Hammargårds reningsverk under 1979-80.



Figur 8.3 Veckomedeleffekt resp min och max för möjligt effektuttag vid kylning av avloppsvattnet till 0°C vid Hammargårds reningverk 1979-80.

8.2 Dygnsvariation av energitillgången

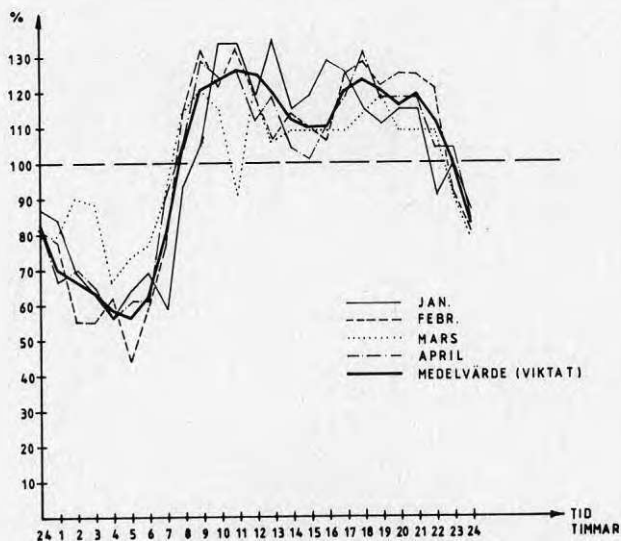
Energiinnehållet i det utgående vattnet från reningverket bestäms av flöde och temperatur.

Temperaturen i reningvattnet är nära konstant under dygnet. De mätningar som utförts visade att temperaturen varierar kring dygnsmedelvärdet $\pm 1^{\circ}\text{C}$. I de fortsatta beräkningarna har dygnsmedelvärdet använts som timmedelvärde under dygnet.

Flödet genom verket varierar under dygnet. Mätningar på flödet har gjorts med kontinuerlig mätning med skrivare under dygnet. I figur 8.4 redovisas flödesvariationen under dygnet. Ur figuren kan man utläsa att förhållandet mellan max- och minimiflöde är ungefär 2,3 under dygnet.

Den tillgängliga energin i reningsvattnet är störst på förmiddagen då den uppgår till cirka 125% av timmedelvärdet och lägst på natten då den uppgår till cirka 55%.

Vid regn kommer flödet att öka samtidigt som temperaturen sjunker. Det största flödet som uppmättes under 1979 var drygt 30.000 m³ under ett dygn.



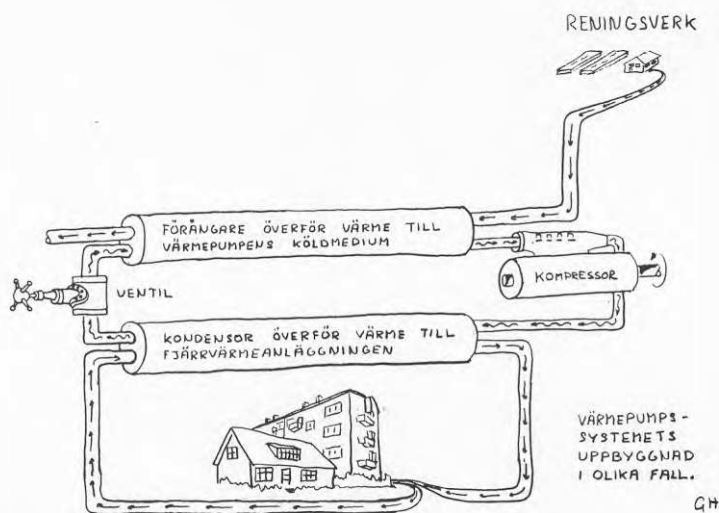
Figur 8.4 Avloppsvattenflödets variation under dygnet i Hammargårds reningsverk.

9 ENERGIUTNYTTJANDE VID HAMMARGÅRDS RENINGSVERK

9.1 Carnotverkningsgradsanalys av konstruktioner och drivkällor

9.1.1 Allmänt

Värmepumpen kräver, för sin funktion, en drivkälla till den kompressor som höjer tryck och temperatur mellan förångare och kondensor.



Figur 9.1 Skiss över värmepumpsystemets komponenter.

Beroende på vilken drivkälla som utnyttjas kan olika mängd värme levereras till fjärrvärmenätet genom att ta till vara så mycket som möjligt av den värme som går åt vid omvandlingsprocessen till rörelseenergi.

För att i fortsättningen av detta arbete kunna bestämma den utnyttjningsbara energimängden från värmepumpsenheten måste värmepumpsprocessens effektivitet analyseras.

9.1.2 Carnotverkningsgrad

Carnotverkningsgraden beskriver förhållandet mellan den teoretiskt maximala värmefaktorn och den praktiskt användbara. För en given värmepump varierar carnotverkningsgraden mycket lite inom det givna konstruktionsintervallet.

Om carnotvärmefaktorn definieras

$$\phi_c = \frac{\text{kondenseringstemperatur (K)}}{\text{kondenseringstemp} - \text{förångningstemp}}$$

kan man genom att multiplicera ϕ_c med den verkningsgrad η_c som gäller för den aktuella värmepumpsprocessen erhålla en slutlig värmefaktor ϕ .

$$\phi = \phi_c \cdot \eta_c + \eta_{cv}$$

η_c består av två olika delverkningsgrader η_{cp} och η_{cf} .

- η_{cp} beskriver värmepumpens verkningsgrad beräknat på kompressorns axel och varierar mellan 0,4 i vissa villavärmepumpar till 0,7 i stora flerstegskopplade värmepumpar. I nedanstående beräkningar användes $\eta_{cp} = 64\%$ vilket motsvarar enstegsvärmepump i storleksklassen 1 - 5 kW kyleffekt.
- η_{cf} beskriver den del av tillförd energi som nyttiggörs i form av rörelseenergi.
- η_{cv} beskriver den del av den tillförda energin som icke omvandlas till rörelseenergi, men som användes i form av värme.

$$\phi_u = (\phi_c \cdot \eta_{cp} \cdot \eta_{cf} + \eta_{cv}) / (\eta_{cv} + \eta_{cf})$$

Denna värmefaktor användes för att fastställa den utnyttjningsbara energin från en energikälla.

$$\phi = \phi_c \cdot \eta_{cp} \cdot \eta_{cf} + \eta_{cv}$$

Denna värmefaktor användes för att bestämma erforderlig drivenergi/effekt till värmepumpen.

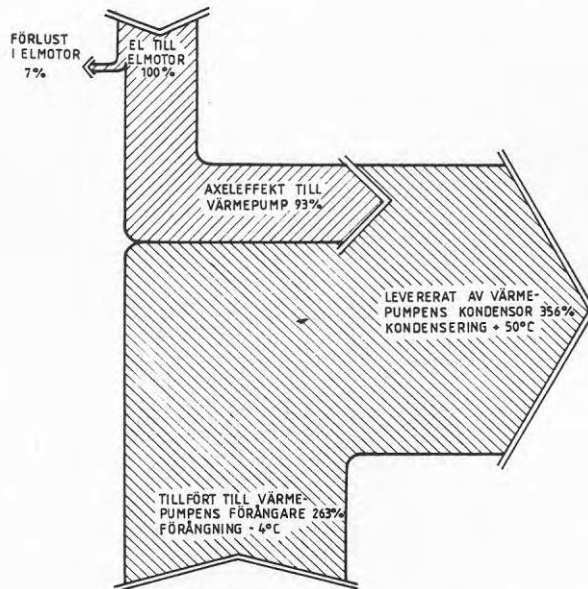
9.1.3 Elmotordriven värmepump

Vid elmotordrift är $\eta_{cv} = 0$.

I den här aktuella storleksklassen användes vanligen öppna elmotorer vilket medför att:

$$\underline{\phi}_u = \phi_c \cdot \eta_{cp} = \underline{\phi}_c \cdot 0,64$$

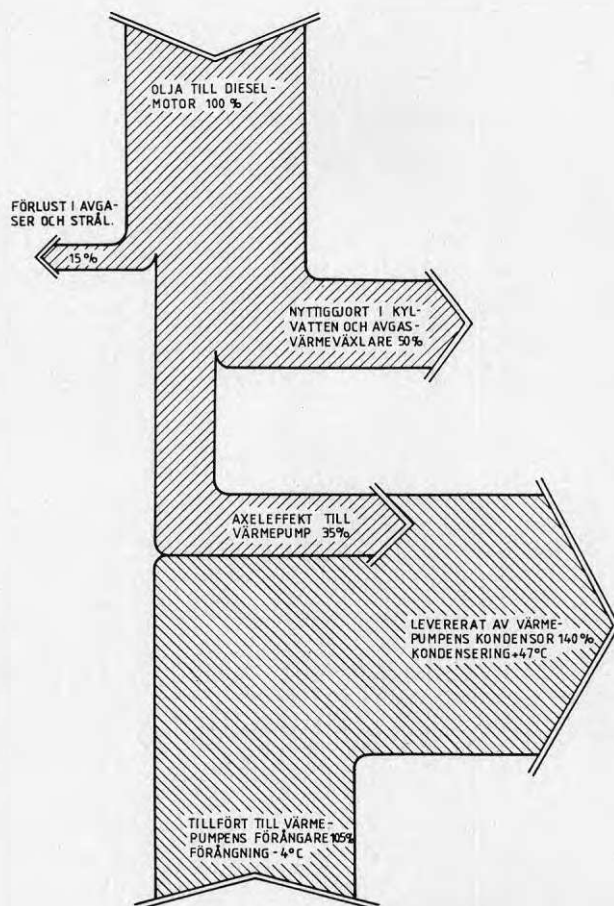
$$\underline{\phi} = \phi_c \cdot \eta_{cp} \cdot \eta_{cf} = \phi_c \cdot 0,64 \cdot 0,93 = \underline{\phi}_c \cdot 0,59$$



Figur 9.2 Sankeydiagram elmotordriven värmepump.

9.1.4 Förbränningsmotordriven värmepump

Som bränsle kan i dag gas, lättolja (E01) och tjockolja (E03) komma i fråga. I de oljedrivna värmepumparna omvandlas 35% av tillfört bränsle till rörelseenergi, medan 15% försvinner i form av icke nedkylda avgaser, strålning och konvektion. I den gasmotor-drivna omvandlas 30% till rörelseenergi medan 10% försvinner. Skillnaden i omvandlad rörelseenergimängd beror på gasmotorns lägre kompression, medan skillnaden i nedkylning av avgaserna beror på att svavelsyra icke utfälls vid gasmotoranvändning vilket innebär att avgaserna kan kylas till lägre temperatur.



Figur 9.3 Sankeydiagram oljemotordriven värmepump.

Ur figur 9.3 kan utläsas att:

$$\phi_u = (\phi_c \cdot \eta_{cp} \cdot \eta_{cf} + \eta_{cv}) / (\eta_{cv} + \eta_{cf}) = (\bar{\phi}_c \cdot 0,64 \cdot 0,35 + 0,5) / 0,85 = \underline{\underline{\bar{\phi} \cdot 0,264 + 0,59}}$$

$$\phi = \phi_c \cdot \eta_{cp} \cdot \eta_{cf} + \eta_{cv} = \phi \cdot 0,64 \cdot 0,35 + 0,5 = \underline{\underline{\phi_c \cdot 0,224 + 0,5}}$$

9.2 Nyttiggjord energimängd som funktion av nedkylningstemperatur, kyleffekt och drivkälla

Effektåtgången i ett fjärrvärmenät varierar kraftigt både under året och dygnet enligt kapitel 3.

Effekttillgången vid reningsverket uppvisar enligt kapitel 8 motsvarande kraftiga variationer.

För att avgöra hur mycket energi som kan tillvaratas ur vattnet från reningsverket måste en jämförelse mellan tillgång och behov göras varje timme under ett år för de olika alternativ som skall studeras.

Under sommarmånaderna kommer energibehovet att vara dimensionerande medan energitillgången vid reningsverket kommer att vara dimensionerande på vintern. Mellansäsongerna präglas av omväxlande dimensioneringskriterier, även under dygnet.

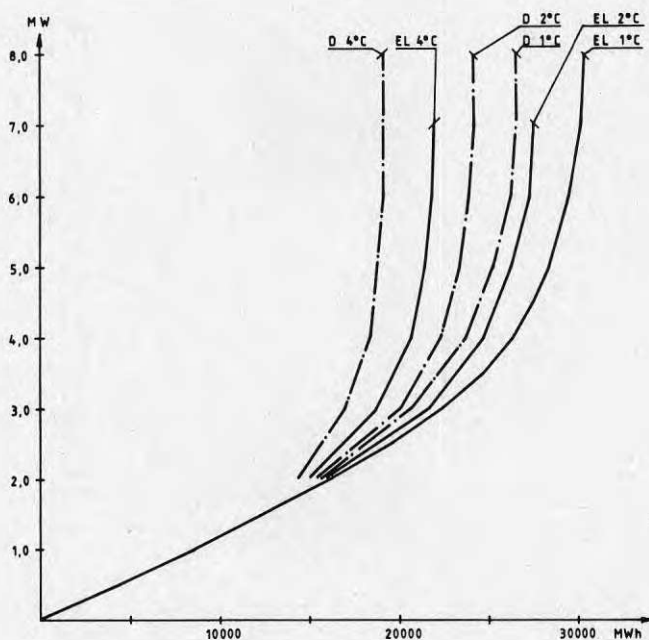
Faktorer som påverkar den utnyttjningsbara energimängdens storlek är:

- den temperatur som kan erhållas på reningsvattnet efter kylning.
- installerad kyleffekt.
- värmefaktorn ϕ_u enligt kapitel 9.1.2.

Genom att utnyttja två stycken värmepumpar i serie på kondensorsidan kommer den första värmepumpen att arbeta med bättre värmefaktorer än den andra. Vid beräkningarna i detta kapitel har ett medelvärde på förångnings- och kondenseringstemperaturer - i de båda

värmepumparna - under året använts.

I kapitel 9.4 databeräknas sedan den exakta situationen med varierande temperaturer.



Figur 9.4 Utnyttjningsbar energi, under ett normalår, ur avloppsvattnet som funktion av kyleffekt, drivkälla och avloppstemperatur efter kylningen. Fullt utbyggt fjärrvärmsystem.

I figur 9.4 står bokstaven "D" för oljemotordriven och "El" för elmotordriven värmepump. Temperaturen efter drivmotorindex står för den temperatur till vilken avloppsvattnet kan kylas. Effektaxeln anger installerad kyleffekt och energiaxeln den genom kylningen tillvaratagna energin.

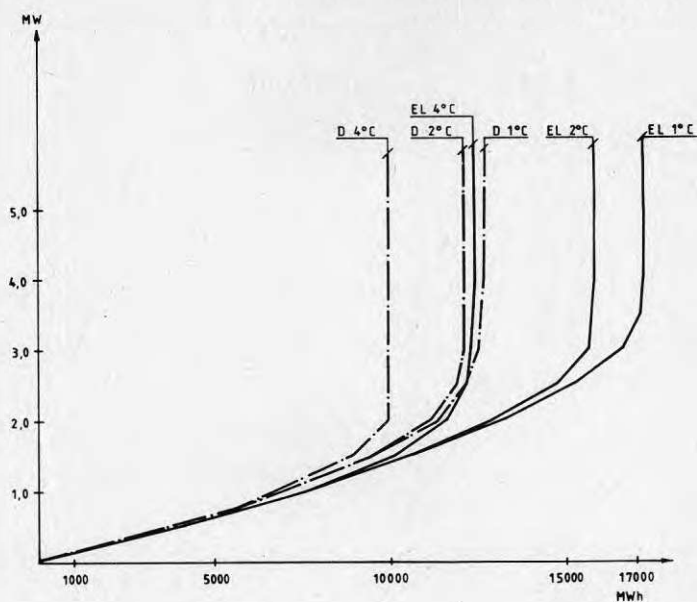
Förutsättningarna för figur 9.4:

	EL 1°C, 2°C, 4°C	D 1°C, 2°C, 4°C
Förångningstemp	-4°C	-4°C
Kondenseringstemp	+50°C	+47°C
Carnotvärmefaktor	6,0	6,3
Värmefaktor ϕ_u	3,8	2,3
Effektiv värmefaktor ϕ	3,5	1,9
Max avloppsflöde m ³ /dygn	19.000	19.000
Energibehov/år GWh	110	110

Ur diagrammet kan utläsas att en elmotordriven värmepump med kylning till 1°C ger cirka 6.000 MWh mer energi från reningsvattnet under ett år än motsvarande dieselmotordriven, vid 5-6 MW kyleffekt.

Man kan vidare utläsa att det är motiverat med en relativt stor investering för att kyla vattnet till 1°C.

Avgörande för val av drivkälla och installerad kyl-effekt blir hur energiutnyttjandet ser ut för den etapp som första skall byggas ut (Etapp 1).



Figur 9.5 Utnyttjningsbar energi, under ett normalår, ur avloppsvattnet som funktion av kyleffekt drivkälla och avloppstemperatur efter kylningen. Etapp 1.

Förutsättningarna för figur 9.5:

	EL 1°C, 2°C, 4°C	D 1°C, 2°C, 4°C
Kondenseringstemp	64°C	56°C
Förångningstemp	-1°C	-1°C
Värmefaktor ϕ_u	3,3	2,1
Effektiv värmefaktor ϕ	3,1	1,8
Max avloppsflöde m ³ /dygn	9.000	9.000
Energibehov/år GWh	31,5	31,5

Här framgår att effekten vid reningsverket räcker till betydligt större procentuell täckning än vid full utbyggnad och att detta medför att den elmotordrivna värmepumpen har ett mycket större energiutnyttjande vid samma installerade kyleffekt.

För den stegvisa utbyggnaden kan också utläsas att 2,5 - 3,0 MW kyleffekt är lämpligt för etapp 1 medan vi i figur 9.4 konstaterade att 5 - 6 MW kyleffekt är lämpligt för den slutliga utbyggnaden.

Ur investerings - utbyggnadshänseende förefaller således två stycken värmepumpar vara ett lämpligt val.

9.3 Värmeväxlare på värmepumpens förångarsida

9.3.1 Allmänt

I föregående kapitel framgick att strävan skall vara att kunna kyla avloppsvattnet så långt som möjligt.

Den energibesparing som görs genom att öka kylningen från slutvärdet till 2°C till slutvärdet 1°C , är vid 5 - 6 kW installerad kyleffekt och full utbyggnad av fjärrvärmenätet cirka 4.000 MWh per år enligt figur 9.4.

Generellt kan sägas att problematiken vid kylningen av vattnet begränsas av att värmeväxlartemperaturen på avloppsvattensidan icke får understiga $\pm 0^{\circ}\text{C}$ på kallaste stället.

Ytbehovet på värmeväxlaren dimensioneras således av värmeövergångstalet på avloppssidan.

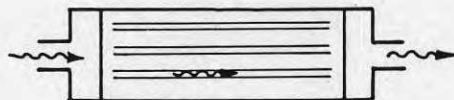
På köldmedie- eller brinesidan kan en sämre värmeövergång kompenseras av sänkning av temperaturen. Samma gäller för sämre värmeledning.

Ur figur 8.1, 8.2 och 9.4 kan utläsas att dimensioneringskriterierna för kylning av avloppsvattnet bör vara:

- kylning från $+6^{\circ}\text{C}$ till $+1^{\circ}\text{C}$
- maximalt flöde $15.000 \text{ m}^3/\text{dygn}$
- ingen påfrysning i värmeväxlaren.

Konstruktionsmässigt karakteriseras värmeväxlaren av en "lång" termisk uppgift.

9.3.2 Helt vattenfylld rörvärmeväxlare



Vanligen passerar avloppsvattnet inuti tuberna, men även typer med avloppsvattenpassage mellan mantel och tuber förekommer.

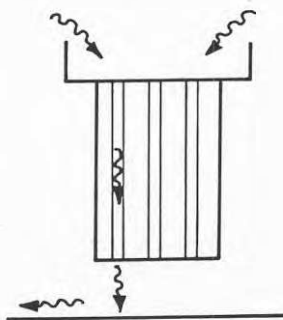
Fördelar

- Köldmedium kan användas.
- Billig vid "korta" termiska uppgifter och måttliga medeltemperaturdifferenser.
- Förstörs ej vid ispåfrysning.

Nackdelar

- Dyr vid "långa" termiska uppgifter och små medeltemperaturdifferenser.
- Relativt svår att rengöra.
- Lång tid att tina vid ispåfrysning.

9.3.3 Ej helt vattenfylld rörvärmväxlare



Vattnet rinner efter tubernas väggar och släpps fritt ut vid botten.

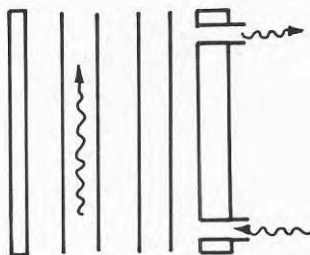
Fördelar

- Köldmedium kan användas.
- Kan arbeta med isskikt på rörväggarna.
- Lätt att rengöra.
- Lågt motstånd.

Nackdelar

- Mycket dyr vid "långa" termiska uppgifter.

9.3.4 Plattvärmväxlare



Vattnet passerar mellan korrugerade plattor, vilka kan demonteras för översyn.

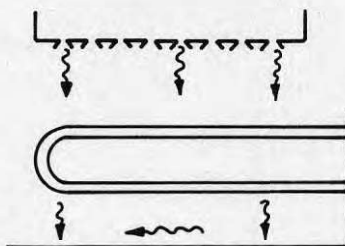
Fördelar

- Billig vid "långa" termiska uppgifter.
- Lätt att rengöra.
- Förstörs ej vid ispåfrysning.
- Tar liten plats.

Nackdelar

- Köldmedium kan ej användas.

9.3.5 Öppen rörvärmväxlare



Vatten strilas över ett rörknippe och samlas upp på botten.

Fördelar

- Köldmedium kan användas.
- Lågt tryckfall
- Kan arbeta med isskikt på rören
- Lätt att rengöra.

Nackdelar

- Dyr vid "långa" termiska uppgifter.

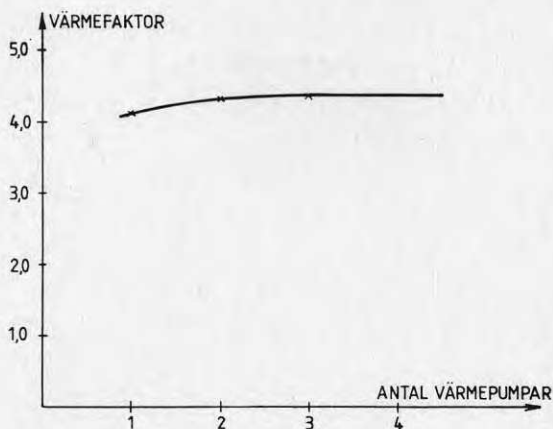
9.4 Flera värmepumpar i serie

Fjärrvärmevattnet har, som framgår av kapitel 7.2, stor temperaturdifferens mellan tillopp och retur. Om endast en värmepump utnyttjas måste denna ha en kondenseringstemperatur som hela tiden är högre än önskad tilloppstemperatur, i de fall värmepumpen svarar för hela energibehovet. Temperaturdifferensen mellan kondensator och förångare blir då hela tiden relativt hög, trots att fjärrvärmenätet har dimensionerats för låga temperaturer.

För att förbättra värmefaktorn kan dels flerstegsvärmepump användas dels kan flera enstegsvärmepumpar i serie utnyttjas.

Om flera värmepumpar utnyttjas kommer den första att arbeta med kondenseringstemperaturer som bara behöver ligga något över returtemperaturen, nästa något högre o s v till den sista som arbetar på samma sätt som om enbart en värmepump var installerad.

För att ta reda på hur värmefaktorn varierar vid olika antal värmepumpar i serie simuleras fjärrvärmenätets temperaturer, fjärrvärmenätets erforderliga effekt samt temperatur och energitillgången vid reningsverket. Denna simulering utföres för varje timma under ett normalår.



Figur 9.6 Värmefaktorns variation som funktion av antalet seriekopplade värmepumpar vid reningsverket.

Av figur 9.6 framgår att värmefaktorn förbättras med ökande antal värmepumpar.

Vid valet av antal värmepumpar måste dock hänsyn tagas till ökande investerings- och underhållskostnader med flera värmepumpar.

Om två värmepumpar installeras erhålles samma värmefaktor som antogs i kapitel 9.2.

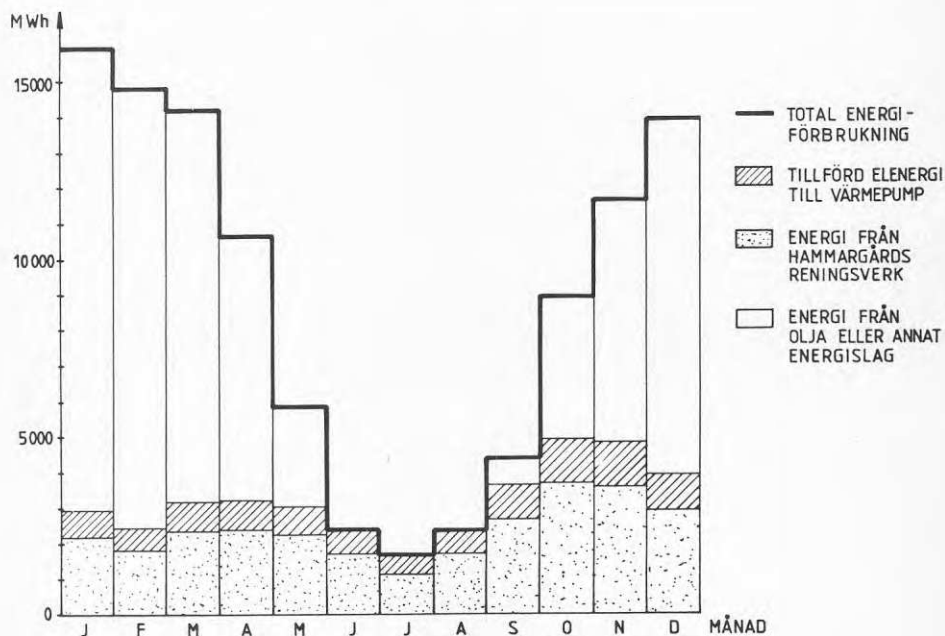
9.5 Val av installation

9.5.1 Drivenhet till kompressor

För att erhålla ett så fördelaktigt utnyttjande av reningsverket som möjligt installeras två stycken värmepumpar vardera på 2,75 MW installerad kyleffekt.

Denna installation passar även utbyggnadsskedet, med en värmepump under etapp 1 och 2 värmepumpar i de fortsatta etapperna.

Den installerade kyleffekten 5,5 MW medför enligt kapitel 9.1.2 och kapitel 9.2 att varaktigheten i effekt för att driva kompressorn motsvarar 3800 timmars utnyttjningstid.



Figur 9.7 Reningsverkets månadsvisa utnyttjande vid full utbyggnad.

Toppeffektbehovet sammanfaller inte med den del av året då elnätet är mest belastat för övriga ändamål, samtidigt som elenergi vid så långa utnyttjningstider i dagsläget endast ligger någon procent över tjockoljepriset om omvandlingsförluster medräknas.

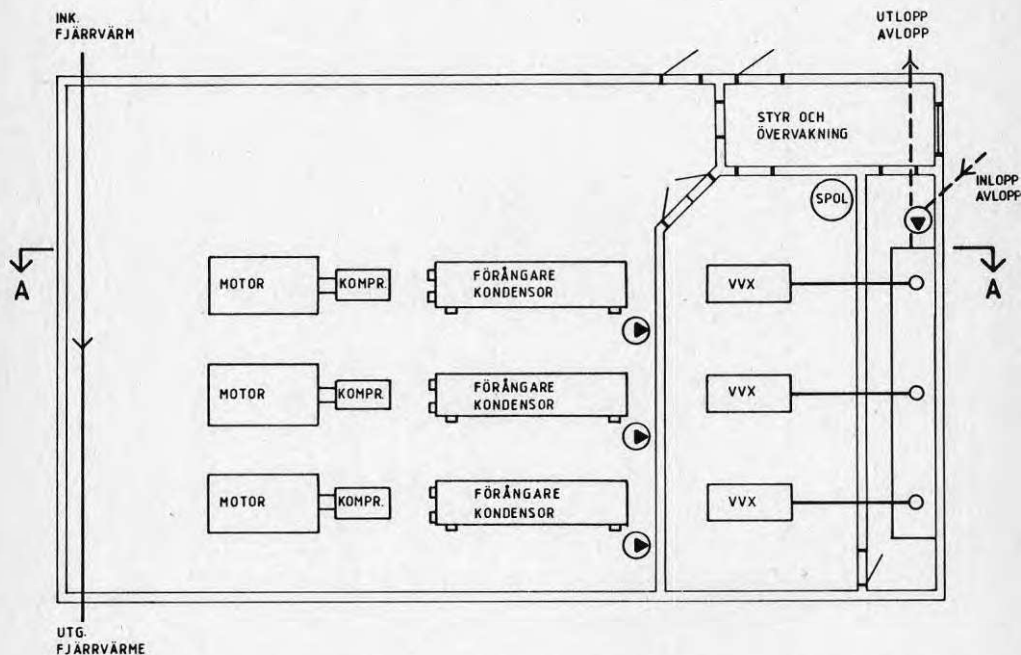
Vid kylning av avloppsvattnet till 1°C erhålles 6.200 MWh mer energi per år från reningsverket om elmotor användes i stället för oljedriven motor.

Utnyttjningsgraden försämras något ytterligare om gasmotor användes samtidigt som gas i dag är det dyraste bränslet.

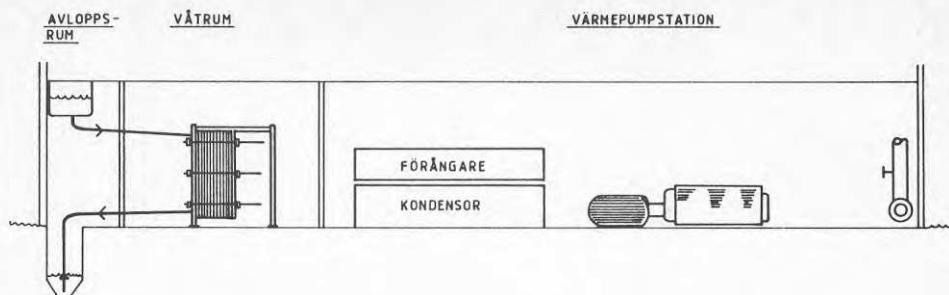
Ovanstående ger att elmotordriven värmepump är de lönsammaste alternativet i dagsläget.

9.5.2 Avloppsvärmeväxlaren

Genom att beakta de för och nackdelar som presenterades i kapitel 9.3 utföll det mest fördelaktiga alternativet: plattvärmeväxlare med rostfria plattor för kylning av avloppsvattnet till $+1^{\circ}\text{C}$ med brinesystem till en konventionell värmepump med helt vattenfylld rörvärmeväxlare. Medeltemperaturdifferensen i plattvärmeväxlaren understiger i det dimensionerande fallet 2°C .



Figur 9.8 Plan över komponenternas placering i apparatbyggnaden.



A - A

Figur 9.9 Sektion över komponenternas placering i apparatbyggnaden.

Det i reningsverket renade avloppsvattnet pumpas med en snäckpump upp 5 m ovanför vattengången på det utgående avloppsvattnet.

Vattnet får sedan genom "självfall" passera plattvärmväxlaren som är dimensionerad för ett tryckfall på 4,5 m.v.p. Brinesystemet som kyler avloppsvatten värms från $+0,9^{\circ}\text{C}$ till $+4,0^{\circ}\text{C}$.

Värmepumparna styrs sedan mot utomhuskompenserad framledningstemperatur på fjärrvärmvattnet men har även en temperaturbegränsare på utgående köldbärare.

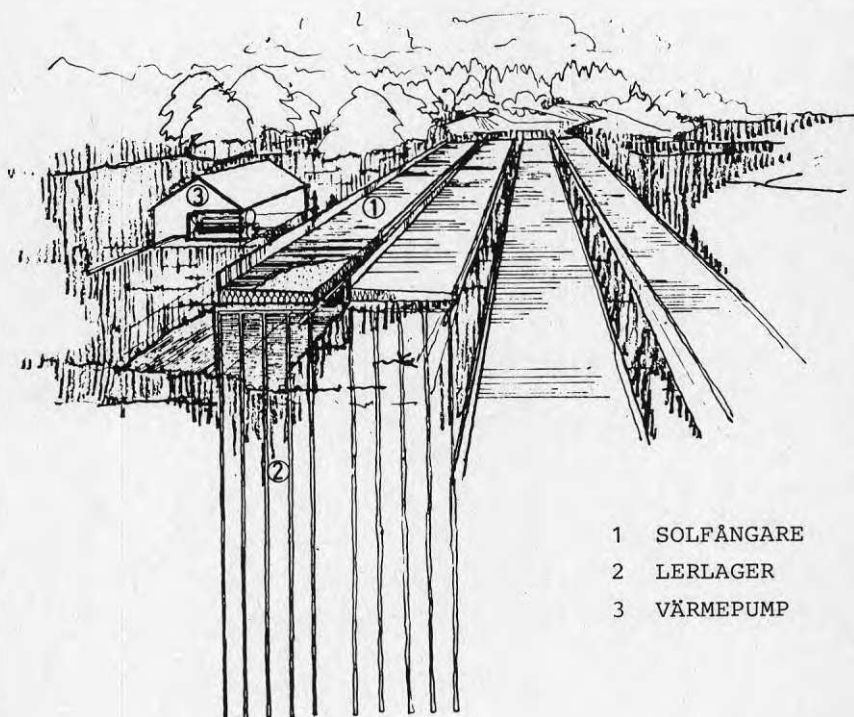
Plats för en eventuell framtida 3:e värmepump förbereds och är således inritad i figur 9.8

10 SUNCLAYANLÄGGNING

10.1 Utförande

Som framgår av nästa kapitel (11) finns förutsättningar i närheten av Hammargårds reningsverk för en storskalig anläggning av samma typ som SUNCLAYPROJEKTET (BFR R38:1980).

Hittillsvarande mätresultat tyder på en god överensstämmelse med beräknade förutsättningar, varför den fortsatta uppföljningen av detta projekt kan ligga som grund för beräkningar av denna storskaliga anläggning. Optimering och detaljkonstruktionen av ingående komponenter utföres ej i denna utredning, utan förenklade beräkningsförutsättningar används i nästa kapitel (10.2).



Figur 10.1 Sunclaycentralens utseende

Sunclayprojektet bygger på att solvärme genereras av solabsorbatorerna (1) under sommaren. Dessa består av matt - svart takplåt med infästade rör.

Solvärme lagras sedan i den befintliga marken (2), bestående av lera, vilken värms till 25°C.

För att kunna föra ner och lagra denna energi sticks U-formade rör 35 m ner i marken. Vintertid fungerar samma rör som värmeupptagare och sänker ackumulatorns temperatur till 10°C.

För att kunna använda energi från markackumulatören måste denna transformeras till fjärrvärmenätets temperatur. Detta görs med hjälp av värmepump (3).

Värmepumpen drivs med dieselmotor, i den storleksklass som förekommer - över 1 MW - används tjockolja (Eo 3) som bränsle.

Skillnaden vid konstruktionen av denna anläggning jämfört med den utförda vid Lindälvsskolan är att solabsorbatorerna måste placeras på marken i stället för på tak. För att kunna bibehålla den låga kostnaden kan samma typ av absorbatortak användas, placerad på regelverk som ligger direkt på markisoleringen. Under solabsorbatorerna finns samlingsledningarna inbäddade i sandfyllning. Lutningen på solabsorbatorerna blir med denna konstruktion endast några grader, eller eventuellt helt horisontell.

Mellan varje solabsorbator placeras en reflekterande mellanvägg som dels minskar de konvektiva förlusterna genom att sänka vindhastigheten över absorbatoren, dels via reflexion ökar solinfallet på absorbatoren.

För att minska kostnader och dimensioner på kopplings-systemet mellan sol och mark anordnas detta i små grupper med var sin cirkulationspump.

Alla kopplingar kan med detta utförande placeras i mellanrummet mellan solabsorbatorerna, vilket ger en god möjlighet till översyn, samtidigt som investeringskostnaden reduceras. Detta mellanrum förser även underliggande mark med regnvatten så att uttorkning av marken undviks.

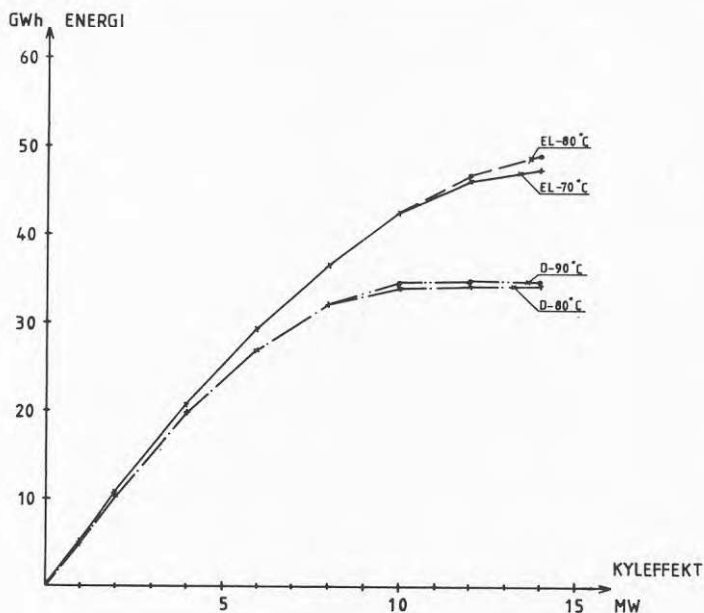
Solabsorbatorerna fungerar med detta utförande även som klimatsköld genom att hindra förluster från marklagret genom sin förhöjda temperatur vid solinstrålning.

10.2 Nyttiggjord energimängd som funktion av installerad effekt

För att kunna simulera Sunclayanläggningens energibidrag till fjärrvärmenätet ansättes ett rimligt värde på förångningstemperaturen ($+5^{\circ}\text{C}$). Detta värde får här ses som ett medelvärde under året.

Kondenseringstemperaturen - som är 5°C högre än utgående fjärrvärmevattnets temperatur - har en högsta möjliga temperatur, som beror på köldmediesort och värmepumpsutförande.

Den maxtemperatur som fjärrvärmevattnet kan erhålla har satts till 70°C och 80°C för elmotordriven värmepump (enstegs och flerstegsmaskin) samt 80°C och 90°C för dieselmotordriven värmepump på grund av den extra temperaturhöjning som åstadkommes av dieselmotorns kylvatten.



Figur 10.2 Utnyttjad årlig solenergi som funktion av installerad kyleffekt med olika drivmotorer till värmepumpen samt olika max utgående fjärrvärmemetemperatur från värmepumpsenheten.

Om el eller tjockolja skall användas beror på framtida tillgång och pris.

Genom att en mycket stor del av drivenergin åtgår under vinterhalvåret förutsätts i den fortsatta utredningen att dieselmotordriven värmepump med max utgående värmebärartemperatur på 80°C användes.

Anläggningen delas vidare upp i tre lika stora moduler, var och en med 2,2 MW kyleffekt.

Som framgår ur figur 10.2 erhålles 28.000 MWh solenergi per år. 21.000 MWh erhålles i form av värme ur tjock-

oljan från axeleffekt, mantelkylvatten och avgasvärme medan 4.000 MWh försvinner som förlust i strålning och avgaser.

Motsvarande värden erhålles om gas skulle finnas tillgänglig för att - via en gasmotor - driva värmepumpen.

1). ENERGIGEOLOGISK KARTA, V HAMMERÖ

11.1 Metodik

Föreliggande sammanställning och bedömning grundar sig på litteratur- och kartsammanställningar, sammanställning av utförda geotekniska undersökningar, flygbildstolkning samt sprickartering på hållytor i fält och maskinell trycksondering. Sammanställda data redovisas på två grundkartor, vilka utgör utvärderingsunderlag för den energigeologiska kartan.

11.2 Områdesbeskrivning och topografi

Hammeröområdet ligger ca 1-2 km söder om Kungsbacka centrum. Västra delen av Hammeröområdet utgörs främst av åkermark och ett antal bergplintar. Åkermarken återfinns i söder och väster i Kungsbackaåns respektive Rolfsåns dalgångar, endast några meter ovan nuvarande havsytta. Bergplintarna är 25-50 m höga och återfinns i nordöstra delen av området samt i ett smalare stråk söderut inom området.

11.3 Jordartskarta med jorddjup

11.3.1 Underlag

Flygbilder, 800 m flyghöjd

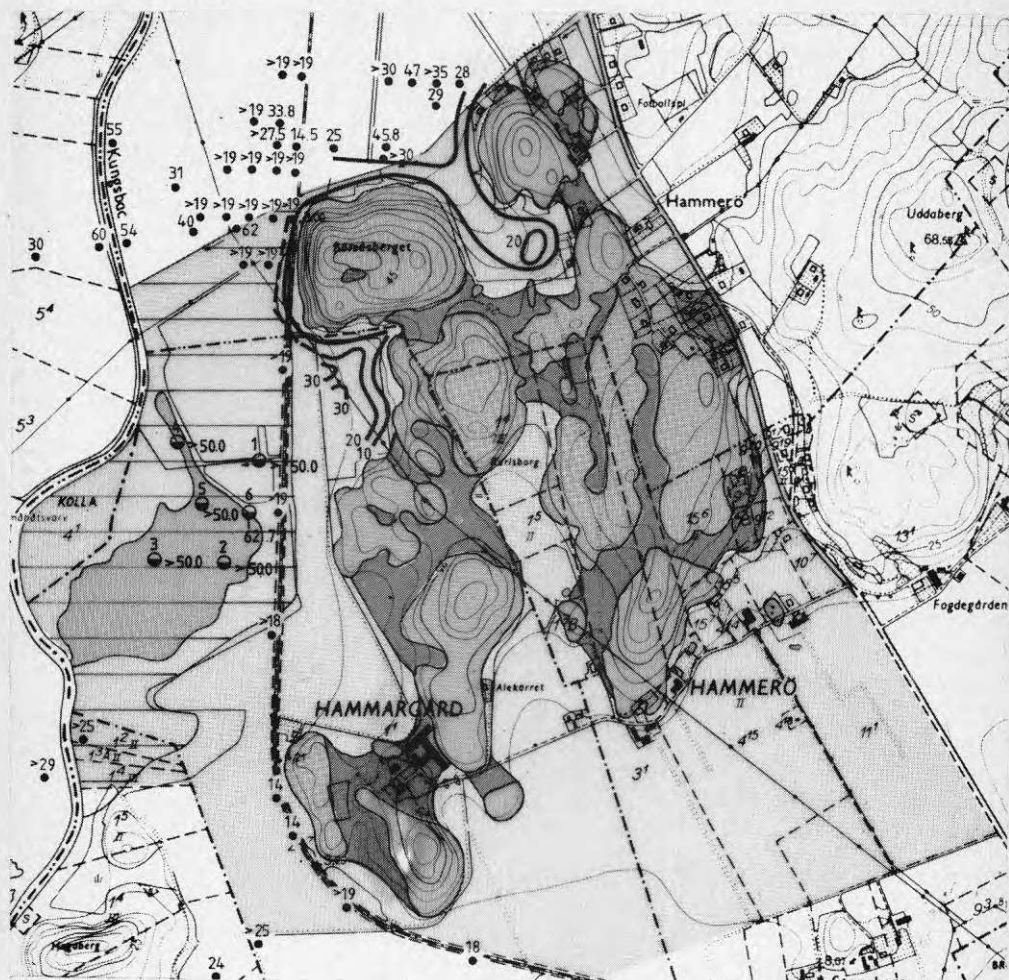
Jordartskarta SGU. Ser. Ae nr 34

Geotekniska undersökningar:

Göteborgs Förorter	V Hammerö - Områdesplan 18412 334 230
Kjessler & Mannerstråle AB	Intagsleden 340 543
Statens Järnvägar	Göteborg-Fjärås
VIAK AB	Uppdrag under tiden 1962-1974 - Kungsbacka avloppsreningsverk 16 3106-1 16 5111 16 5123 64 5147 Borrningar 5412.1226
Statens Vägverk	Fjärås - Kollahed

11.3.2 Geologisk och geoteknisk beskrivning

Området domineras av lera. Yngre lera som ofta innehåller organiskt material i form av gyttja överlagrar äldre lera på större djup. I anslutning till Kungsbackaån förekommer ytliga svämsediment med varierande sammansättning. Mellan bergplintarna förekommer morän och svallavlagringar. Mäktigheten på dessa bedöms vara ringa.



BETECKNINGAR:

- | | |
|---|--|
|  | BERG I DAGEN |
|  | FRIKTIONSJORDAR |
|  | KOHESIONSJORDAR; POSTGLACIAL -
GLACIAL LERA |
|  | SVÄMSEDIMENT; LERA - FINMO |
|  | SVÄMSEDIMENT; GROVMO - SAND |
|  | JORDDJUP FÖR DJUPKURVA |
|  | KOHESIONSJORDAR PUNKTINFORMATION |
|  | TRYCKSONDERING |
|  | VIAK AB 1981-03-31 |

SKALA
300 200 100 0 500 M

Figur 11.1 Jordartskarta med jorddjup

Sonderingar har tidigare utförts inom områdets norra och nordvästra delar samt vid det befintliga reningsverket. Dessutom har sonderingar utförts i direkt anslutning till motorvägen och järnvägen. De sistnämnda sonderingarna har som regel avbrutits vid jorddjup mellan ca 20 och 30 meter.

Jorddjupen inom lerområdena är stora. Sammanställningen av de geotekniska undersökningarna visar att lerdjupet som regel uppgår till mer än 20 m redan ca 50 m ut från bergområdena i Kungsbackaåns dalgång. Jorddjup på 62 m har uppmätts ca 150 m väster om Börsåsberget.

Inom ramen för denna undersökning har maskinell trycksondering genomförts i 6 punkter. Sonderingarna utfördes för att översiktligt klarlägga djupförhållandena inom området sydväst om Kungsbacka reningsverk. I punkt 1-5 uppmättes lerans mäktighet till mer än 50 m. I punkt 6 sonderades till fast botten. Lerans mäktighet uppmättes i denna punkt till 62.7 meter. Leran underlagras av friktionsmaterial.

Utgående från tidigare utförda geotekniska undersökningar (Intagsleden och Kungsbacka avloppsreningsverk) och genomförda borrhningar kan följande översiktliga geotekniska beskrivning ges för området väster om avloppsreningsverket.

Jordlagren utgöres överst av ett ca 1 m tjockt lager av torrskorpelera, varunder följer mycket lös lerig gyttja som mellan 4 och 6 m under markytan övergår i en gyttjig lera. Härunder följer sedan lera till mycket stora djup > 60 m.

I leran förekommer inlagring av sand, silt eller skalrester i mer eller mindre sammanhängande skikt. Skjuvhållfastheten är under torrskorpan mycket låg och ligger oreducerad på ca 10 kPa ned till 5-8 m djup. Härunder sker en successiv tillväxt mot djupet så att leran på ca 20 m djup har en skjuvhållfasthet på ca 40 kPa.

Vattenhalten och konflytgränsen är ned till 5-8 m djup hög med värden varierande mellan 110 och 200 %. Sensitiviteten är normal.

Mätningar av grundvatten- och portryck har inte utförts men tryckförhållanden bedöms vara något artesiska. Utgående från ett sådant antagande samt från några utförda kompressionsprov i ödometer synes jorden vara normalkonsoliderad.

På grund av den ringa mäktigheten hos det fasta torrskorpelagret samt den underlagrande mycket lösa gyttjan är markens bärighet låg. Med en 1,5-faldig säkerhet mot brott kan marken belastas med max 25-30 kPa.

Detta innebär att tyngre entreprenadmaskiner, som på larver utövar ett marktryck motsvarande ca 70-100 kPa,

kräver pålmattor vid arbete inom detta område. Vid användande av konventionella pålmattor reduceras marktrycket för en 35-tons maskin till ca 10-20 kPa.

11.4 Tektonisk karta

11.4.1 Underlag

Flygbilder, 800 m

Berggrundskarta SGU Ser. Af nr 124, 1978

Hällkartering i fält

11.4.2 Tektonisk beskrivning

Hammeröområdet ligger inom ett mycket starkt tektoniserat område delvis med myloniter. Dessa stråk av mer eller mindre omvandlat bergmaterial går dels längs dalgången i väster upp mot Kungsbacka, dels längs nordostliga dalar, vilka påträffas både norr och söder om Hammeröplinten. Omvandlingsstråken är breddmässigt 500 m, vilket innebär stark påverkan även på innanför liggande plintar.

Genom att förskiffringen inom området vindlar kommer spricksystemen i motsvarande grad att vridas något när man studerar spricksystemen i detalj. De vid flygbildstolkningen erhållna lineamenten sammanfaller ej helt i riktning med krosszonerna men kan verifieras i gjorda fältmätningar. Det förefaller som om Hammeröområdet varit utsatt för ett flertal tektoniska faser med olika ansättningsriktningar för de påverkade krafterna.

Huvuddelen av området vid Hammerö utgöres av en förskiffrad, medelkornig granodiorit - tonalit, som i vissa områden visar en svag åderomvandling. Inom detta bergartsled uppträder ett antal amfiboliter i storleksordningen några kubikmeter till större kroppar på tiotusentals kubikmeter i huvudstrykningsriktningen. Dessa kroppar är rester av äldre utdragna diabasgångar, som kan påträffas i stort var som helst i berggrunden. Detta medför att stora krav ställes på prospekteringen av underjordsbyggnationer inom området för undvikande av gränzoner mellan amfibolit och tonalit. Dessa är ofta starkt tektoniskt omvandlade och innehåller ofta lera.

I västra delen av Börsaberget uppträder en grå-rödgrå finkornig till medelkornig, glimmerrik plagioklas - kvartsgnejs av sedimentärt ursprung - gråvacka. Gnejsen för olikstora amfibolitkroppar.

Trots sin närhet till större krosszoner, delvis läkta, får det anses att området lämpar sig för vidare undersökningar och geohydrologiska studier för fastläggande av plintarnas täthet.



BETECKNINGAR:



BERG I DAGEN



KROSSZON

SET AV SPRICKZONER - LINEAMENT MED
OLIKA RIKTNINGARFÖRSKIFFRINGSRIKTNING MED GRADTAL
FÖR STUPNINGSPRICKFREKVENNS PER 25 M²EN SPRICKA = 2 MM
STUPNING ANGIVEN MED SIFFERVÄRDE
RIKTNING ANGIVEN MED PIL

SKALA

300 200 100 0 500 M

Figur 11.2 Tektonisk karta

11.5 Energigeologisk karta

Den energigeologiska kartan redovisar bedömningar över områden lämpliga för värmelager. Bedömningen grundar sig på analys och utvärdering av geologiska data från grundkartorna, jordartskartan med jorddjup och den tektoniska kartan.

11.5.1 Beskrivning

Inom det studerade området finns två möjligheter att lagra värme, dels i jordlagren, dels i berggrunden.

De markerade områdena för värmelager i berggrunden utgörs av berggrundspartier som bedömts vara relativt täta. Plintarna avgränsas av brantstående sprickzoner, som bedömts vara mer vattengenomsläppliga.

De ekonomiska förutsättningarna för värmelagring i jordlagren styrs till stor del av jorddjupet. Bäst förutsättningar för anläggande av djupa markackumulatorer finns inom områdets norra och västra del. På kartbilder har gränslinjen för 20 meters jorddjup lagts in. En streckad linje markerar osäker gränslinje. Områden med jorddjup som bedömts vara mer än 30 meter har rastrerats. Stora jorddjup förekommer också med stor sannolikhet i områdets södra del, men här saknas sonderingar varför några gränslinjer ej har angetts. Dessa områden redovisas som områden med små (> 20 m) eller okända lerdjup och kan vara lämpliga för både vertikala jordvärmeackumulatorer och ytjordvärmesystem.

Skärningspunkter mellan spricksystem som bedömts vara vattengenomsläppliga har markerats. Inom dessa områden finns vissa förutsättningar för värmeuttag med värmepump via bergborrade brunnar för enskilda fastigheter.

11.5.2 Beräknade parametrar

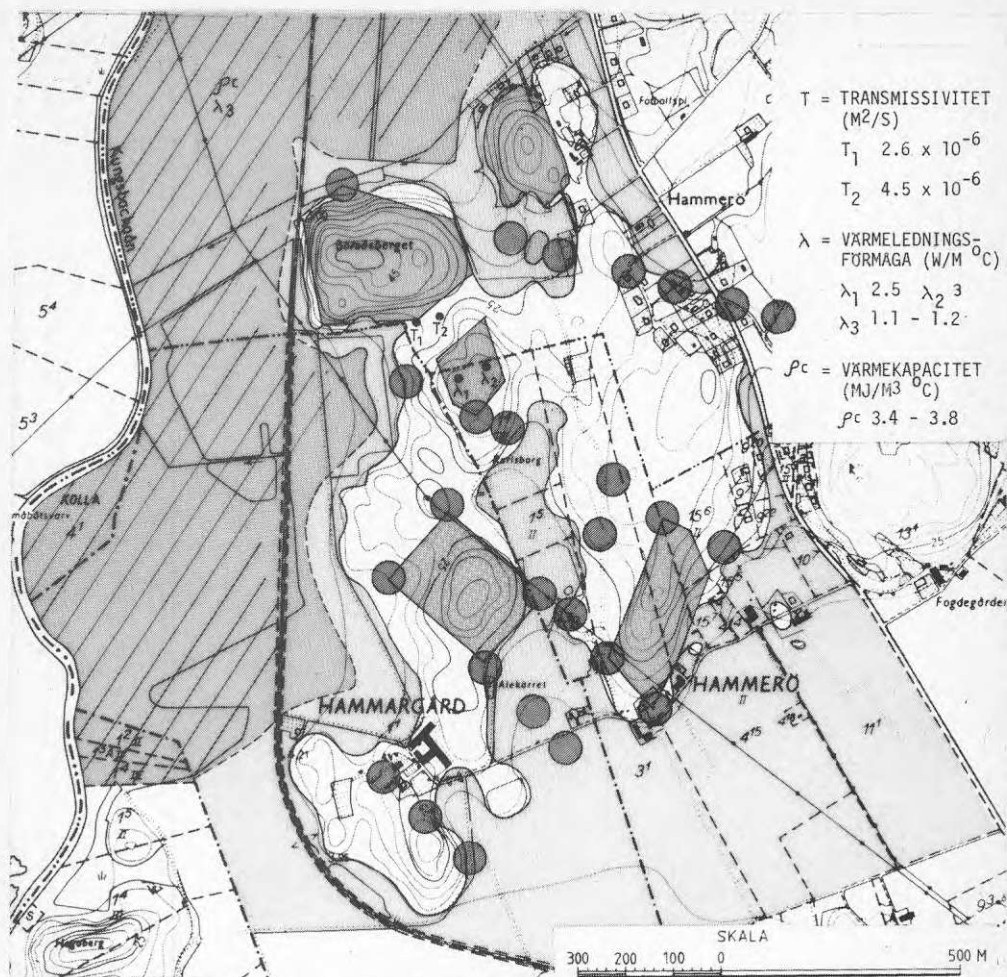
Transmissivitet (m^2/s) (vattengenomsläpplighet)

Två provpumpningar har tidigare utförts av VIAK för CFS i en av de brantstående sprickzonerna inom området. Provpumpningarna visade att transmissiviteten uppgick till 2,6 resp $4,5 \cdot 10^{-6} m^2/s$ i två borrhål söder om Börsåsberget.






Värmeledningsförmåga ($W/m^{\circ}C$)

Värmeledningsförmågan för berggrunder har beräknats till 2,5 resp $3 W/m^{\circ}C$. Beräkningen har utförts med hjälp av bergets mineralsammansättning, som bestämts från tunnslip. (SGU, Lennart Samuelsson).

Lerans värmeledningsförmåga har beräknats till 1,1 - 1,2 $W/m^{\circ}C$ med antagandet att lerans kvartshalt är 0,2 samt att porositeten är 0,6 - 0,8. I de yt-



BETECKNINGAR:

-  OMRÅDEN LÄMPLIGA FÖR VÄRMELAGER I BERGGRUNDEN
-  OMRÅDEN MED KOHESIONSJORDARTER (> 20 M), LÄMPLIGA FÖR VÄRMELAGER
-  OMRÅDEN MED KOHESIONSJORDARTER DÄR JORDDJUPET BEDÖMS VARA MER ÄN 30 M, MYCKET LÄMPLIGA FÖR VÄRMELAGER
-  OMRÅDEN MED SMA ELLER OKÄNDA JORDDJUP, LÄMPLIGA FÖR ENSKILDA YTJORD VÄRME SYSTEM
-  OMRÅDE MED VISSA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ENERGIBRUNNAR FÖR ENSKILDA FASTIGHETER

BEGRÄNSANDE FAKTORER

JORDLAGREN	BERGGRUNDEN
JORDDJUP JORDARTSFÖRHÅLLANDEN MARKFYSIKALISKA FÖRHÅLLANDEN BEFINTLIG MARKANVÄNDNING STADSPANEFÖRHÅLLANDEN	HYDRAULISKA EGENSKAPER BERGTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN BEFINTLIG MARKANVÄNDNING STADSPANEFÖRHÅLLANDEN

Figur 11.3 Energigeologisk karta, förutsättningar för värmelagring

ligare jordlagren med organiskt material är värmeledningsförmågan sannolikt lägre.

Värmekapacitet ($\text{MJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Lerans värmekapacitet har beräknats till 3,4 - 3,8 $\text{MJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ med antagandet att lerans porositet varierar mellan 0,6 och 0,8. Densiteten har i genomsnitt uppmätts till ca 1 600 kg/m^3 .

11.6 Värmelager, exempel

11.6.1 Vertikal markackumulator

En vertikal markackumulator på ca 2,5 milj m^3 ger möjlighet att lagra ett värmebehov motsvarande ca 50 Gwh.

Ett område lämpligt för anläggande av en markackumulator av denna storlek finns väster om reningsverket. Utförda trycksonderingar inom området visar att jorddjupet i de sonderade punkterna är mer än 50 m. Några alternativa ackumulatorlagen redovisas i figur 11.4.

Med utgångspunkt från genomförda jorddjupssonderingar, befintlig markanvändning och planförhållanden har ett preliminärt läge för ett värmelager i leran och solfångare utvalts. Området redovisas på en översiktskarta i figur 11.5 och i större skala i figur 11.6. Ytbehovet är ca 250 x 350 m. Anläggningen kan byggas ut som moduler, etappvis.

11.6.2 Värmelager i berggrunden

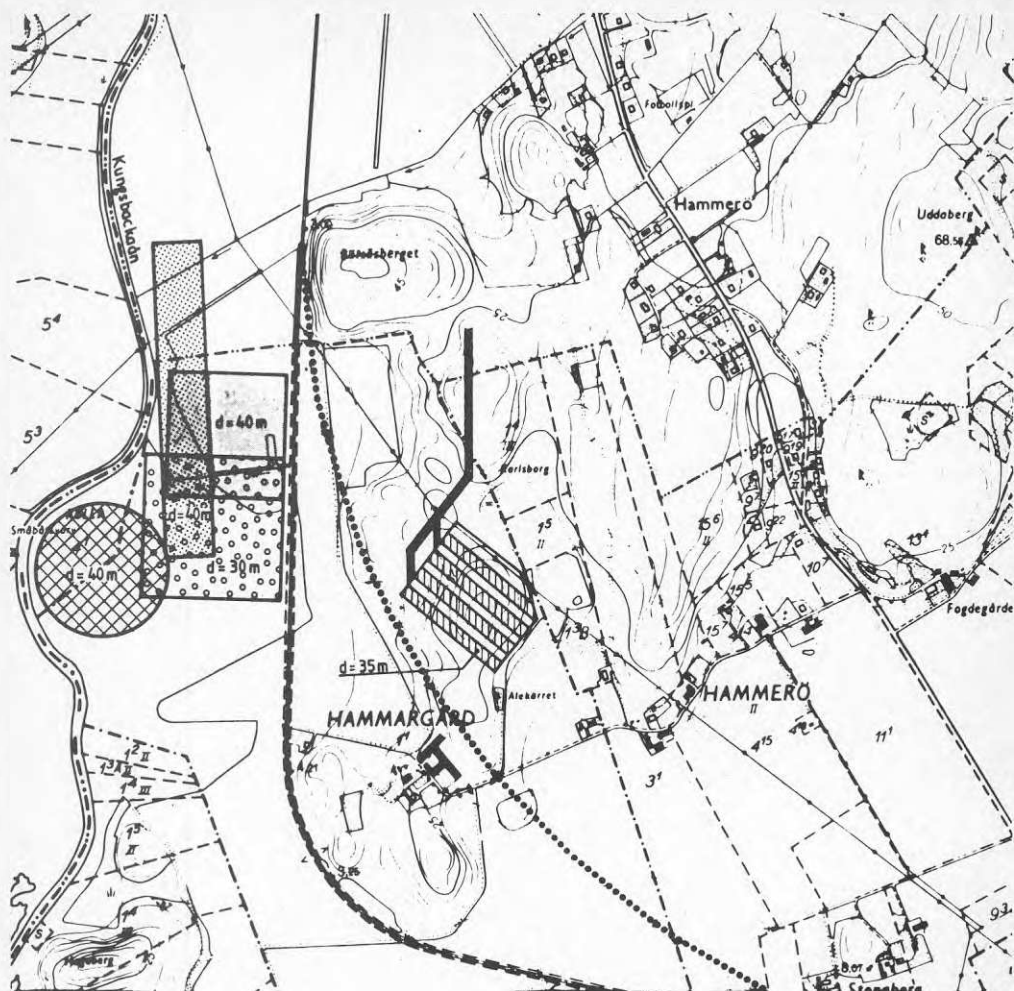
För att klara värmebehovet 50 GWh krävs en lagringsvolym motsvarande ca 1 milj m^3 vatten om $\Delta t = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$. Ett värmelager av denna storleksordning kan placeras i någon av de större bergplintarna inom området. I figur 11.4 illustreras ett värmelager med volymen ca 1 milj m^3 i en av bergplintarna. Värmelagret består i detta exempel av fyra berggrundsskepp med dimensionerna 285 x 25 x 35 meter. En transporttunnel har i detta fall skisserats mot norr.

11.7 Undersökningar för anläggande av värmelager

11.7.1 Markackumulator

Om en markackumulator anläggs i lerområdet måste hänsyn tagas till befintliga installationer och markanvändning t ex ledningar till och från avloppsreningsverket, vägar, järnvägen, Kungsbackaan m m.

Geotekniska undersökningar krävs för att mer i detalj klarlägga jorddjup, stabilitetsförhållanden, sättningsrisker och bärighet. Dessutom krävs provtagning och jordartsanalyser för bestämning av termiska parametrar, främst värmekapacitet och värmeledningsförmåga. Undersökningarna omfattar bestämning av de parametrar som normalt ingår vid en projektering. En smärre



BETECKNINGAR:



VÄRMELAGER, VERTIKAL MARK-
CUMULATOR I LERA (50 GWh)



VÄRMELAGER, UTSPRÄNGDA BERG-
RUM (50 GWh)



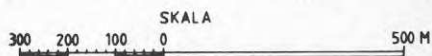
TRANSPORTTUNNEL

d =

VÄRMELAGRETS DJUP



FÖRESLAGEN JÄRNVÄG



Figur 11.4 Exempel på värmelager

komplettering måste dock göras när det gäller bestämning av vissa markfysikaliska parametrar, som har betydelse för dimensionering av markackumulatorn. Vid nedpressningen av rör för ett värmelager kommer en jordmassa motsvarande rörets volym att pressas åt sidan. Vid en nedpressning av ett större antal rör kommer detta att leda till en hävning av marken, vilket också måste beaktas.

11.7.2 Värmelager i berggrunden

För att bestämma ett definitivt läge för ett värmelager i berggrunden krävs att de hydrogeologiska förhållandena i bergplintarna klarläggs. Detta kan göras genom borrhningar och provpumpningar utifrån den tektoniska kartan. Provpumpningarna används som ett geofysiskt instrument för att klarlägga sprickornas vattengenomsläpplighet och riktning. Metoden ger möjlighet att prognostisera bergplintarnas täthet och storleken på vatteninläckaget vid anläggande av ett bergrum.

11.8 Förutsättningar för lokalisering

11.8.1 Markanvändning

Befintlig markanvändning styr värmelagrets läge. I öster begränsas ett lämpligt läge av järnvägen och Kungsbacka reningsverk. I norr finns ledningar till och från reningsverket tillsammans med slamlaguner. I väster utgör Kungsbackaån en naturlig begränsning. Området mellan Kungsbackaån och järnvägen utnyttjas för närvarande som jordbruksmark. Endast mindre delar av marken kan brukas. Ett område ligger närmast slamlagunerna i norr och ett område ligger i söder utanför ett eventuellt läge för ett värmelager. Övrig mark utgörs av tuvig ängsmark, som tidvis är översvämmad.

11.8.2 Planförhållanden

Enligt områdesplanen för V Hammerö daterad 1980-10-15, koncept 2, reserveras mark för omläggning av järnvägen till ett mer östligt läge. Detta är gynnsamt vid ett eventuellt anläggande av ett värmelager i leran.

I norr begränsas möjligheterna av en planerad trafikled, inlägsleden, samt befintliga anordningar för reningsverket. Bergområdena öster om järnvägen föreslås till områden för rekreation och fritidsändamål. Planförhållandena väster om järnvägen vid reningsverket och Hammargård var ej kända vid denna utrednings utarbetande.

11.8.3 Markägoförhållanden

Den norra delen av området mellan Kungsbackaån och järnvägen ägs av Kungsbacka kommun. Området söder om reningsverket tillhör Hammargård säteri.

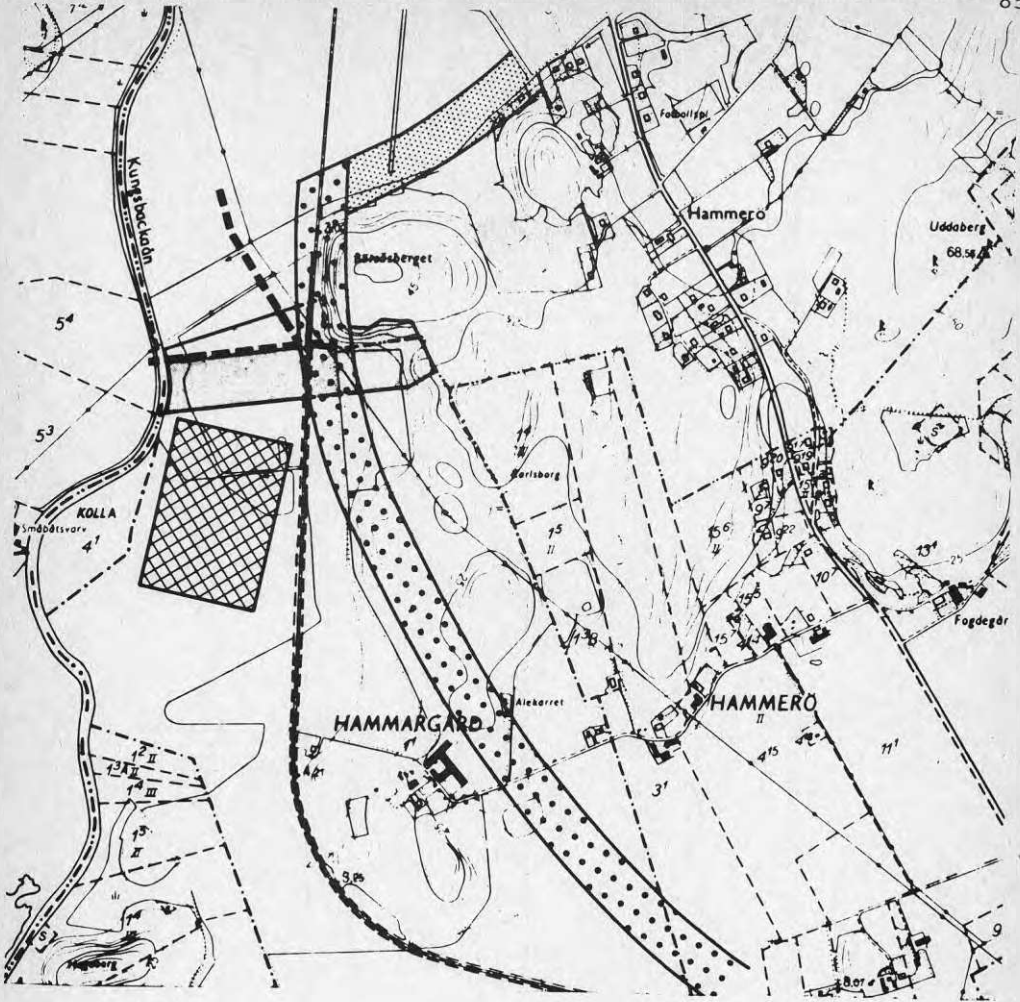
11.8.4 Värmelager, förslag till lokalisering

Med hänsyn tagen till jorddjupsförhållanden, markanvändning och planförhållanden kan ett värmelager i lera lokaliseras till området sydväst om reningsverket. Området har markerats på figur 11.5 och 11.6. Området utnyttjas för närvarande delvis som jordbruksmark. Några konflikter med jordbruksintressen torde ej uppstå eftersom marken är av låg kvalitet ur bruknings synpunkt.

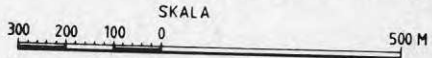
Ett värmelager i berggrunden kan lokaliseras till någon av de markerade berggrundsplintarna. Underjordsarbeten i berggrunden kan dock påverka omkringliggande bebyggelse och installationer, speciellt inom närliggande lerområden. Detta ställer krav på förundersökningar och ibland speciella åtgärder under byggandet. Eftersom arbeten i berggrunden under markytan normalt inte regleras i stadsplan krävs samordning med flera myndigheter för att klarlägga olika intressen och planer.








Figur 11.5 Föreslaget läge för värmelager och solfångare, översikt



BETECKNINGAR:



-  MARKBEHOV OCH LÄGE FÖR VÄRMELAGER OCH SOLFANGARE
-  FÖRESLAGEN JÄRNVÄG
-  TRAFIKLED, INLAGSLEDEN
-  RENINGSVERK
-  LEDNINGAR - RENINGSVERK

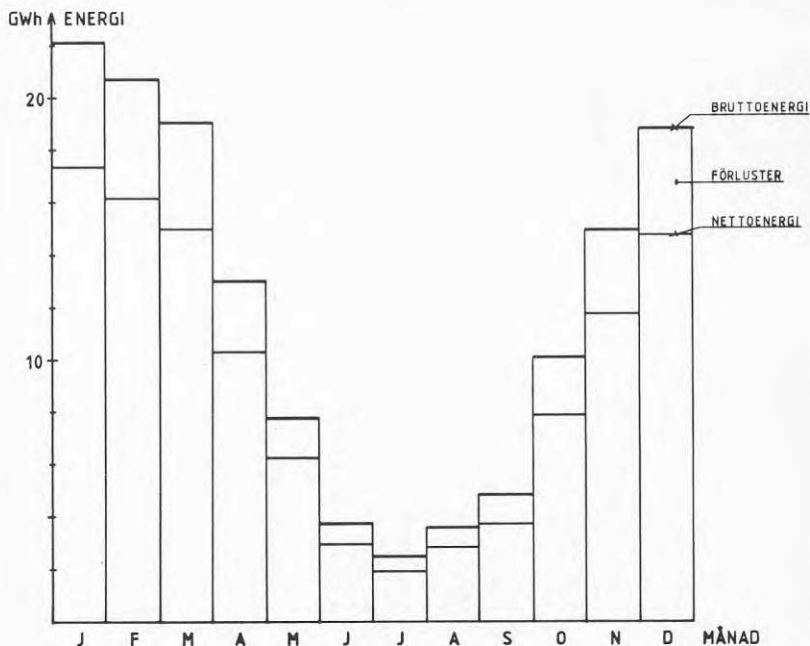
Figur 11.6 Planförhållanden, markanvändning och föreslaget läge för värmelager

12 ENERGISITUATIONEN UNDER UTBYGGNADSKEDE

För att åskådliggöra hur utbyggnaden av produktionsapparat och fjärrvärmenät kan byggas ut delas byggnationen in i olika etapper. För varje etapp redovisas månatliga energisituationen (bruttoenergi).

Nuvarande energisituationEnergiåtgång

Lättolja	129000 MWh
Tjockolja	8000 MWh



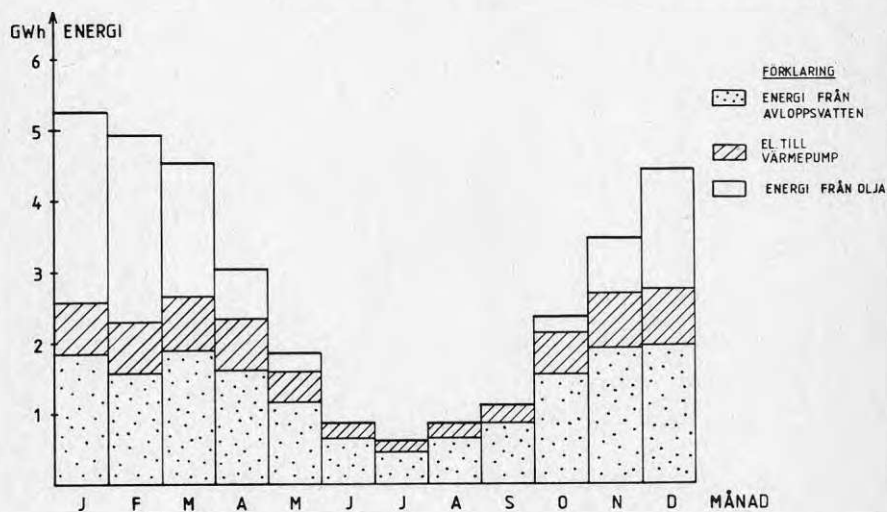
Figur 12.1 Nuvarande energisituation

Etapp 1Totalt utbyggt

Fjärrvärme	13 MW
Panncentral	15 MW
Reningsverk	2,75 MW (kyleffekt)

Energiätgång

Tjockolja	10800 MWh
El	6350 MWh
Spillvärme	16050 MWh



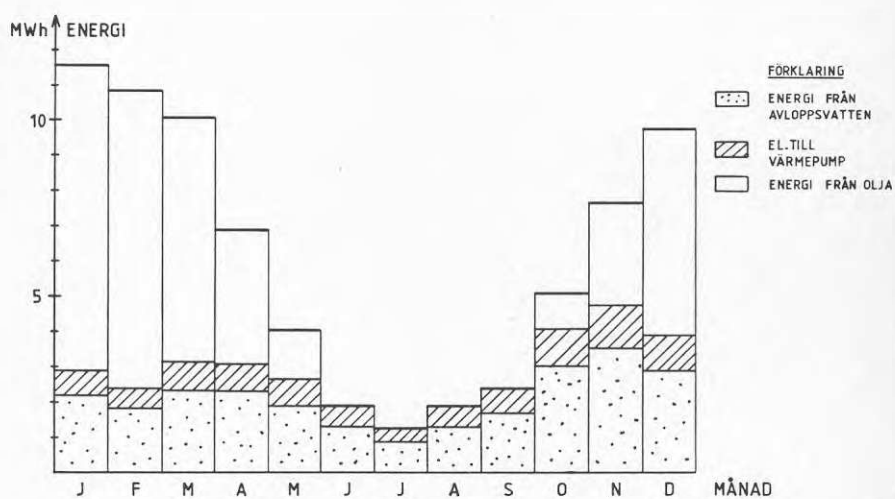
Figur 12.2 Energisituationen för etapp 1

Etapp 1 + 2Totalt utbyggt

Fjärrvärme	28 MW
Panncentral	30 MW
Reningsverk	5,5 MW (kyleffekt)

Energiåtgång

Tjockolja	39050 MWh
El	8900 MWh
Spillvärme	33500 MWh



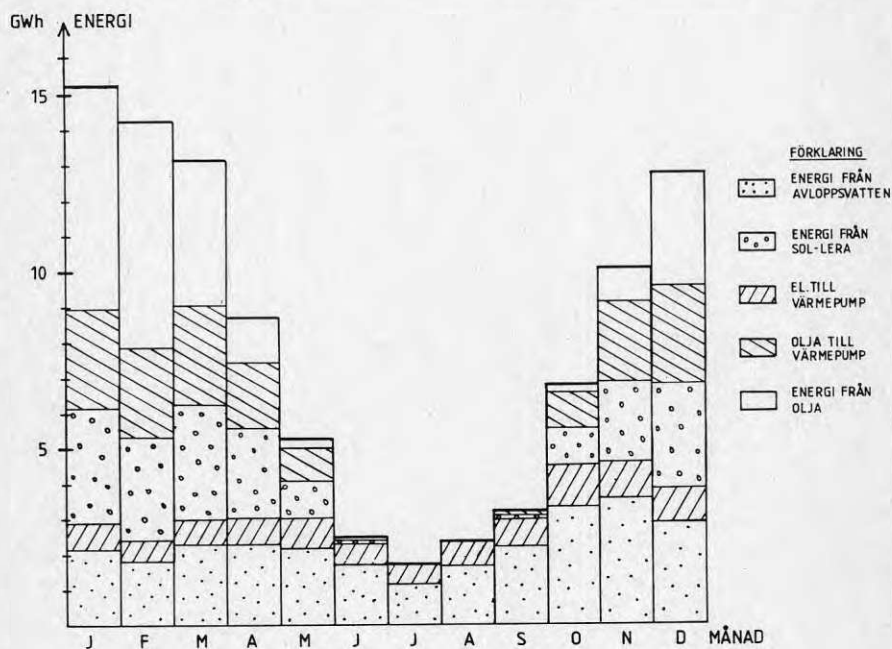
Figur 12.3 Energisituationen för etapp 1 + 2

Etapp 1 + 2 + 3Totalt utbyggt

Fjärrvärme	37 MW
Panncentral	30 MW
Reningsverk	5,5 MW (kyleffekt)
Sunclaycentral	4,4 MW (kyleffekt)

Energiåtgång

Tjockolja	40000 MWh
El	9250 MWh
Spillvärme	27400 MWh
Solvärme	19500 MWh



Figur 12.4 Energisituationen för etapp 1 + 2 + 3

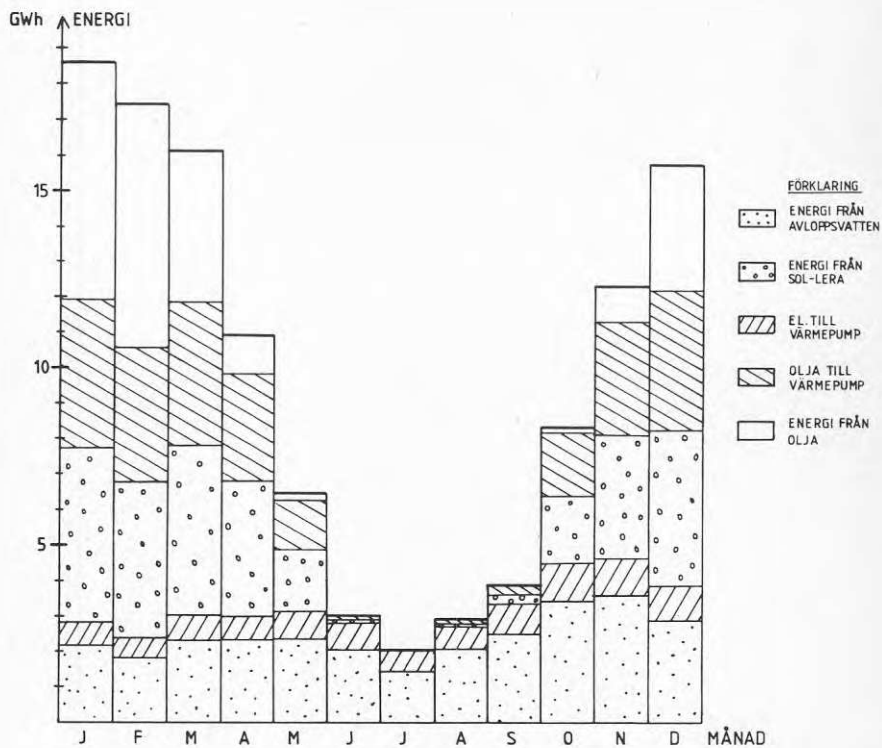
Etapp 1 + 2 + 3 + 4

Totalt utbyggt

Fjärrvärme	44 MW
Panncentral	30 MW
Reningsverk	5,5 MW (kyleffekt)
Sunclaycentral	6,6 MW (kyleffekt)

Energiåtgång

Tjockolja	49700 MWh
El	9500 MWh
Spillvärme	29000 MWh
Solvärme	29700 MWh



Figur 12.5 Slutlig energisituation för etapp 1+2+3+4

13 INVESTERINGSKOSTNADER

Investeringskostnaderna beräknas i prisläge 1981-01-01.

13.1 Fjärrvärmenätet

Vid kostnadsberäkning av fjärrvärmenätet har huvudledningen indelats i delsträckor. Delsträckorna avgränsas av avsticken till undercentralerna. För varje delsträcka har kostnaden för schakt, återfyllning och återställning beräknats. Kostnaden för kulvert, armatur samt arbetet med läggning har uppdelats på delsträckorna.

Servisledningarna har beräknats på samma sätt som huvudledningen. I centrum där inventeringen inte är fullständigt utförd har kostnaden samt längden för servisledningarna schablonberäknats.

Kostnaden för servisledningar i den centrala staden har satts till 2.500;- kronor per meter. I detta medelpris ingår dubbelledning samt schakt och återställning till fullt färdig kulvert.

Delkostnaderna inom varje etapp har summerats till kostnad som redovisas nedan

	Effektbehov (MW)	Kostnad (kkr)
Etapp 1	13	8800
1 + 2	28	20300
1 + 2 + 3	37	28900
1 + 2 + 3 + 4	44	36400

13.2 Panncentralen

Det alternativ till värmeproduktion som presenterats i denna utredning har tjockolja som bränsleslag. För att inte låsa investeringar gjorda i första etappen till alternativ med stationär värmeproduktionsenhet baserad på tjockolja kan en lägre investering i en mobil produktionsenhet ge större ekonomisk möjlighet för övergång till annat bränsleslag i framtiden.

Den mobila produktionsenheten består av pannor, automatik, skorsten etc för direkt anslutning till fjärrvärmenätet. Vid en fortsatt utbyggnad av fjärrvärmenätet kan enheten flyttas till ringnätet för att utgöra effektreserv och samtidigt minska risken för ett totalt värmeproduktionsbortfall. De investeringar som krävs för tryckhållning, cirkulation m m ingår i kostnaden för panncentral.

Delkostnaderna för varje etapp redovisas nedan

	Installerad effekt (MW)	Kostnad (kr)
Etapp 1	15	7000
2	15	6000

13.3 Reningsverkscentralen

Reningsverkscentralen byggs ut i två etapper. I den första etappen byggs byggnaden med plats för tre värmepumpar, varav den ena platsen är reservplats.

I den andra etappen installeras ytterligare en värmepump samt ett mer avancerat styrsystem.

Kostnaderna fördelar sig på etapper enligt nedan

	Installerad kyleffekt (MW)	Kostnad (kr)
Etapp 1	2,75	5000
2	2,75	4000

13.4 Sunclaycentralen

Den exakta kostnaden för uppförandet av en solcentral i denna storleksklass måste beräknas noggrannare i samband med förprojekteringen än vad som kan utföras här.

För att komma så nära som möjligt användes de kostnader som erhöles vid uppförandet av centralen vid Lindälvs-skolan. Dessa skalas sedan upp till den erforderliga storleken.

Lindälvs-skolans central har 800 kW värmeeffekt samt skall producera 1650 MWh per år och kostade 1,3 miljoner kronor exklusive reservpannan d v s cirka 1,5 miljoner kronor i dagsläget.

Jämföres dessa siffror med en modul till fjärrvärmenätet som har en installerad värmeeffekt på 4.400 kW och skall producera 16.000 MWh värme så finner man att effekten är 5,5 gånger så stor medan energimängden är 9,7 gånger så stor.

Kostnaden för värmepump och ackumulator är i huvudsak effektberoende medan solabsorbatorernas kostnad är energiberoende d v s om man beaktar att;

- solabsorbatorerna är billigare
- monteringen av solabsorbatorerna dyrare
- större värmepump är billigare
- tjockoljedieselmotor är dyrare
- inkoppling sol-mark är billigare
- markarbetena är dyrare
- större skala är billigare.

bör totalkostnaden vara 7 gånger högre än Lindälvs-skolan för en modul d v s $1,5 \times 7 = 10,5$ miljoner kronor per modul.

14 ENERGIKOSTNADER

Vid beräkning av energikostnaden har följande priser använts (1981-01-01).

Eldningsolja 1 (Eo1)	1500 kr/m ³
Värmevärde	10,0 MWh/m ³
Eldningsolja 3 (Eo3LS)	1300 kr/m ³
Eldningsolja 4 (Eo4LS)	1300 kr/m ³
Värmevärde	10,6 MWh/m ³
El	200 kr/MWh

Verkningsgrader för pannorna:

Bef små pannor	80% resp 75%
Panncentral	90%

Dessa värden ger energikostnaden:

Eo1	(= 0,75)	200 kr/MWh
Eo1	(= 0,8)	187,5 kr/MWh
Eo4 LS	(= 0,9)	136,5 kr/MWh

15 UNDERHÅLLSKOSTNADER

Vid utbyggnad av fjärrvärme inbesparas det årliga underhållet i de befintliga pannorna och ersättes med underhåll i undercentraler, fjärrvärmenät och den centrala produktionsenheten.

Att bygga ut ett fjärrvärmenät med panncentral som produktionsenhet torde minska den sammanlagda nuvarande underhållskostnaden.

För värmepumpcentral och Sunclaycentral kommer underhållskostnaden att vara cirka 3% av investeringskostnaden per år.

I den slutliga kalkylen anges en merunderhållskostnad där ökat underhåll enbart förutsättes drabba centralen vid reningsverk samt Sunclay.

Efter 10 års drift behöver vissa rörliga komponenter bytas ut varför underhållskostnaden bedömes öka till 4% efter denna driftstid.

16 LÖNSAMHET

För att kunna beräkna de årliga kostnaderna för kapital, underhåll samt energi antages följande:

Årlig inflation:	11%	
Årlig energiprisstegring:	11%	
Ränta:	15%	
Avskrivningstid fjärrvärme:	25 år	
Avskrivningstid produktionsenheter:	15 år	

Vidare antages en utbyggnadstakt där tidpunkten 1981-01-01 sättes som år 0 och att första etappen kan utbyggas år 1.

Under ovanstående förutsättningar kan utbyggnad och kostnader uppställas i följande tabell:

SAMMANSTÄLLNING

År	INGEN UTBYGGNAD		FJÄRRVÄRME/UTBYGGNAD		Årlig kapitalkostn miljoner kr	Underhåll milj kr	Summa kostn milj kr	Diff	Dagens penningvärde
	Årlig energikostnad miljoner kronor	Investering miljoner kr	Årlig energikostn miljoner kr	Årlig energikostn miljoner kr					
0	20,3	20,8	20,3	4,2	-	24,5	- 4,2	- 4,2	
1	22,5		18,9	4,0	0,4	23,3	- 0,8	- 0,7	
2	25,0	26,5	20,9	9,1	0,8	30,8	- 5,8	- 4,7	
3	27,7		19,4	8,7	0,9	29,0	- 1,3	- 1,0	
4	30,7	44,9	21,5	17,5	2,0	41,0	- 10,3	- 6,8	
5	34,1		17,2	15,4	2,2	34,8	- 0,7	- 0,4	
6	37,9	33,7	19,1	21,4	3,1	43,6	- 5,7	- 3,0	
7	42,0		16,6	20,4	3,4	40,4	+ 1,6	+ 0,8	
8	46,7		18,4	19,4	3,8	41,6	+ 5,1	+ 2,2	
9	51,8		20,4	18,4	4,2	43,0	+ 8,8	+ 3,4	
10	57,5		22,7	17,4	5,0	45,1	+ 12,4	+ 4,4	
11	63,8		25,2	16,4	5,5	47,1	+ 16,7	+ 5,3	
12	70,8		28,0	15,4	6,6	50,0	+ 20,8	+ 5,9	
13	78,6		31,0	14,4	7,3	52,7	+ 25,9	+ 6,7	
14	87,3		34,4	13,4	9,5	57,3	+ 30,0	+ 7,0	
15	96,9		38,2	12,5	10,5	61,2	+ 35,7	+ 7,5	
16	107,5		42,4	11,6	12,7	66,7	+ 40,8	+ 7,7	
17	119,4		47,1	9,9	14,1	71,1	+ 48,3	+ 8,2	
18	132,5		52,3	9,0	15,7	77,0	+ 55,5	+ 8,5	
19	147,0		58,0	6,3	17,4	81,7	+ 65,3	+ 9,0	
20	163,3		64,4	5,8	19,3	89,5	+ 73,8	+ 9,2	
21	181,2		71,5	4,1	21,4	97,0	+ 84,2	+ 9,4	
22	201,2		79,4	3,8	23,8	107,0	+ 94,2	+ 9,5	
23	223,3		88,1	3,5	26,4	118,0	+ 105,3	+ 9,5	
24	247,8		97,8	3,2	29,3	130,3	+ 117,5	+ 9,6	
25	275,1		108,5	2,5	32,5	143,5	+ 131,6	+ 9,7	
								112,7	

Tabell 16.1

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
800422-9 från Statens råd för byggnadsforskning
till Kungsbacka kommun.**

R14: 1982

ISBN 91-540-3631-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700514

**Abonnemangsgrupp:
X. Samhällsplanering**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms