



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

R92:1981

Stora värmepumpar med havs- eller sjövatten som värmekälla

Förstudie

**Anders Bernestål
Göran Hultmark**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	81-1279
Plac	<i>ser</i>

R

Byggeforskningsrådet

ser

R92:1981

STORA VÄRMEPUMPAR MED HAVS- ELLER SJÖVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA
Förstudie

Anders Bernestål
Göran Hultmark

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810072-1 från
Statens råd för byggnadsforskning till Bengt Dahlgren AB,
Göteborg.

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

R92:1981

ISBN 91-540-3527-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 154450

INNEHÅLL

1	FÖRORD	4
2	SAMMANFATTNING	5
3	VÄRMEPUMPSYSTEMETS UPPBYGGNAD	7
3.1	Allmänt	7
3.2	Plattvärmeväxlaren	8
3.3	Värmepumpen	9
3.4	Vattenintaget	11
3.5	Inkoppling till fjärrvärmenätet	12
4	BYGGNADERNAS BEHOV	14
4.1	Effektbehov för fjärrvärmenätet	14
4.2	Temperaturbehov till fjärrvärmenätet	17
5	VATTENTEMPERATURER	20
6	ENERGIUTNYTTJANDE	23
6.1	Värmepumpens driftsituation	23
6.2	Energiutnyttjande ur havs- eller sjö- vattnet	24
7	DIMENSIONERING AV VÄRMEPUMPEN	27
7.1	Val av dimensioneringspunkt	27
7.2	Fördelning av energiutnyttjandet under året	28
8	FÖRLÄGGNING AV VÄRMEPUMPEN	31
8.1	Allmänt	31
8.2	Förläggning vid havsvattenintaget	31
8.3	Förläggning vid fjärrvärmenätet	32
8.4	Slutsats	33
9	ÖVRIG ENERGIUPPOFFRING	34
9.1	Pumpenergi i apparatur	34
9.2	Avståndets inverkan	34
9.3	Inbesparad energimängd	35
10	EKONOMI	38
10.1	Investeringskostnad	38
10.2	Lönsamhet	42
	BILAGA 1	
	BILAGA 2	

1 FÖRORD

Naturen bjuder på väsentligt större energimängder än vad som krävs för olika uppvärmningsändamål. Problemet är att energin är av för låg kvalitet för att kunna utnyttjas. Den tillgängliga energin har nästan alltid lägre temperatur än vad som erfordras. Högst temperatur och störst energitillgång finns i Sverige under sommarhalvåret.

Denna rapport behandlar lönsamheten för direkt utnyttjande av havsvatten som värmekälla till fjärrvärmenät.

Beräkningarna är utförda timma för timma, med hjälp av dator, och uppmätta värden har använts som bas.

Kostnadsberäkningarna grundar sig på infordrade offerter för de ingående huvudkomponenterna och använda produkter specificeras.

Värmepumpsystemet har en kyleffekt på 10 MW men självklart kan antalet värmepumpar mångfaldigas eller större installationer komma i fråga.

Som en fortsättning till denna rapport kommer lagring av ythavsvatten i berg från sommar till vinter - och således möjligheten att utnyttja gjorda investeringar i värmepumpanläggningen under hela året - att behandlas.

Rapporten är utförd vid Bengt Dahlgren AB, som ett led i utvecklingen av system och komponenter för att lönsamt utnyttja lokala energikällor.

2 SAMMANFATTNING

Denna rapport behandlar möjligheter och kostnader vid utnyttjandet av den enorma resurs som finns i havs- och sjövattnen. Rapporten visar hur stor del av den nuvarande bränsleupoffringen som kan ersättas med denna energikälla vid olika storlek på värmepumparna i förhållande till den totalt erforderliga energimängden samt lönsamheten vid valt alternativ.

Genom att utnyttja en liten del elektricitet i värmepumpar kan en större energimängd bringas till en högre temperatur och sedan användas i t ex fjärrvärmenät.

De komponenter som ingår i det studerade värmepumpsystemet är samtliga industriproducerade och användes i andra sammanhang med samma driftsituation som behandlas i denna rapport. Rapporten visar således vad som går att åstadkomma i t ex Stockholm, Göteborg och Malmö redan i dag.

Värmepumpsystemets dimensioneringspunkt har valts så att havs- eller sjövattnen som är 5°C eller varmare kan utnyttjas med full installerad värmepumpseffekt.

Rapporten visar att vattenintaget kan placeras endast någon meter under havsytan för att värmepumpen skall leverera en ansevärd mängd årlig energi. Under perioden januari, februari och mars ges ett marginellt energibidrag medan tillskottet under resten av året är betydelsefullt.

Om temperaturnivån i fjärrvärmenätet görs lägre än vad som är brukligt i dag kan 55% av årsenergin i Stockholmsområdet täckas med värmepumpar. Motsvarande täckningsgrad för Malmö- och Göteborgsområdena är cirka 58%.

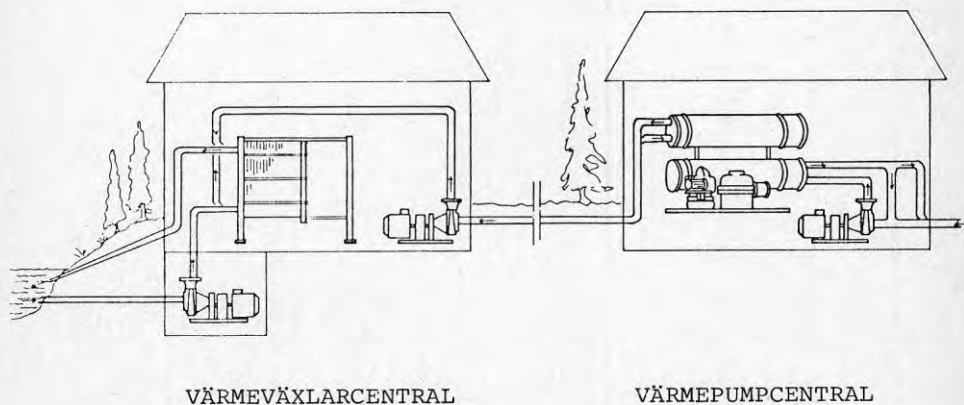
Av energin som levereras av värmepumpen är cirka 65% den energi som kylts ur havet och resterande del består av t ex elenergi.

På västkusten kan energibidraget under året ökas om vattenintaget placeras på större djup än cirka 15 meter. Dessa djup finns i regel på stora avstånd från förbrukarna varför kostnaden för detta alternativ icke har undersökts i denna rapport.

3 VÄRMEPUMPSYSTEMETS UPPBYGGNAD

3.1 Allmänt

Systemet arbetar så att havsvatten pumpas in i en plattvärmeväxlare där det kyls ned till $+1,1^{\circ}\text{C}$. Värmen växlas här till en brinelösning som värms från $-1,0$ till $+3^{\circ}\text{C}$ i det dimensionerade fallet. Alla temperaturnivåer är givetvis högre under sommaren. Den värme som har tillförts avges sedan i en vanlig standardvärmepump.



Figur 1 Värmepumpsystemets uppbyggnad.

3.2 Plattvärmeväxlaren

Att använda plattvärmeväxlare och brineledning innebär ett extra värmewäxlarsteg jämfört med att värmewäxla havsvattnet direkt i värmepumpens förångare.

Fördelarna med att använda denna extra växlare är:

dels att denna värmewäxlartyp är utprovad för att växla havs- eller sjövattnet

dels att den med rätt vattenhastighet är självrensande

dels att den är fabriksproducerad och förhållandevis billig

dels att den ej förstörs vid eventuell isbildning

dels att den finns i material som tål aggressivt havsvatten

dels att den är lämplig för denna "långa" termiska uppgift och

dels att den lätt kan demonteras för rengöring.

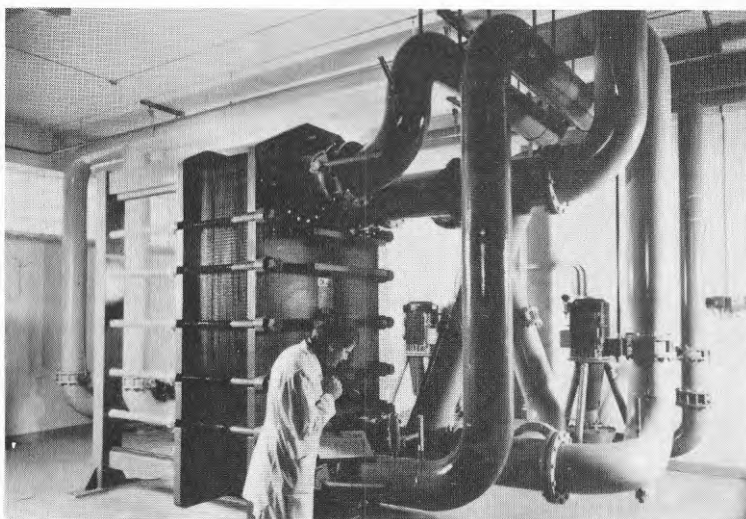


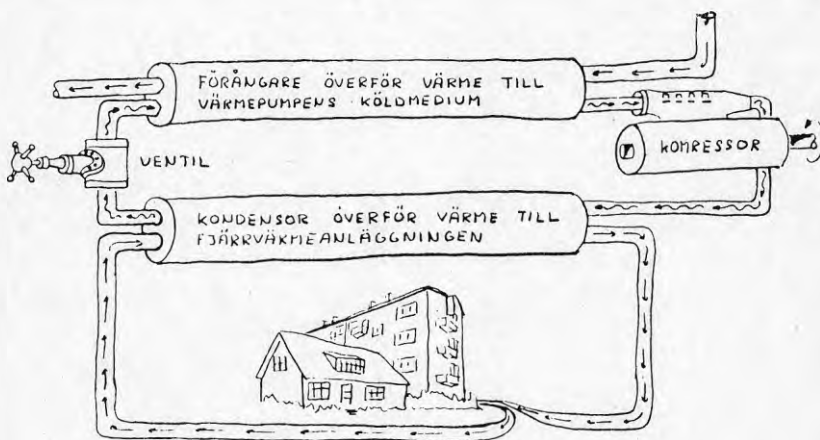
Bild 1 Visar plattvärmeväxlarinstallation med havsvatten.

På väst- och sydkusten måste titan användas i värmeöverföringsytan då detta material klarar vattnets aggressiva påverkan under lång tid.

Vid ostkusten och i sjöar kan rostfria syrefasta legeringar komma i fråga, men i den fortsatta utredningen har titan förutsatts. För användande av andra material krävs en ordentlig vattenanalys för den aktuella platsen.

3.3 Värmepumpen

Värmepumpens funktion är att höja temperaturen på tillgänglig energi till användbar nivå.



Figur 2 Skiss över värmepumpens beståndsdelar.

För att kunna göra detta krävs en viss energimängd till den elmotor som driver kompressorerna.

Hur stor denna energimängd är, beror på värmepumpens uppbyggnad och de temperaturer som råder i förångare och kondensator.

Temperaturernas påverkan kan uttryckas i en Carnot-värmefaktor ϕ_C som beskriver hur många gånger värmeenergi som levereras med en del elenergi.

$$\phi_C = \frac{\text{kondenseringstemperatur}}{\text{kondenseringstemperatur} - \text{förångningstemperatur}}$$

Kondenserings- och förångningstemperatur beräknas i grader Kelvin och avser de temperaturer vid vilka köldmediet i värmepumpen kondenserar respektive förångas.

En värmepump kommer dock ej att få denna teoretiskt maximala värmefaktor.

En värmepump i denna storleksklass kan åstadkomma en värmefaktor som är 65% av ϕ_C räknat på axeleffekt till kompressorn. Elmotorn har en verkningsgrad på i genomsnitt 92% vid överföring av elektricitet till axeleffekt.

Ovanstående ger en värmefaktor $\phi_E = \phi_C \cdot 0,65$ vid beräkning av hur stor effekt som erhålles till fjärrvärmenätet och en värmefaktor $\phi = \phi_C \cdot 0,65 \cdot 0,92 = \phi_C \cdot 0,60$ vid beräkning av erforderlig eleffekt till värmepumpen.

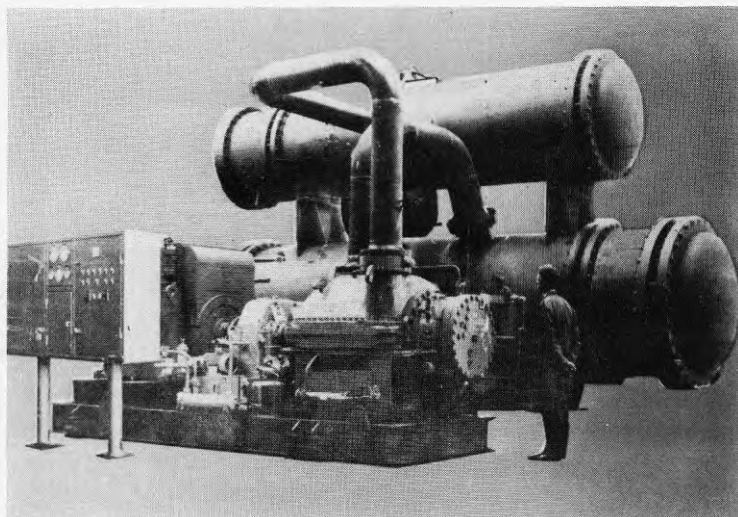


Bild 2 Visar värmepump med cirka 14 MW värmeeffekt.

3.4 Vattenintaget

Vattenintagsdelen kan vålla problem om denna ej är rätt utförd.

Erfarenheten från västkusten visar t ex på stor tillväxt av musslor om intagsdelen är ljust placerad. Vid utförandet måste man därför ta ställning till hur denna lättast skall kunna rensas.

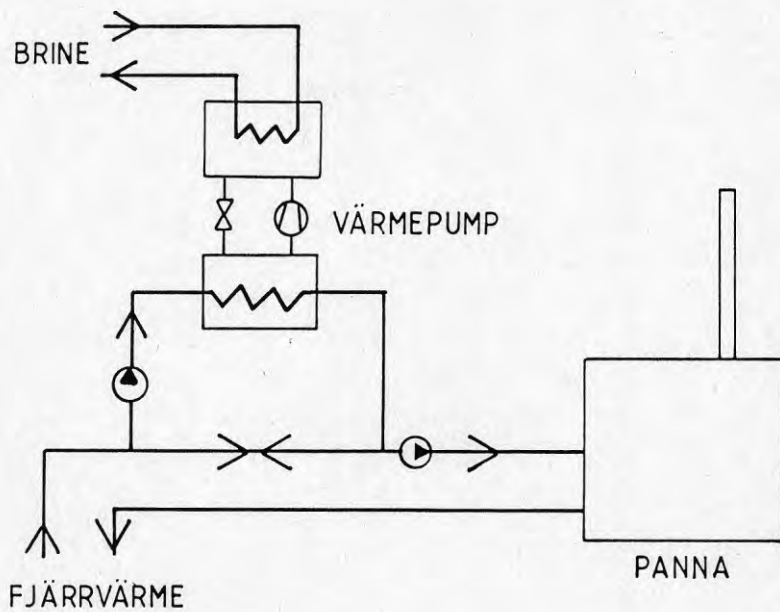
Om cirkulationspumpen skall arbeta med vatten endast någon meter under vattenytan utföres intagsdelen rensbar från värmväxlarcentralen. Vid stor risk för beväxtlighet och vid placering längre från värmväxlarcentralen bör vattenintaget utföras med kåpa över själva intagsröret som ljushindrande täckning vilket minskar förutsättningarna för beväxtlighet i intagsröret.

Vattenintagspumpen bör placeras under vattenytans nivå för att säkerställa att inloppet är vattenfyllt. Samma funktion kan erhållas med hjälp av backventiler, om pumpen placeras ovanför vattenytans nivå, men erfarenheten visar att dessa har svårt att hålla tätt i denna miljö. Hur långt under havsytans nivå pumpen måste placeras beror på tryckfallet i tillloppsledningen.

3.5 Inkoppling till fjärrvärmenätet

För all alternativ energiproduktion gäller att, ju lägre temperatur som kan tolereras desto bättre lönsamhet och arbetssätt erhålles. Detta innebär att värmepumpen skall inkopplas där fjärrvärmevattnet har lägst temperatur d v s till returledningen. Om sedan värmepumpen kan höja temperaturen på returledningen så mycket att erforderlig framledningstemperatur kan hållas innebär det att all energi tas från värmepumpen. Den enklaste och bästa lösningen är således att leda fjärrvärmevattnet genom kondensorn på värmepumpen innan det värms av pannan.

Kondensorn måste dock hålla erforderlig tryckklass och kunna arbeta under relativt konstanta flödesförhållanden, vilket innebär att en cirkulationspump kan erfordras för att öka flödet genom kondensorn i vissa driftsfall.



Figur 3 Princip för inkoppling av värmepump till fjärrvärmenätet.

4 BYGGNADERNAS BEHOV

4.1 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 $+14^{\circ}\text{C}$ om det är kallare än $+11^{\circ}\text{C}$ utomhus. Temperaturhöjningen från $+14^{\circ}\text{C}$ till $+20^{\circ}\text{C}$ sker genom byggnadernas interna energiöverskott.

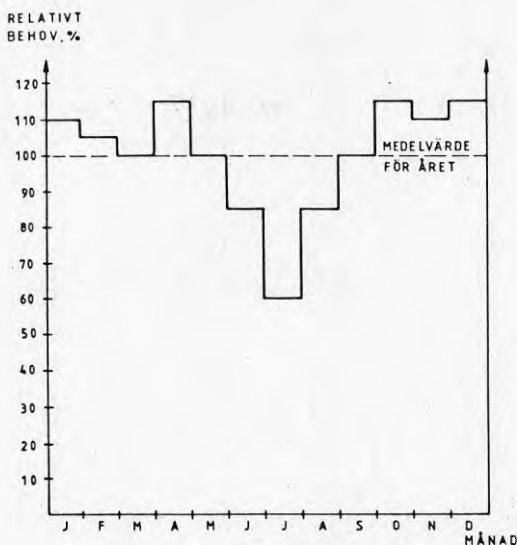
Varje timma används ett värde på uteluftens temperatur som är baserat på dels SMHI:s statistik över en längre period och dels den årliga normaltemperatur som gäller på den aktuella platsen.

Tappvarmvattenbehovet varierar under året och under varje dag. Fördelningen under dygnet har antagits enligt tabell 1.

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 1 Varmvattenförbrukningens fördelning under dygnet.

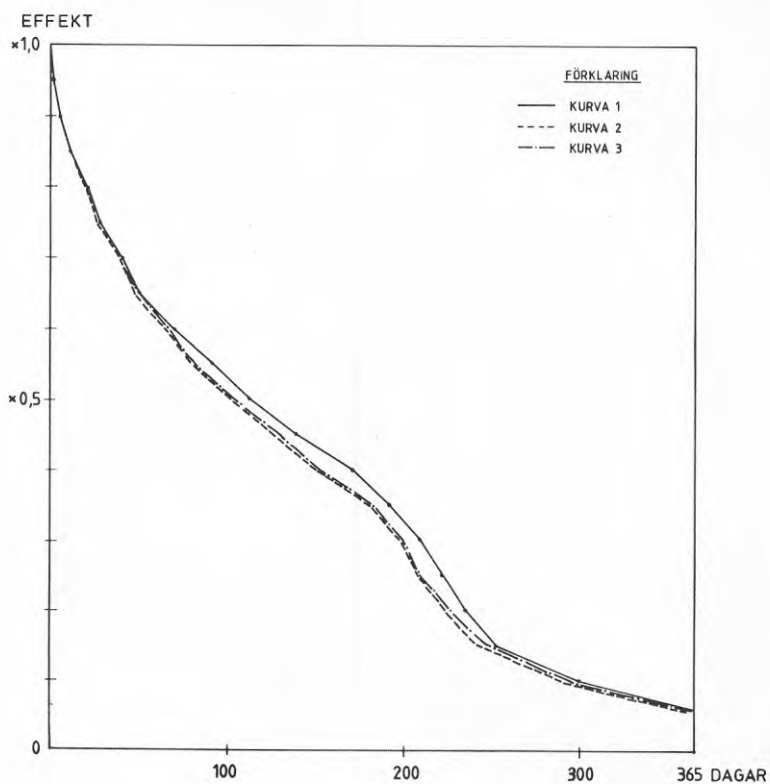
Varmvattenförbrukningen varierar även under året med den största förbrukningen under höst - vinter och lägst under sommarmånaderna. Fördelningen under året enligt figur 4.



Figur 4 Fördelning av energibehovet för varmvattenberedning över året.

Energibehovet för ventilation följer till största delen energibehovet för värme. Det är få byggnader som har eftervärme vilka kan påverka energiförbrukningens fördelning.

Energiförbrukningens fördelning under ett normalår, med de förutsättningar som beskrivits i detta kapitel, visas i figur 5, för Stockholm, Göteborg och Malmö. Beräkningarna har utförts med de lägre temperaturerna enligt figur 7. Vid jämförelse mellan det teoretiskt framräknade och befintliga värmeverks varaktighetsdiagram har bra överensstämmelse fåtts då förlusterna reduceras i de befintliga systemen på grund av de lägre temperaturerna.



Figur 5 Varaktighetsdiagram för ett normalår.

Förutsätt-
ningar:

Stockholm varmvattenförbr. 27%
Kurva 1 uppvärmning till $+14^{\circ}\text{C}$

Göteborg varmvattenförbr. 29%
Kurva 2 uppvärmning till $+14^{\circ}\text{C}$

Malmö varmvattenförbr. 31%
Kurva 3 uppvärmning till $+14^{\circ}\text{C}$

4.2 Temperaturbehov till fjärrvärmenätet

Dagens fjärrvärmenät är nästan uteslutande dimensionerade för 120°C framledningstemperatur när det är som kallast och 80°C på sommaren.

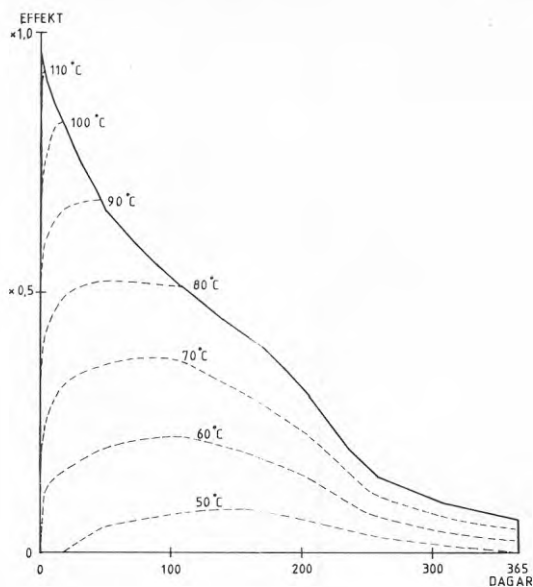
Returtemperaturens variation beror i huvudsak på utetemperatur och tappvarmvattenintensitet.

Temperaturbehovet kan åskådliggöras med temperaturkurvor inlagda i varaktighetsdiagrammet enligt figur 5, kurva 1.

Ytan under temperaturkurvorna representerar den energimängd som kan tillfredsställas av en energikälla med temperaturkurvans temperatur.

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

Temperaturkurvorna i figur 6 får ses som exempel eftersom dessa varierar från fall till fall. I flera fjärrvärmenät erfordras väsentligt högre temperaturer än vad som framgår av figur 6.

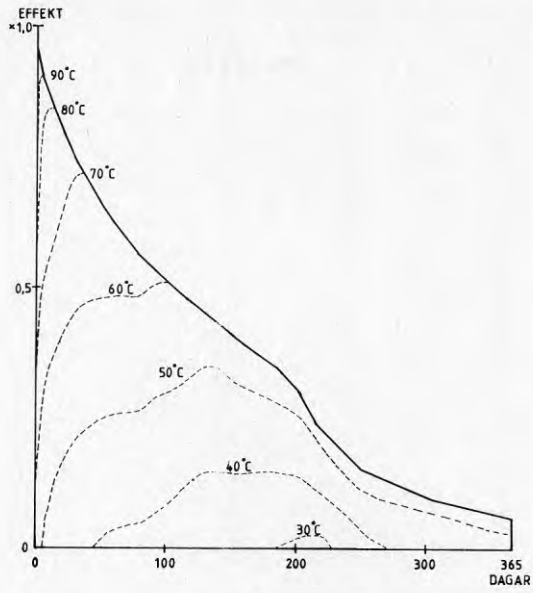


Figur 6 visar temperaturkurvor i många av dagens fjärrvärmenät.

Denna dimensionering är i vissa fall en kvarleva från den tid då energin var så billig att förlusterna från fjärrvärmesystemen hade ringa betydelse.

Flera utredningar och mätningar utförda vid Bengt Dahlgren AB visar att det är möjligt att spara energi genom att sänka temperaturerna i fjärrvärmenäten. Denna åtgärd kan vara lönsam enbart genom minskade energiförluster. Lönsamhetens eller kostnadsökningens storlek måste undersökas från fall till fall.

Genom att sänka temperaturerna erhålles dessutom väsentligt förbättrade möjligheter att utnyttja värmepumpar som energiproduktionsenheter. Temperatursänkningen bör göras utan att förändra fjärrvärmenätets dimensioner och flöden.



Figur 7 visar temperaturkurvor i ett fjärrvärmenät med lägre temperatur.

5 VATTENTEMPERATURER

Samtliga värden som har använts baseras på mätningar utförda av SMHI och publicerade i Ref 1 och 2. De mätningar som utgör underlag för beräkningarna återfinns i BILAGA 1 och 2. Mätningstationerna är valda så att ett gott beräkningsunderlag har erhållits för Sveriges tre största städer Stockholm, Göteborg och Malmö.



Figur 8 Mätningstationernas placering.

Mätningarna utfördes under åren 1967, 1968 och 1969. Dessa år var något kallare än normalt, vilket innebär att temperaturerna icke är för höga i förhållande till normalåret.

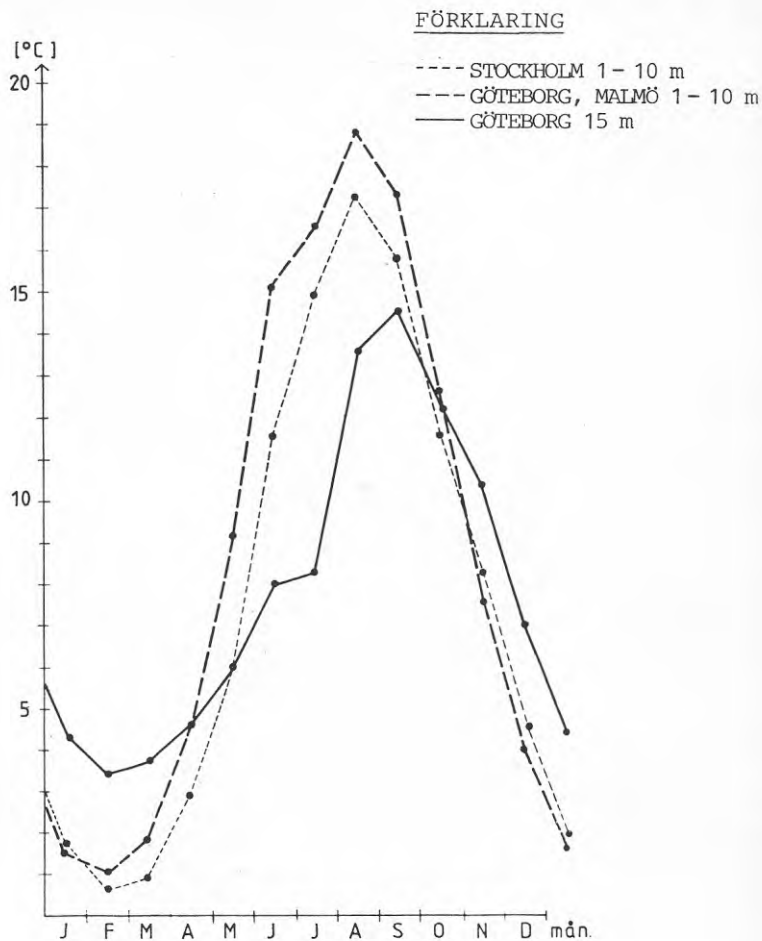
Graddagar för fem kalenderår

Ort	Normalår 1931— 1960	Procent av normalår				
		1965	1966	1967	1968	1969
Jokkmokk	5930	105	115	100	110	111
Luleå	5260	106	117	100	111	109
Östersund	4810	107	116	102	110	110
Härnösand	4330	104	117	99	108	111
Falun	4270	108	113	99	114	113
Karlstad	3780	106	113	97	112	110
Stockholm	3570	106	111	96	105	108
Jönköping	3640	106	108	92	103	109
Göteborg	3120	105	110	91	104	110
Malmö	3020	105	106	92	103	108

Tabell 2 Graddagar för fem kalenderår.

Av mätningarna framgår att det endast är på västkusten som det kan vara motiverat att använda havsvatten på stora djup. Temperaturerna på vattnet är i stort sett likartade mellan 1 och 10 m djup.

Genom att använda medelvärden av de tre årsmätningarna kan temperaturerna för Stockholm, Göteborg och Malmö upprättas.



Figur 9 Temperaturkurvor under ett år för Stockholm, Göteborg och Malmö.

De temperaturkurvor som avser 1-10 m djup gäller med stor noggrannhet för sjöar inom samma region om icke smältvattengenomströmningen är för kraftig. I älvar och sjöar med kraftig smältvattengenomströmning är temperaturerna något lägre under vintern.

6 ENERGIUTNYTTJANDE

6.1 Värmepumpens driftsituation

Genom att varje timma jämföra vattentemperatur, värmebehov och temperaturbehov kan värmepumpens driftsituation klarläggas.

Värmepumpen kylvärmer havsvattnet med 4°C vid full effekt, dock lägst till $+1,1^{\circ}\text{C}$. När temperaturen understiger $+5^{\circ}\text{C}$ arbetar värmepumpen med reducerad effekt för att kyla vattnet till $+1,1^{\circ}\text{C}$. Effektreduceringen blir proportionell mot det antal grader vattnet kan kylas, med 4°C kylning vid full effekt, 2°C kylning vid halv effekt o s v.

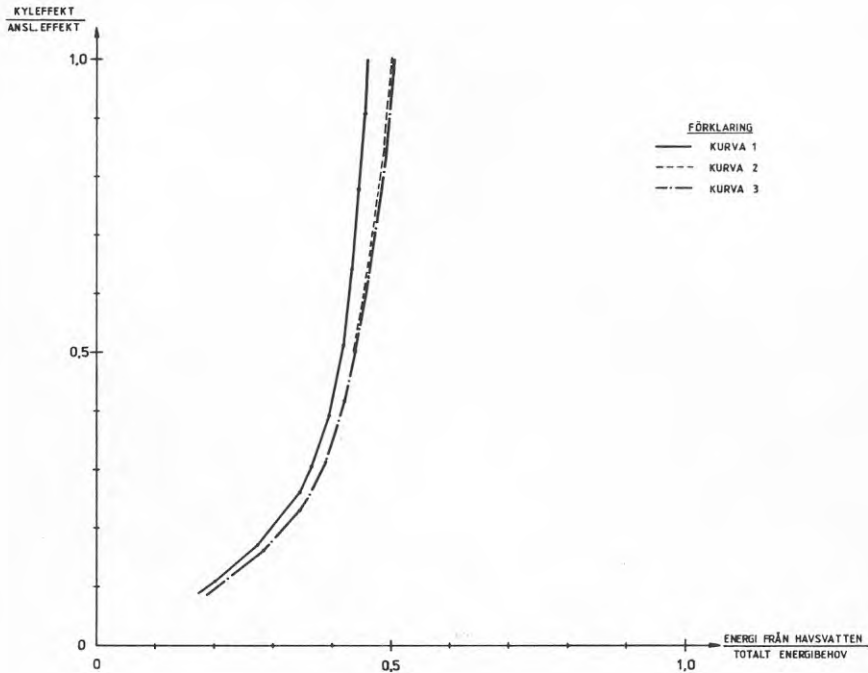
Temperaturen från plattvärmväxlaren är $2,1^{\circ}\text{C}$ under den utgående havsvattentemperaturen och förångningstemperaturen är cirka 6°C under denna vid full effekt. Kondenseringstemperaturen är cirka 5°C över den temperatur på fjärrvärmvattnet som lämnar värmepumpen.

Om temperaturbehovet överstiger $+80^{\circ}\text{C}$ i fjärrvärmnätet reduceras värmepumpens effekt för att hålla denna temperatur. Detta beror på att värmepumpar med R12 som köldmedium har svårt att leverera högre temperaturer. Om högre temperaturer erfordras krävs ett annat köldmedium vilket fördyrar värmepumpen avsevärt.

Genom att på detta sätt ha klarlagt värmepumpens kondenseringstemperatur, förångningstemperatur, effekt-tillgång och effektbehov kan utnyttjandet fastställas.

6.2 Energiutnyttjande ur havs- eller sjövattnet

Med varaktigheten för effektbehovet enligt figur 5, högt temperaturbehov enligt figur 6, lågt temperaturbehov enligt figur 7 samt värmepumpens prestanda enligt kapitel 4.3 och 7.1, kan data jämföras timma för timma och energiutnyttjandet för olika storlekar på fjärrvärmesystemet fastställas.

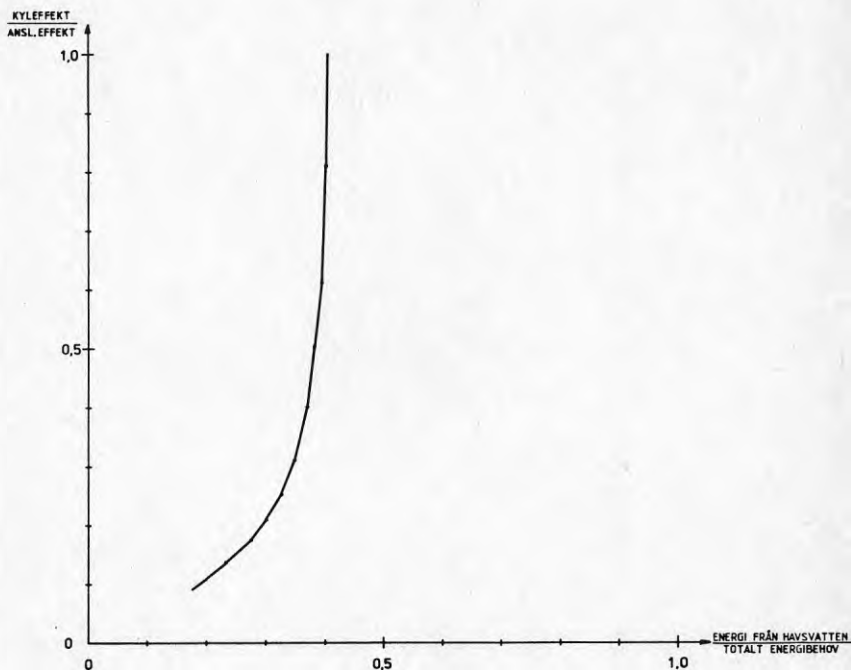


Figur 10 Utnyttjad andel kylenergi ur havsvattnet som funktion av andelen erforderlig värmeeffekt i fjärrvärmenätet för olika orter vid lågt temperaturbehov i fjärrvärmenätet och vattenintaget placerat 1-10 m under vattenytan.

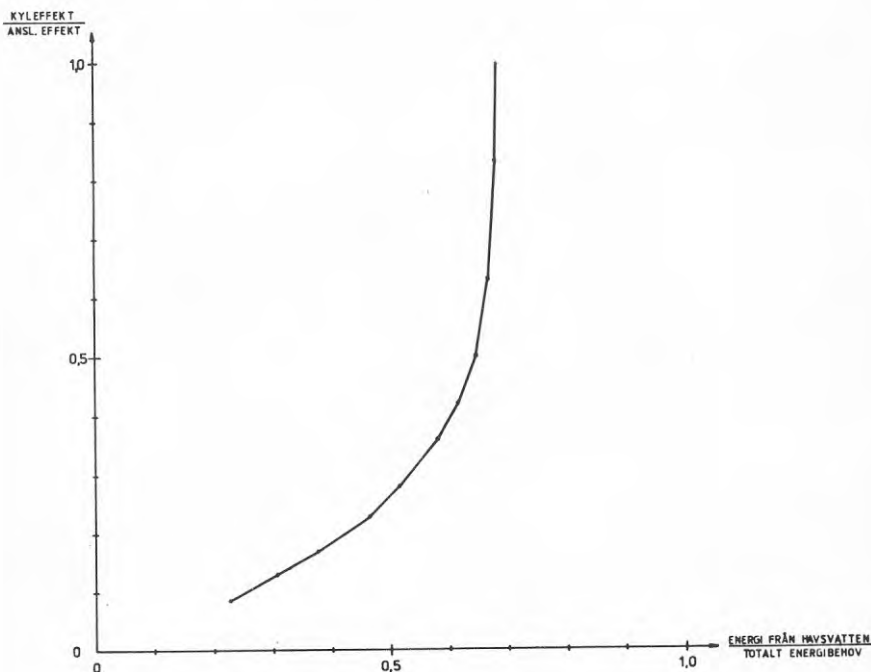
Kurva 1 Stockholm

Kurva 2 Göteborg

Kurva 3 Malmö



Figur 11 Utnyttjad andel kylenergi ur havsvattnet som funktion av andelen erforderlig värmeeffekt i fjärrvärmenätet för Stockholm vid högt temperaturbehov i fjärrvärmenätet och vattenintaget placerat 1 - 10 m under vattenytan.



Figur 12 Utnyttjad andel kylenergi ur havsvattnet som funktion av andelen erforderlig värmeeffekt i fjärrvärmenätet för Göteborg vid lågt temperaturbehov i fjärrvärmenätet och vattenintaget placerat mer än 15 m under vattenytan på västkusten.

Den kylenergi mängd som anges i fig 10, 11 och 12 är således den "gratisenergi" som erhålles ur havs- eller sjövattnet. För att kunna erhålla denna energimängd åtgår en del elenergi. Denna del varierar från stund till stund men visas i kapitel 7 som månadsmedelvärden.

7 DIMENSIONERING AV VÄRMEPUMPEN

7.1 Val av dimensioneringspunkt

Ur figur 10, 11 och 12 erhålles energiutnyttjandet som funktion av installerad kyleffekt.

Genom att utföra upprepade ekonomiska kalkyler erhålles lämpliga dimensioneringspunkter för värmepumpseffekten.

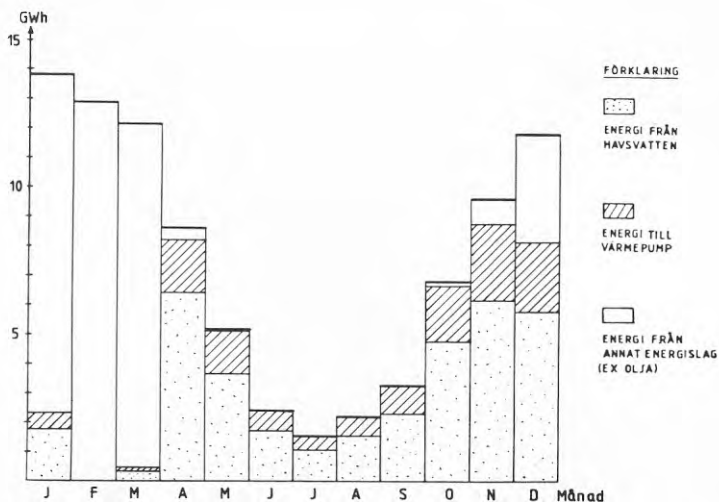
För de olika studerade alternativen väljs dimensioneringspunkter enligt nedanstående tabell:

Ort Vattenint.djup Temp.nivå fjärrvärme	Installerad kyleffekt i procent av totalt sammanlagrat effektbehov	Nyttiggjord kylenergi i procent av totalt energibehov	Motsvarande figurnummer i kapitel 7.2
Stockholm 1 - 10 m Låg	30	36	13
Stockholm 1 - 10 m Hög	25	32	14
Göteborg 1 - 10 m Låg	30	38	15
Göteborg 15 - 20 m Låg	45	63	16
Malmö 1 - 10 m Låg	30	38	17

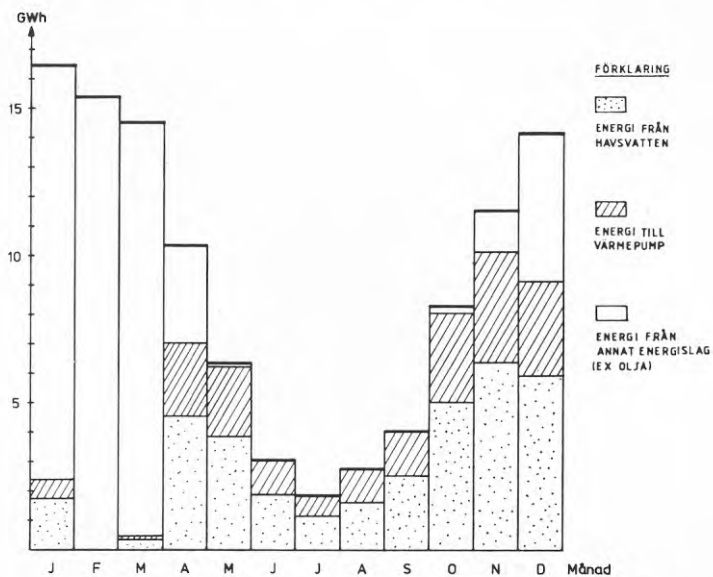
Tabell 3 Energiutnyttjande.

7.2 Fördelning av energiutnyttjandet under året

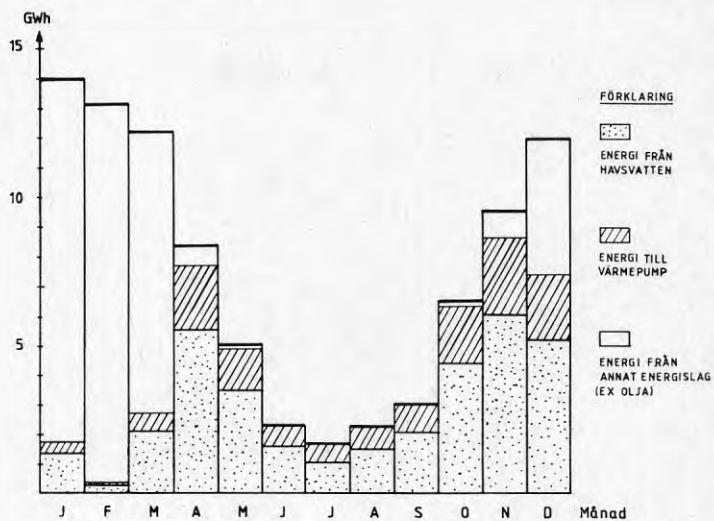
För att beskriva hur den nyttiggjorda energin fördelar sig under året åskådliggöres beräkningarna i form av månadsmedelvärden under ett normalår.



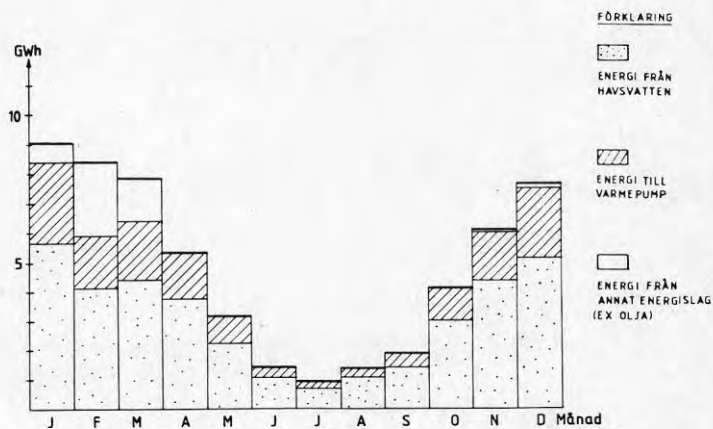
Figur 13 Stockholm 1 - 10 m Lågt temperaturbehov



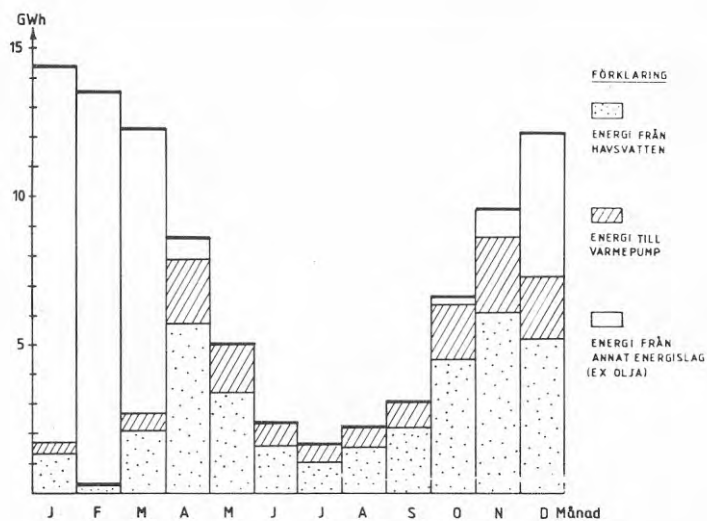
Figur 14 Stockholm 1 - 10 m Høgt temperaturbehov



Figur 15 Göteborg 1 - 10 m Lågt temperaturbehov



Figur 16 Göteborg 15 m Lågt temperaturbehov



Figur 17 Malmö 1 - 10 m Lågt temperaturbehov

Ur figurerna framgår att ytvattenintaget ger mycket litet bidrag under perioden januari - februari - mars, när vattentemperaturerna är som lägst.

I och med att beräkningarna har utförts timvis kan man konstatera att ytterligare energi måste tillföras redan i oktober, beroende på att det under några timmar finns ett värmebehov, som är högre än vad som kan åstadkommas i värmepumpen.

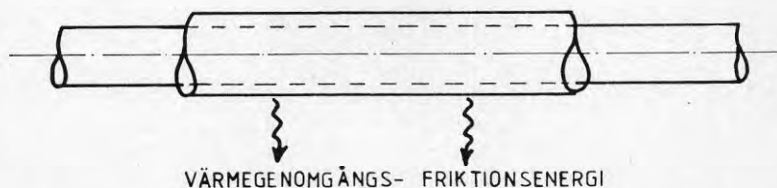
8 FÖRLÄGGNING AV VÄRMEPUMPEN

8.1 Allmänt

Om värmepumpen skall förläggas vid havsvattenintaget eller vid fjärrvärmenätet beror på kostnader och energiuppföring i kulverten mellan dessa enheter.

Vid nedanstående jämförelse bortses från att en del av energin till cirkulationspumparna tillgodogörs i form av värme.

8.2 Förläggning vid havsvattenintaget



Figur 18 Värmekulvert.

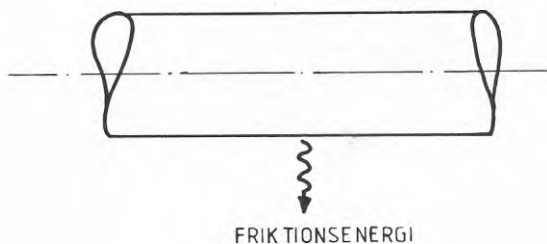
Värmegenomgångsförlusten är den förlust som uppstår på grund av temperaturskillnaden mellan det varma mediet i kulverten och omgivningen.

Friktionsenergiförlusten är den energi som måste tillföras från cirkulationspumpen. Denna omvandlas också till värmeenergi men behandlas här separat.

Om kulverten förlägges 1,2 m under markytan, dimensioneras för en temperaturhöjning i kondensorn på 20°C vid fullt flöde i fjärrvärmesystemet, cirkulationspumpens verkningsgrad sättes till 70% och låg temperaturnivå enligt figur 7 kan följande data användas:

Medelflöde:	$0,24 \text{ m}^3/\text{s}$
Diameter innerrör:	395 mm
Isolertjocklek:	66 mm
Värmeledningsförmåga i marken:	$1,5 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
Värmeledningsförmåga i isolering:	$0,03 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
Medeltemperatur i kulvert:	$+50^{\circ}\text{C}$
Medeltemperatur omgivning:	$+7^{\circ}\text{C}$
Uppoffrad friktionsenergi/år till cirkulationspump:	140 kWh/m
Uppoffrad värmegenomgångsenergi/år:	350 kWh/m
Kostnad för schakt och återfyllning:	1700 kr/m
Kostnad för kulvert:	1800 kr/m

8.3 Förläggning vid fjärrvärmenätet



Figur 19 Brinekulvert.

Temperaturnivån i kulverten håller ungefär samma temperatur som omgivande mark, varför enbart friktionsenergiförlusten behöver beaktas.

Brineledningen är enligt tidigare dimensionerad för 4,0°C temperaturdifferens och nedanstående data kan användas:

Flöde:	0,61 m ³ /s
Innerdiameter:	560 mm
Uppoffrad friktionsenergi till cirkulationspump/år:	500 kWh/m
Kostnad för schakt och återfyllning:	2300 kr/m
Kostnad för PEH kulvert:	1200 kr/m

8.4 Slutsats

Som framgår av kapitel 8.2 och 8.3 är kostnad och energiförlust ungefär lika stora för brineledning och fjärrvärmekulvert.

Värmepumpens placering bestäms således av lokala omständigheter såsom servicemöjligheter, tillgång till markytor o s v.

I det fortsatta arbetet har avståndet mellan hav och intag satts till 100 m, avståndet mellan värmeväxlare och värmepump 1000 m och avståndet mellan värmepump och fjärrvärmenät har satts till 100 m.

Ett tredje alternativ att placera både plattvärmeväxlare och värmepump vid fjärrvärmeanläggningen kan användas vid stora anläggningar, men man bör ta i beaktande att det kan uppstå igensättningar i havsvattenledningen. Detta alternativ kan utföras med enkelkulvert, vilket minskar kostnaderna både för kulvert och cirkulationsenergi.

9 ÖVRIG ENERGIUPPOFFRING

9.1 Pumpenergi i apparatur

För att kunna utvinna energin ur havsvattnet krävs, som tidigare nämnts, pumpar som cirkulerar både brine- och havsvatten.

Dessa pumpars energimängd betraktas här som ren förlust. I verkligheten kan en del av denna energi nyttiggöras men detta faktum bortses ifrån.

Om cirkulationspumparnas verkningsgrad sättes till 70% kan följande samband uppställas:

$$\text{Flöde} \times \text{Total uppforderingshöjd} / 0,7 = \text{Effektbehov}$$

Erforderligt effektbehov för transportsträckan mellan värmeväxlarcentral och värmecentral behandlas i kapitel 9.2.

För övrig apparatur blir effektbehovet:

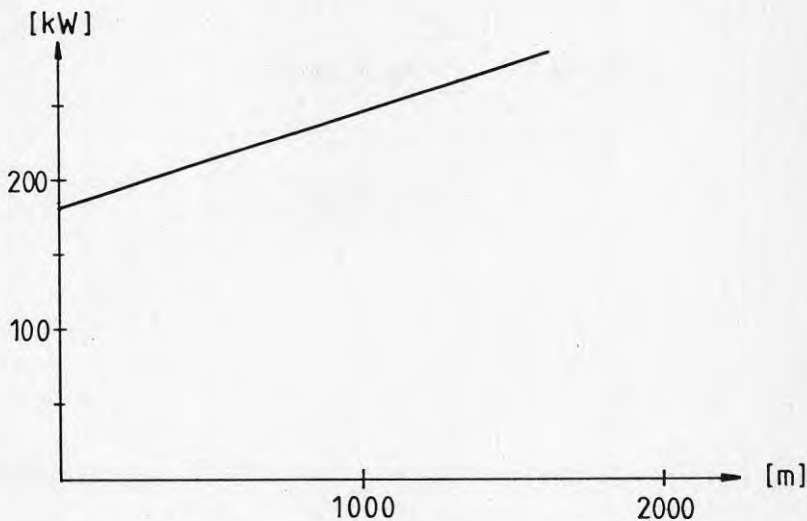
$$\frac{127}{0,7} = 181 \text{ kW}$$

Om drifttiden är 8.000 tim/år blir den totalt upptrafade energimängden 1450 MWh.

9.2 Avståndets inverkan

Varje meter kulvert mellan värmeväxlarcentral och värmepumpcentral innebär en upptrafad effekt på 62,5 W/m enligt kapitel 9.3.

Genom att addera detta behov till behovet i apparatur enligt föregående kapitel erhålles ett samband mellan avstånd och behov.



Figur 20 Avståndets inverkan på effekten till cirkulationspumparna.

I den fortsatta beräkningen antages kulvertavståndet 1 km, vilket medför ett effektbehov på 62,5 kW och den årligt uppköpta energimängden 500 MWh.

9.3 Inbesparad energimängd

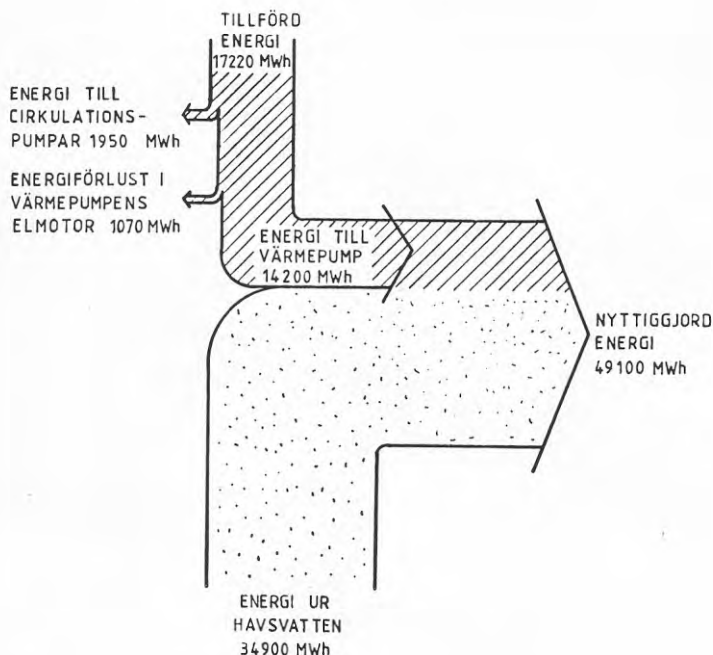
Ur det tidigare utförda arbetet framgår att man erhåller det bästa utnyttjandet vid vattenintagsdjup 15-20 m på västkusten. Då dessa djup inte finns på rimliga avstånd för denna storlek på värmepump behandlas i fortsättningen enbart vattenintagsdjup på 1-10 m.

Det framgår även att utnyttjandet förbättras vid låga temperaturnivåer på fjärrvärmenäten vilket medför att man ur energihushållningssynpunkt bör försöka sänka temperaturnivåerna både för att förbättra värmepumpens

driftsituation och för att minska förlusterna i fjärrvärmenäten.

Med höga temperaturer i fjärrvärmenätet blir värmepumpen dyrare då kyleffekten för samma värmepump minskar vid högre temperaturhöjning. Årsmedelvärmefaktorn är 3,25 med lågt temperaturbehov enligt figur 5 och 2,50 med högt enligt figur 4. Detta innebär att mer elenergi måste uppoffras vid högt temperaturbehov, vilket kan utläsas ur figur 13 och 14.

Skillnaderna i energiutnyttjande mellan väst och ostkust är relativt små varför i fortsättningen enbart Stockholm kommer att behandlas. Utnyttjandet i Malmö och Göteborg är något bättre än i Stockholm. Det totala energiflödet för en värmepump med 10 MW kyleffekt med vattenintaget 1-10 m under vattenytan, som ger sin energi till ett fjärrvärmenät med 33 MW sammanlagrat värmeeffektbehov vid D.U.T. och belägen vid Stockholm ser ut som i figur 21.



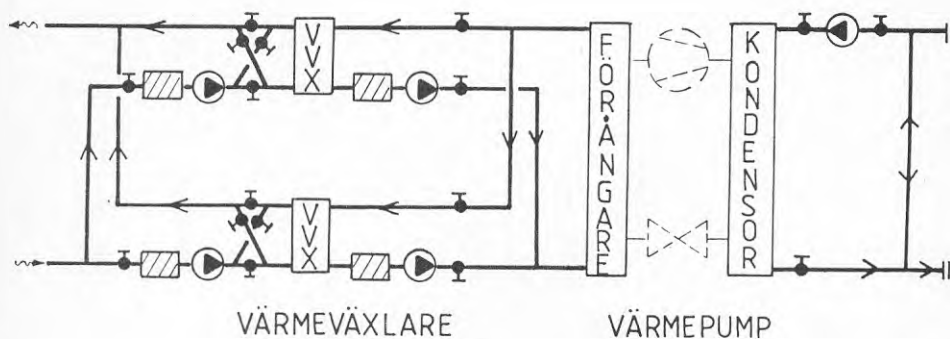
Figur 21 Sankeydiagram över energiflödet.

Den nyttiggjorda nettoenergimängden blir således
 $34900 + 17220 - 1950 - 1070 = 49100$ MWh/år, d v s 55%
av det totala nettoenergibehovet.

Om denna energimängd hade behövt produceras i olje-
eldad panna med 90% årsverkningsgrad hade det åtgått
54500 MWh/år.

10 EKONOMI

10.1 Investeringskostnad



Figur 22 Principschema

Nedanstående kostnader har beräknats för ett dyrt utförande med titanvärmväxlare samt kulvert och byggnader i respektive på berg.

<u>Byggkostnader värmväxlarcentral</u>	kronor
Byggnad	880.000
Pumpgrop sprängning och gjutning	600.000
Elinstallation	100.000
VVS-installation	<u>150.000</u>
Summa	<u><u>1.730.000</u></u>

<u>Byggkostnader värmepumpcentral</u>	kronor
Byggnad	880.000
Elinstallation	100.000
VVS-installation	<u>150.000</u>
Summa	<u>1.130.000</u>

<u>Intag från hav till pumpgrop</u>	kronor
Schakt 100 m	700.000
Kulvert 100 m	110.000
Böjar	80.000
Ledning på havsbotten 400 m	480.000
Betongvikter 70 st 805 kg/st	140.000
Intagsdel i havet	<u>100.000</u>
Summa	<u>1.610.000</u>

<u>Utlopp från hus till havet</u>	kronor
Schakt 400 m	950.000
Kulvert 400 m	440.000
Böjar	80.000
Ledning på havsbotten 100 m	120.000
Betongvikter 20 st 805 kg/st	<u>40.000</u>
Summa	<u>1.630.000</u>

<u>Installationer i värmväxlarcentral</u>	kronor
Plattvärmväxlare 2 st i titan (Alfa-Laval:s typ AX30-HBM)	2.600.000
Havsvattenpumpar 2 st (JMV Z-123-305)	120.000
Brinepumpar 2 st (JMV Z-123-316)	120.000
Filter SECOOL 4 st (Alfa-Laval)	360.000
Backflushing system 2 st (Alfa-Laval)	240.000
Rengöringssystem 1 st (Alfa-Laval)	50.000
Ventiler 16 st (AJ 2752 V 400 ansl 450)	130.000
Inkoppling och montering komponenter	350.000
Material och arbete Rör, böjar, flänsar, övergångar	<u>540.000</u>
Summa	<u><u>4.510.000</u></u>

<u>Kulvert mellan husen</u>	kronor
Schakt 1000 m	2.400.000
Kulvert 1000 m	2.400.000
Böjar	<u>80.000</u>
Summa	<u><u>4.880.000</u></u>

<u>Installationer i värmepumpcentral</u>	kronor
Värmepump (FRIGOR/YORK HP-355 SPECIAL)	7.400.000
Varvtalsreglering av kompressor	1.200.000
Ventiler brine 2 st (AJ 2730 ansl 600)	30.000
Ventiler fjärrvärme 3 st	80.000
Fjärrvärmepump (Vadstena VM-258)	40.000
Inkoppling och montering komponenter	400.000
Elinstallation till värmepump	500.000
Material och arbete Rör, böjar, flänsar, övergångar	<u>360.000</u>
Summa	<u><u>10.010.000</u></u>

Kulvert mellan värmepumpcentral och fjärrvärmenät

Schakt 100 m	170.000
Kulvert 100 m	260.000
Böjar	70.000
Inkoppling till fjärrvärmenät	<u>60.000</u>
Summa	<u><u>560.000</u></u>
Projekteringskostnad	<u><u>500.000</u></u>
SUMMA INVESTERINGSKOSTNAD	<u><u>26.560.000</u></u>
Provning, igångkörning	<u><u>1.200.000</u></u>
TOTAL INVESTERINGSKOSTNAD	<u><u>27.760.000</u></u>

Om vattnet och fjärrvärmesystemet ligger i närheten av varandra kan enligt ovan investeringskostnaden reduceras till cirka 20.000.000 kronor.

10.2 Lönsamhet

Nedan beräknas kapitalkostnaden för den inbesparade energin utslagen per kWh. (Besparingskostnaden, BK).

Beräkningen sker enligt Besparingsmetoden (Regeringens proposition 1977/78:76).

$$BK = \frac{\text{investering} + P_1 \cdot \text{årlig underhållskostn.}}{P_2 \cdot \text{årlig energibesparing}} \quad \text{kr/kWh}$$

$$\text{där } P_1 = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^T}{\frac{r}{1+r}} \quad \text{och} \quad P_2 = \frac{1 - \left(\frac{1+q}{1+r}\right)^T}{\frac{r-q}{1+r}}$$

r är den reala kalkylräntan

q är årlig ökning av energipriset, räknat i fast penningvärde

T är livslängden

Förutsättningar:

Underhållskostnad 3% av investeringskostnaden per år = 830.000 kronor/år.

Årlig real energiprisökning	= 2%
Årlig real kalkylränta	= 6%
Avskrivningstid	= 15 år
Investeringskostnad	= 27.760.000 kronor

Årlig energibesparing $34.900 - 1.070 - 1.950 = 31.880$ MWh

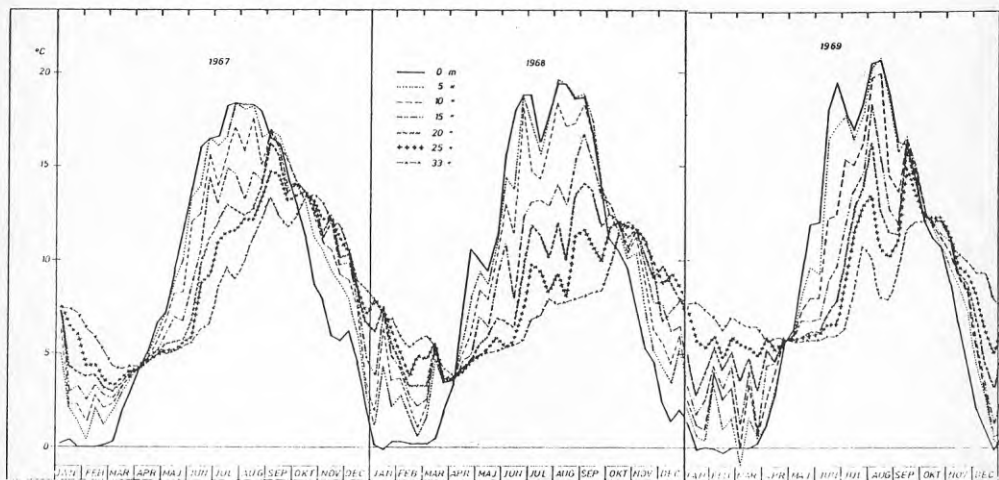
Besparingskostnaden (BK) blir med förutsättningar enligt ovan 9,7 öre/kWh.

Om priset på elenergin är 20 öre/kWh blir kostnaden för den producerade värmeenergin:

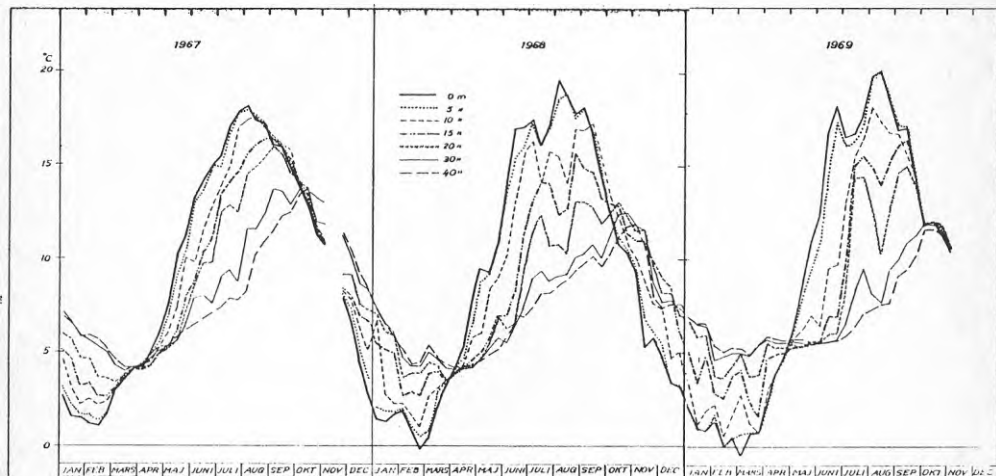
$$\frac{34.900 \cdot 9,7 + 17220 \cdot 20}{49.100} = 13,9 \text{ öre/kWh}$$

REFERENSLISTA

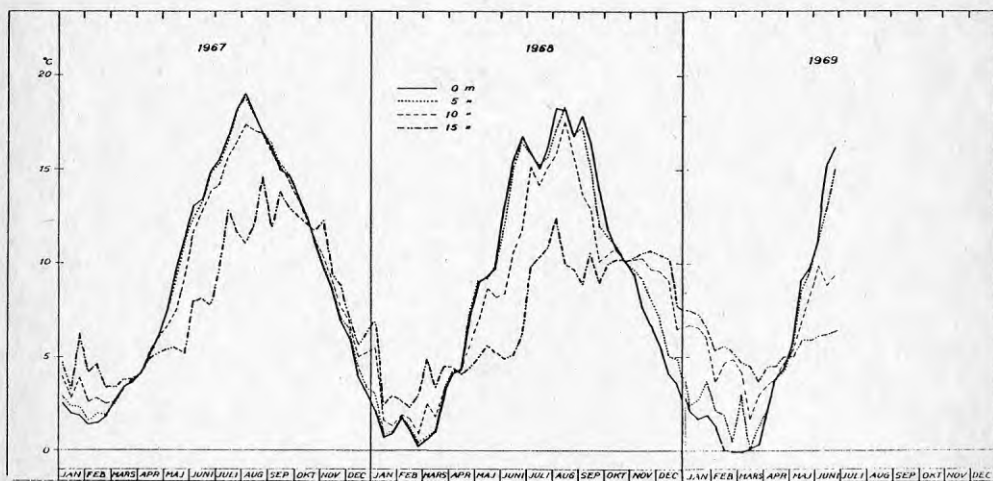
- (1) Vasseur B, Temperaturförhållanden i Svenska kustvatten. SMHI rapporter, Hydrologi och oceanografi, nr RHO 3, Stockholm 1975.
- (2) Moberg A, Mätningar av sjötemperaturer vid SMHI. SMHI rapport, Hydrologiska byrån, HB nr 45, Norrköping 1981.



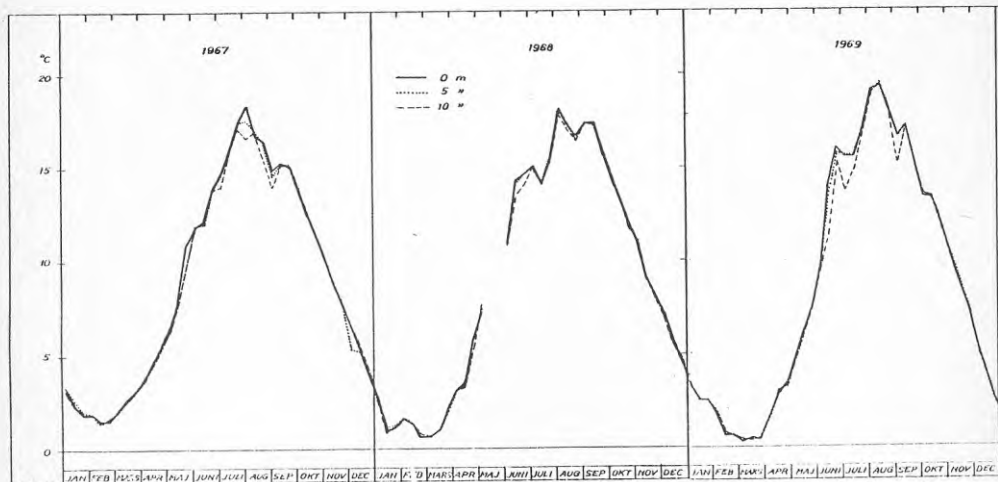
Vattentemperaturerna för Bornö (10-dygnsmedelvärden)



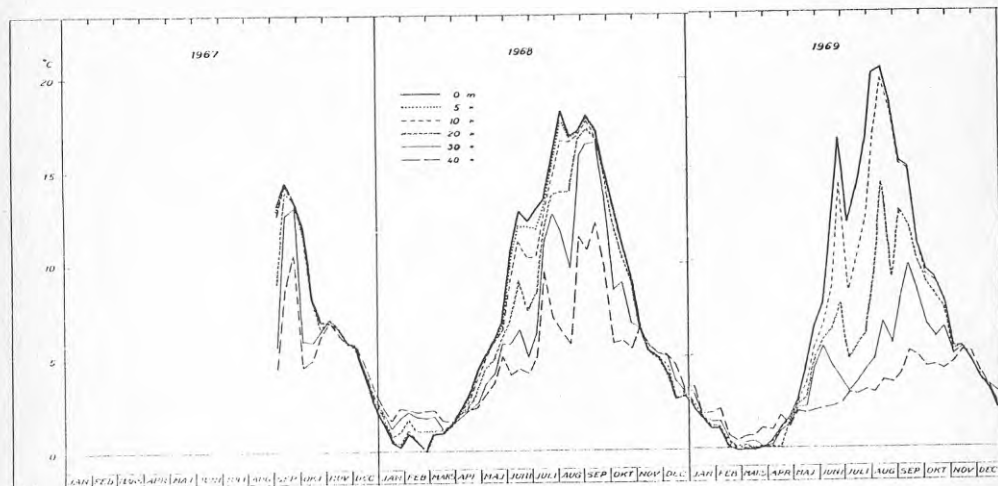
Vattentemperaturerna för Fladen (10-dygnsmedelvärden)



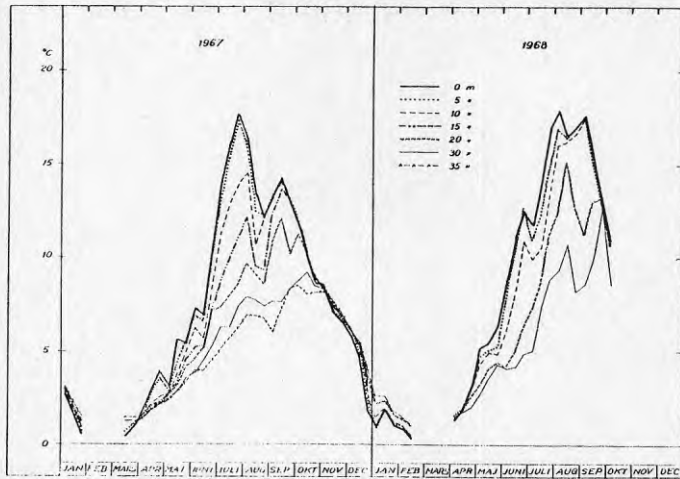
Vattentemperaturerna för Lappegrund (10-dygnsmedelvärden)



Vattentemperatur för Falsterborev (10-dygsmedelvärden)



Vattentemperatur för Landsort (10-dygsmedelvärden)



Vattentemperatur för Svenska Björn (10-dygnsmedelvärden)

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810072-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Bengt Dahlgren, AB,
Göteborg.**

R92: 1981

ISBN 91-540-3527-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700392

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 25 kr exkl moms