



STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Inverkan på returtemperaturen vid ackumulering av tappvarmvatten i abonnentcentraler

Sture Sikström

Inverkan på returtemperaturen vid ackumulering av tappvarmvatten i abonnentcentraler

Sture Sikström

Umeå Energi

**STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 6405 • 113 82 STOCKHOLM • TEL. 08/34 09 80**

December 1991

ISSN 0282-3772

**Inverkan på returtemperaturen vid
ackumulering av tappvarmvatten
i abonnentcentraler**

Förstudie

H7-812

UMEÅ ENERGI AB

Sture Sikström

H7-812 Inverkan på returtemperaturen av tappvarmvattenackumulering. Förstudie.

Sammanfattning

- 1 Inledning
- 2 Inverkan på produktionen
 - 2.1 Allmänt
 - 2.2 Värmepump
 - 2.3 Ackumulering
 - 2.4 KVV-produktion
- 3 Inverkan på distributionen
 - 3.1 Allmänt
 - 3.2 Pumpenergi
 - 3.3 Värmeförluster
 - 3.4 Distributionskapacitet
 - 3.5 Lågtempdistribution
 - 3.6 Servisledningar
- 4 Inverkan på abonnentcentraler
 - 4.1 Allmänt
 - 4.2 Alternativa systemlösningar
 - 4.3 Sekundärnät
- 5 Utvärdering
- 6 Litteraturstudie

SAMMANFATTNING

Inkoppling av fjärrvärmeabonnenter i svenska fjärrvärmesystem sker vanligen med s k 2-stegskoppling. Denna princip karaktäriseras av att uppvärmningen av varmvattnet är uppdelad på ett för- respektive eftervärmningssteg. Kopplingen leder till en lägre primär returtemperatur och därmed ett reducerat behov av primärvatten än vad som fås vid parallellkoppling, där varmvattnet växlas i endast ett steg.

Teoretiska studier, utförda av Olof Sandberg vid Umeå Universitet, visar att en sänkning av returtemperaturen kan erhållas genom ackumulering av tappvarmvattnet.

Föreliggande förstudie avser främst att belysa möjliga vinster inom produktions- och distributionssidan av en lägre primär returtemperatur.

Som exempel har valts Umeås fjärrvärmenät.

Analysen visar att vinsterna vid 5° sänkning av returtemperaturen kan uppgå till 3-6 kr/lev MWh, vilket motsvarar en möjlig investering i abonnentcentraler med 15-30 kr per kilowatt och grad.

1 Inledning

Inkoppling av fjärrvärmeabonnenter i Svenska fjärrvärmesystem sker vanligen med s k 2-stegskoppling. Denna princip karaktäriseras av att uppvärmningen av varmvattnet är uppdelad på ett för- respektive eftervärmarsteg. Kopplingen leder till en lägre primär returtemperatur och därmed ett reducerat behov av primärvatten än vad som fås vid parallellkoppling, där varmvattnet växlas i endast ett steg.

Inkopplingen av varmvattnet är i allmänhet direkt, vilket innebär att förrådsberedare ej används i undercentralerna.

I Sverige finns begränsad erfarenhet från förrådsberedare i fjärrvärmeundercentraler. Tekniken har dock använts utomlands i framför allt Danmark (ref 4, 12, 13) men även i Tyskland (ref 7, 9, 16).

Akkumulering av tappvarmvatten har en uppenbar fördel genom att dygnslasten utjämnas, vilket har stora produktionstekniska fördelar.

Teoretiska studier, utförda av Olof Sandberg vid avdelningen för tillämpad fysik vid Umeå Universitet indikerar dessutom att en lägre returtemperatur kan erhållas (ref 22).

Avsikten är att i en separat studie verifiera de teoretiska beräkningarna genom mätning och prov av olika kopplingsprinciper.

Små primärflöden, eller hög avkylningsgrad för primärvattnet är fördelaktigt bl a eftersom nätdimensioner kan reduceras, och att villkor för bl a värmepumpar som basproduktionsenheter förbättras.

Föreliggande förstudie avser främst att belysa möjliga vinster inom produktions- och distributionssidan av en lägre primär returtemperatur.

Som exempel har valts Umeås fjärrvärmeanläggning.

2 Inverkan på produktionen

2.1 Allmänt

En lägre returtemperatur till produktionsanläggningen innebär fördelar när det gäller att effektivt och ekonomiskt utnyttja lågtempererade värmekällor som spillvärme, solvärme etc eller återvinning av energi ur rökgaser vare sig det sker med eller utan nyttjande av värmepump.

2.2 Värmepumpsdrift

I Umeås fjärrvärmesystem finns en värmepump på 34 MW där värme tas från avloppsvatten och tillförs returvattnet från fjärrvärmenätet innan det värms upp ytterligare i huvudproduktionsanläggningen.

En sänkning av returtemperaturen innebär vid större belastningar att kondenseringstemperaturen i värmepumpen kan sänkas i motsvarande grad.

En sänkning av kondenseringstemperaturen med 5° från 65 °C till 60 °C vid en förångningstemperatur på 0 °C ger en förbättring av värmefaktorn med

$$\left(1 - \frac{333}{60} \times \frac{65}{338}\right) \times 100 = 6,7 \%$$

eller från 3,2 till 3,41.

Med ett elpris på 300 kr/MWh minskas produktionskostnaden med 5,8 kr/MWh.

I Umeås fall, med en värmepump på 34 MW och en årsproduktion från denna på ca 170 GWh, ger detta en årlig besparing med ca 1 Mkr eller 1,7 kr/lev MWh.

2.3 Lagringskapacitet i ackumulatorer

För fjärrvärmeverk med centralt placerad ackumulator bestäms lagringskapaciteten i denna av returtemperaturen.

5° sänkning av returtemperaturen innebär en kapacitetsökning på 10 % eller att ackumulatorstorleken kan minskas motsvarande.

I Umeås fall, med en ackumulator på 18 000 m³, innebär det en minskad anläggningskostnad på ca 1,8 Mkr motsvarande 0,4 kr/lev MWh.

2.4 KVV-produktion

Elutbytet i ett kraftvärmeverk är beroende av retur från och utgående temperatur till fjärrvärmenätet.

En planerad kraftvärmeproduktion i Umeå blir i storleksordningen 100 MW_v, 50 MW_{el}.

För olika fram- och returtemperaturer förändras elutbytet enligt följande för ett block på 50 MW.

	α
120/70	0,26
100/60	0,34
50/50	0,42

Om anläggningen utförs med seriekoppling av fjärrvärmekondensatorerna förbättras α -värdet för 1:a blocket.

En sänkning av returtemperaturen påverkar i första hand elutbytet för 1:a blocket. Om kraftvärmeverket ligger i serie med en topplastpanna förbättras även elutbytet för block 2 vid topplastkörning.

Överslagsmässigt kan förbättringen av elutbytet vid 5° sänkning av returtemperaturen beräknas enligt följande för block 1.

$$\alpha = \eta \times \frac{T}{T - T_0} \quad T = 525^\circ \quad T_0 = 105, 102,5^\circ\text{C}$$

$$(1 - \alpha) \times 100 = (1 - \frac{375}{420} \times \frac{422,5}{375,5}) \times 100 = 1,3 \%$$

Totalt kan förbättringen av elutbytet uppskattas till ca 1 % vid 5° temperatursänkning.

Med en beräknad produktion på 230 GWh el/år innebär detta en årlig ökning av elproduktionen med 2,3 GWh. Värdet av detta kan uppskattas till ca 500 kkr/år eller 0,85 kr/lev MWh värme.

3 Inverkan på distributionen

3.1 Allmänt

En sänkning av returtemperaturen från abonnenterna innebär att flödena i distributionsnätet minskar vid samma belastning.

I ett befintligt distributionsnät medför detta antingen fördelar på de lägre flödena eller att tillkommande utbyggnader kan sväljas av nätet.

3.2 Pumpenergi

I ett större system krävs ofta pumpkapacitet ute i nätet i form av pumpstationer som kan startas vid ökande flödesbehov. Av säkerhetsskäl måste även

reservkapacitet finnas tillgänglig för samtliga enheter. Redan vid relativt måttlig expansion av fjärrvärmesystemet ökar behovet av pumpkapacitet markant. Eftersom pumpar i allmänhet måste dubbleras av säkerhetsskäl samt dessutom måste kunna styras och regleras från en central anläggning, ligger stora kostnader här. Redan vid en 25 % ökning av energitransporten i systemet ökar behovet av pumpkapacitet med 60 % !! om inte avkylningen kan ökas.

En sänkning av returtemperaturen med 5° medför en flödesminskning med ca 8 % och en minskning av pumpenergin med 16 %.

Om denna utgör ca 1 % av levererad värme blir kostnadsminskningen vid ett elpris på 300 kr/MWh

$$0,01 \times 0,16 \times 300 = 0,5 \text{ kr/MWh}$$

Till detta kommer minskade kostnader för pumpinstallationer som grovt kan uppskattas till 0,2 kr/MWh.

3.3 Värmeförluster

En sänkning av returtemperaturen medför att värmeförlusterna minskar i distributionsnätet.

Värmeförlusten är i princip proportionell mot differensen mellan medelvärdet av fram- och returtemperatur och jordytans temperatur.

Minskningen i värmeförlust kan beräknas enligt följande.

framledningstemp	81°	(årsmedel)
returledningstemp	59°	"
jordytans temp	+ 3°	"
Sänkning av returledningstemp	5°	

$$\frac{81 + 59 - 5 - 3}{2} = 0,963 \quad 3,7 \% \text{ minskning}$$

$$\frac{81 + 59}{2} - 3$$

Med en "normal" värmeförlust på 7 % och en produktionskostnad på 200 kr/MWh blir kostnadsminskningen

$$200 | (1,07 - (1 + 0,07 \times 0,963)) | = 0,5 \text{ kr/MWh}$$

3.4 Distributionskapacitet

Vid låg avkylning begränsas energitransporten av den maximala flödeshastighet som kan uppnås i kulvertssystemet. Eftersom friktionsförlusterna vid strömning ökar med kvadraten på cirkulationsflödet blir strömning villkoren snabbt den begränsande faktorn för ökad energitransport i befintlig kulvert. I ett nät som kontinuerligt byggs ut i de yttre delarna uppstår ofta flödesbegränsningarna i äldre kulvertsträckor och matningsledningar. Man får därigenom begränsningar i distributionssystemet som medför extrakostnader för grövre kulvert och större pumpar. I Umeå utgör sträckan närmast Ålidhemsverket en relativt "trång" passage trots att ny kulvert med matning mot Lasarettet och centrala stan nyligen lagts. En ökad avkylning skulle senarelägga tidpunkten för behov av omdimensionerad kulvert.

3.5 Lågtemperaturdistribution

Primärnät

De flesta värmedistributörer strävar mot en sänkning av framledningstemperaturen i distributionsnäten.

Motiven kan vara olika t ex

- * Öka andelen lågtempererad produktion
- * Förbättra elutbytet vid KVV-produktion
- * Minska värmeförluster
- * Minska temperaturberoende rörelser och påkänningar i nätet

I befintliga nät begränsas dock möjligheten ofta av abonnentcentralerna, då en sänkning av framledningstemperaturen leder till en mer eller mindre stor höjning av returtemperaturen.

Detta leder till ett ökat flöde vid oförändrad belastning.

En utformning av abonnentcentralen som leder till en lägre returtemperatur förbättrar därvid möjligheterna att sänka framledningstemperaturen.

3.6 Servisledningar

Vid ackumulering av tappvarmvatten i abonnentcentralen minskar det maximala värmeeffektbehovet och primärflödet som är dimensionerande för servisledningen.

För ett nybyggt objekt på 56 lgh med 135 kW rad effekt och 2,3 l/s sannolikt tappvarmvattenflöde kan servisdimensionen minskas från 65 till 40 om tappvarmvatteneffekten vid ackumulering är 25 % av momentaneffekten.

För detta exempel innebär det en minskning av anläggningskostnaden med

$$20 \text{ m} \times (2\,000 - 1\,750) = 5\,000 \text{ kr}$$

eller ca 1,50 kr/MWh.

4 Inverkan av abonnentcentraler

4.1 Allmänt

Dygnsvariationer i uttagen värmeeffekt beror på såväl tids- som temperaturstyrda förlopp hos abonnenterna. Med hjälp av en central ackumulator kan man idag produktionsmässigt omfördela värme-lasten för att uppnå optimala produktionsvillkor. Vid tillfälliga driftstörningar eller haverier på distributionssystemet finns dock idag ingen reserv hos abonnenten utan störningar fortplantas snabbt till uppvärmningssystemet samt varmvattenförsörjningen där störningen snabbast upptäcks.

Vid beredskapssituationer kan det ibland vara nödvändigt att sektionera bort vissa delar av systemet till förmån för andra. Vid båda dessa situationer utgör förekomsten av varmvattenackumulator i abonnentcentralerna en störningsbegränsande faktor.

Med förfinade styrstrategier kan det också finnas möjligheter att använda ackumulatorer för att utjämna variationer i uttagen effekt till radiatorsystemen vid intermitterent uppvärmning i exempelvis affärscentra och större kommunala fastigheter.

4.2 Alternativa systemlösningar

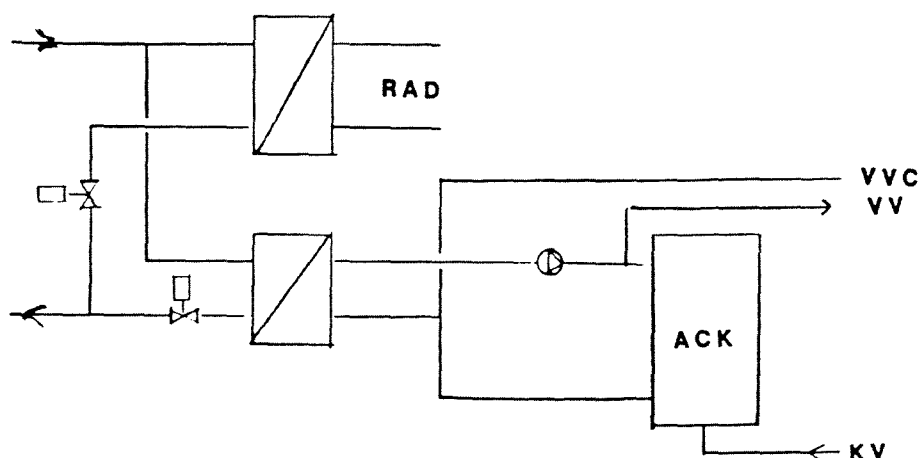
Akkumuleringen av varmvatten i fjärrvärmekopplade abonnentcentraler kan ske enligt två huvudprinciper beroende på om den ackumulerade volymen kan dimensioneras för att klara av hela dygnsbehovet eller ej.

I svenska abonnentcentraler förekommer både förrådsberedare och genomströmningsberedare. (Fredrikssen 1983). Förrådsberedare är dock vanligast hos små abonnenter, medan det hos stora i allmänhet inte finns tillräckligt med utrymme för att placera ackumulatorer i abonnentcentralerna, varför direktväxling i två eller tre steg tillämpas.

4.2.1 Ren ackumulering

A - Parallellkopplad laddningsväxlare - "System D"

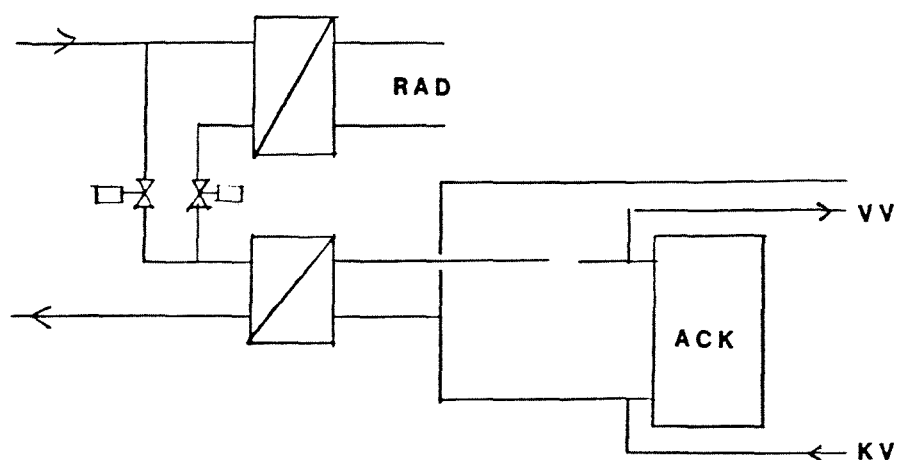
I detta fall förutsätts att den ackumulerade mängden varmvatten täcker hela dygnsbehovet och att maxeffekten kan tas ut så att direktberedning ej krävs för det aktuella behovet, utan enbart behövs för laddning.



Denna systemlösning har provats vid energiverket i Göteborg (Ref 1) och resultaten pekar på att den installerade effekten för varmvatten kan sänkas ner till 25 % av maxvärdet. Vid försöken noterades dock ingen sänkning utan snarare en höjning av den primära returtemperaturen, vilket bör poängteras.

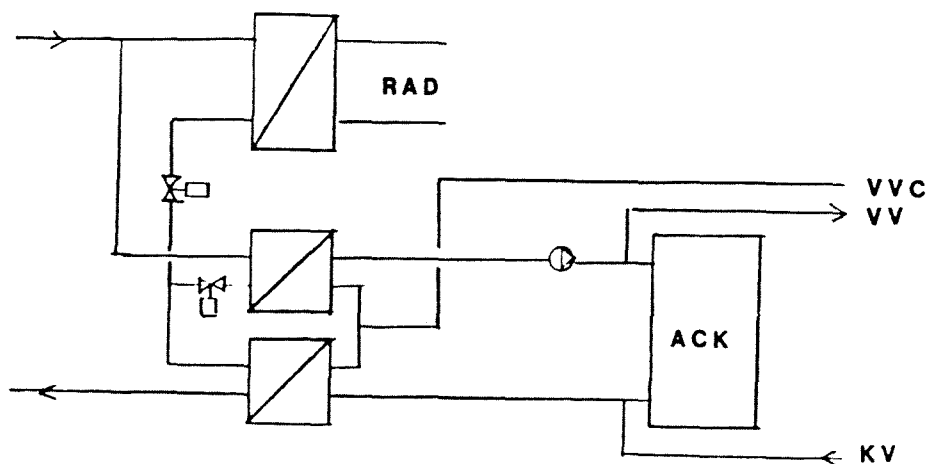
B - Tvåstegskopplad laddningsväxlare med/utan förvärmning

I detta fall placeras laddningsväxlaren (eller för- och eftervärmare) för varmvatten efter radiatorväxlaren i en typ av tvåstegskoppling.



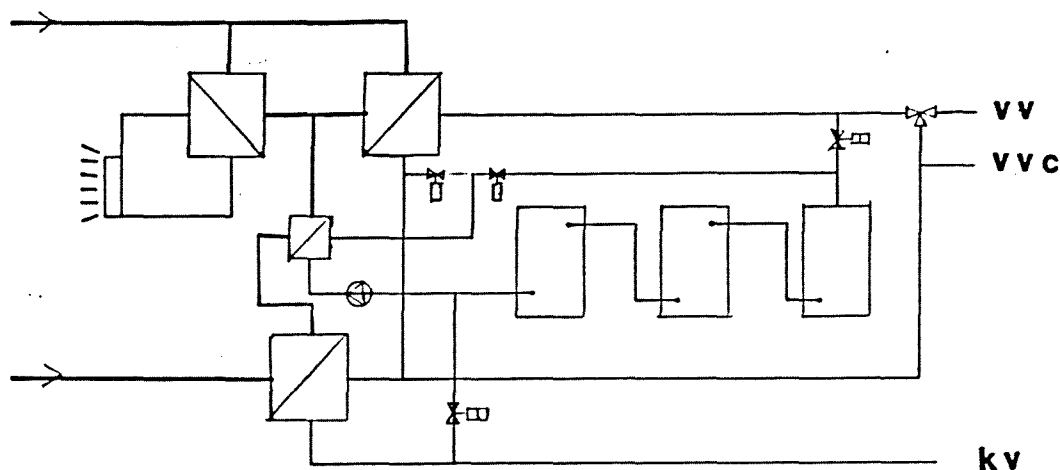
Om den primära temperaturen efter radväxlaren ej förmår höja utgående varmvatten till full temperatur sker påspädning med prima vatten till laddningsväxlaren. Under detta funktionssätt kan den betraktas som om den arbetar parallellt med radiatorväxlaren.

Om laddningen av varmvatten sker i två steg med för- och eftervärmare kopplas ackumulatorkretsen in parallellt med förvärmare, eftervärmare eller båda.



4.2.2 Beredning/ackumulering

Om den ackumulerade mängden vatten ej klarar dygnsbehovet måste en kombination av direktväxling och ackumulering tillgripas. Man kan i detta fall tänka sig att dimensionera laddningsväxlaren för maxbehovet eller för den påspädning som krävs om en del tas ur ackumulatorerna.



Denna systemlösning kommer att provas vid praktiska försök i Umeå i en abonnentcentral som försörjer ca 100 lägenheter. Anläggningen utföres även för att köras med normal 2-stegskoppling och för jämförande prov med systemlösningar enligt 4.2.1.

4.3 Varmvattenberedare i sekundärnät

I bostadsområden med en gemensam panncentral sker värmedistributionen ofta med en hetvattenkrets med shuntgrupper och varmvattenmagasinberedare ute i byggnaderna.

Vid anslutning till fjärrvärme av sådana objekt tillämpas olika utförande.

- 1 Omläggning av kulvert till primär kulvert och installation av abonnentcentral.
- 2 Central abonnentcentral med tappvarmvattenberedning och nybyggnad av tappvarmvattenkulvert.
- 3 Central abonnentcentral och tappvarmvattenväxlare och shuntgrupper ute i byggnaderna.

Alternativ 1 är den dyraste och mest drastiska lösningen, men den kan vara aktuell om t ex befintligt kulvertnät är dåligt och ändå måste bytas.

Alternativ 2 kan tillämpas om sekundärkulvertnätet är förhållandevis kort.

Alternativ 3 kan användas för större objekt med långa distributionsledningar.

Om sekundärnätet är snålt dimensionerat kan det i vissa fall bli svårt att klara momentaneffekterna för tappvarmvattenväxling enligt alternativ 3. I sådana fall skulle en ackumulering med laddningsväxlare ute i byggnaderna kunna vara ett alternativ.

I bilaga 1 redovisas ett exempel på en jämförelsekalkyl för ett bostadsområde.

5 Utvärdering

Denna förstudie belyser möjliga vinster inom produktions- och distributionssidan av en lägre primär returtemperatur.

Redovisade exempel och beräkningar hänför sig till fjärrvärmeanläggning, men bör vara generellt tillämpliga.

Möjliga vinster vid en sänkning av returtemperaturen med 5° kan anges enligt följande.

	Besparing/lev MWh
VP-drift	1,7 kV
Lagringskapacitet i central ackumulator	0,4 kV
Kraftvärmeproduktion	0,85 kV
Pumpenergi	0,7 kV
Värmeförluster	0,5 kV
Servisledning	1,5 kV
Sekundärnät	

Till detta kommer effekter som är beroende av de lokala förhållandena och svåra att generellt bedöma som t ex

Ökning av distributionskapaciteten eller alternativt möjlighet att sänka framledningstemperaturen

Beroende på hur fjärrvärmeproduktionen är uppbyggd kan en sänkning av returtemperaturen med 5 °C medföra en besparing med minst 3-6 kr/lev MWh.

Vid 15 års avskrivning och 5 % realränta motsvarar detta möjliga investeringar i abonnentcentralerna med 15-30 kr per kilowatt abonnerad effekt och grad temperatursänkning.

De vinster som förstudien visat är möjliga gör att det bör vara intressant att med fortsatta praktiska försök och mätningar dels verifiera de teoretiska beräkningarna om en möjlig temperatursänkning vid ackumulering och dels utvärdera vilka kopplingsprinciper och dimensioneringsgrunder som ger bästa ekonomi på installationen.

6 Referenser

- 1 Arvidsson, M. Fjärrvärme och varmvatten. VVS och energi 1989 nr 1, s 77-78, 1989.
- 2 Christiansen, J. Sammenlegging mellen højtemperatur- och lavtemperatur-varmeanlæg. SBI-rapport 172. Statens byggeforskningsinstitut 1986.
- 3 Christiansen, J. Produktion og distribution af varmt brugsvand i et lavtemperatur-varmeanlæg. SBI-rapport 173. Statens byggeforskningsinstitut 1986.
- 4 Decentrale bufferttanke i fjernvarmenet. Projektrapport 34. Danske fjernvarmeværkers forening 1985.
- 5 Fredrikssen, S och Wollerstrand, J. Driftkarakteristikor för parallell- och 2-stegskopplade fjärrvärme-abbonentcentraler. BRF Rapport 1987.
- 6 Forsnäs, H R och Gunberg, A. Varmvattenberedare och pannstorlekar vid varmvattenberedning i bostadshus. VVS 27 (1956):2, p 26-33.
- 7 Hagermann, H. Brauchwassererwärmerkombination, bestehend aus Wärmetauscher und Speicher (System D). Fernwärme international - FWI 6 (1977):5.
- 8 Hansen, U. Fjernvarmetilsutningsanlæg, vejledning for VVS-installatører. Projektrapport 26.2. Danske fjernvarmeværkers forening 1984.

- 9 Hollander, W. Brauchwassererwärmung mit Fernwärme. Fernwärme international - FWI 2 (1973):6.
- 10 Hollander, W. Zweikreis-Warmwasserbereiter mit wechselnder Umspülung der Heizflächen. Heiz-Luft-Haustechn. 20 (1969):4.
- 11 Kremer, R. Zentrale Warmwasserbereitung nach dem Zweikreisprinzip bei der Fernheizung. Sanitär- und Heizungstechnik (1971):3.
- 12 Lawaertz, H. Brugerinstallationer til fjernvarme, gennemstrømningsvandar - mere med forrådsbeholder. VVS 20 (1984):7/8, p 6-10, 42-44.
- 13 Lawaertz, H. Brugerinstallationer, udvikling af buffertank og måling på tilsutningsanlæg. Projektrapport 21.2. Danske fjernvarmeværkers forening 1986.
- 14 Morgenstern, M. Vandvarmere, prøvning af varmvandsbeholdere og gennemstrømningsvandvarmere. Projektrapport 21.1. Danske fjernvarmeværkers forening 1985.
- 15 Olsson, M-I och Tillman, T. Datorprogram för simulering av värmesystem med ackumulatortank. Chalmers tekniska högskola. Avd för installationsteknik Examensarbete E25:1981.
- 16 Schmitler, W. Rücklaufauskühlung in der Fernwärme - Fernwärmekomplektstationen für Ein- bis Vierfamilienhäuser. Fernwärme international - FWI. 11 (1982):5.
- 17 Schröder, M. Brugsvandbeholder for solfangere, fjernvarme, och varmegenvindning for Koleanlæg. VVS 15 (1979):2, p 52-56.
- 18 Simmons, T. Rationell utformning av varmvattenberedare. VVS 27 (1956):4, p 70-75.
- 19 Stenberg, P. Aspekte und Tendenzen bei der Entwicklung von Hausanschlussstationen. Stadt- und Gebäudetechnik 40 (1986):1.
- 20 Stenberg, P. Hausanschlussstationen nach dem Warmwasser-Durchflussprinzip mit Spitzenspeicherung. Stadt- und Gebäudetechnik 40 (1986):2.
- 21 Torisson, T, Persson, C-G, Molin, J, Carlsson H, Jönsson, L och Nilsson, R. Distributionsnät från gruppcentral. Riktlinjer för dimensionering, funktion och drift. Statens råd för byggnadsforskning. Rapport R60:1985.

- 22 Sandberg, Olof. Sänkning av primär returtemperatur i Umeå fjärrvärmesystem. Projektbeskrivning 88-01-29. Intern rapport. Avd för Tillämpad Fysik, Umeå Universitet.

Alternativ anslutning - räkneexempel**Förutsättningar**

Befintligt bostadsområde med fyra punkthus å
2 500 m².

Gemensam värmecentral med distribution av hetvatten till undercentraler med shuntgrupp och magasinberedare i varje byggnad. Kulvert förlagd mellan byggnaderna, 3 x 40 m, och i källare, 2 x 15 m, totalt 150 m.

Alternativ för fjärrvärmecentral

- 1 Primärledning till resp byggnad och fyra abonnentcentraler.
- 2 Gemensam abonnentcentral i en byggnad. Ny tappvarmvatten- och VVC-kulvert.
- 3 Gemensam abonnentcentral. Tappvarmvattenväxlare sekundärt inkopplade.
- 4 Gemensam abonnentcentral. Tappvarmvattenväxlare med ackumulering sekundärt inkopplade.

En översiktlig kalkyl över anläggningskostnaden för resp alternativ ger följande utfall.

	Alt	1	2	3	4
Abonnentcentral		350	200	170	170
Primärkulvert		225			
Varmvtn kulvert			200		
Sek varmvtn växlare				200	
Sek varmvtn växlare + ackumulator					220
		625	400	370	390

Vid jämförelse av alternativen skall även beaktas kostnaden för underhåll samt för alt 2-4 för förnyelse av befintlig sekundärvärmekulvert.

Därtill kommer värdet av ev skillnad i returtemperatur för alternativen.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk Forskning och utveckling. Stiftelsens forskningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Kraftverksföreningens utvecklingsstiftelse, VAST
- Statens Vattenfallsverk
- Studsvik Energiteknik AB
- Svenska Cellulosa- och Pappersbruksföreningen/Ångpanneföreningen
- Svenska Gasföreningen
- Svenska Värmeverksföreningen
- Tillverkande Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Råd för Byggnadsforskning (BFR), Statens Energiverk och Styrelsen för Teknisk Utveckling.