

SMÅ VÄRMEKÄLLOR

RAPPORT 2016:289



Små värmekällor

Kunden som prosument

GUNNAR LENNERMO

PATRICK LAUENBURG

LISA BRANGE

ISBN 978-91-7673-289-2 | © 2016 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Att ta tillvara på värmekällor som annars skulle gå till spillo är en av fjärrvärmens paradgrenar. Hittills har främst större spillvärmekällor från exempelvis industrin tagits tillvara men det finns stor potential för att i högre grad än idag även ta tillvara lokal, småskalig värme i fjärrvärmenäten. Detta projekt har tittat på hur det går att ansluta dessa små värmekällor i större utsträckning, då värmeöverskott föreligger, genom att ta fram olika koncept för detta för att underlätta den tekniska inkopplingen. Den affärsmässiga delen har inte hanterats här men är förstås en viktig del för att få en ökad prosumentsmarknad – det vill säga fjärrvärmekunder som även levererar sin överskottsvärme till näten. En ökad andel prosumenter ger fördelar för både fjärrvärmebolaget som kan undvika annan produktion, och för kunden som kan få betalt för värmen som annars hade gått till spillo.

Projektet har genomförts av Gunnar Lennermo på Energianalys AB samt Patrick Lauenburg och Lisa Brange på Institutionen för Energivetenskaper på Lunds Universitet.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Niklas Lindmark från Gävle Energi AB (ordförande), Vinco Culjac på Ystad Energi AB, Arne Andersson på Ronneby Miljö & Teknik AB, Peter Dannbring på ÅF, Axel Johansson på Landskrina Energi AB, Ingvi Thorkelsson på Landskrona Energi AB, Ann Björnsjö tidigare på Norrenergi och numera på Telge, Roland Jonsson på HSB, Per Sommarin på Swerea, Martin Råberg på Sweco, Peter Sivengård på Fortum, Jessica Englund på E.ON samt Patric Jönnervik på Jönköping Energi AB. Även Lina Enskog Broman på tidigare Svensk Fjärrvärme, numera Energiföretagen Sverige, har deltagit i referensgruppen.

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av Svensk Fjärrvärme och Energimyndigheten. Forskningen inom Fjärrsyn ska stärka fjärrvärme och fjärrkyla, uppmuntra konkurrenskraftig och affärs- och teknikutveckling och skapa resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem till nytta för fjärrvärmebranschen, kunderna, miljön och samhället i stort.

Jan Berglund
Ordförande för Svensk Fjärrvärmes teknikråd

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Fjärrsyns styrelse eller Svensk Fjärrvärme har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

Det finns stor potential att ta tillvara lokal, småskalig värme i fjärrvärmesystemen. Små värmekällor kan utgöras av industriell restvärme, solvärmeanläggningar, krematorier och olika sorters kylmaskiner i lokaler, idrottsanläggningar och butiker. Prosument är ett begrepp som blir allt vanligare för att beskriva en fjärrvärmekund som både köper och säljer fjärrvärme. Fjärrvärmeföretagens egna topplast- eller reservpannor är också intressanta ur denna rapports perspektiv som behandlar hur inmatningen av värme från en prosument till fjärrvärmenätet görs på bästa sätt.

Många mindre värmekällor har uppvisat problem med pendlingar i inmatad effekt och flöde. Detta kan ha direkt negativ inverkan på värmekällans prestanda – exempelvis genom att solfångare får lägre värmeutbyte. I ett framtida scenario där små värmekällor står för ett betydande bidrag till fjärrvärmen, måste lokal värmeinmatning fungera tillfredsställande. Denna studie har syftat till att undersöka varför det uppstår pendlingar i inmatningssystemen och vad som kan göras för att dessa ska undvikas.

De två vanligaste varianterna för lokal inmatning är retur/retur (R/R) och retur/fram (R/F) vilket innebär att fjärrvärmevatten tas från returledningen, värms av den lokala värmekällan och matas tillbaka in i fjärrvärmesystemets retur- respektive framledning. R/R är mindre komplicerad men behäftad med fler nackdelar, framför allt att den höjer returtemperaturen i fjärrvärmesystemet. R/F är det inkopplingssätt som förefaller vara mest användbart men som samtidigt är mer komplext att reglera.

Det är i R/F-system som pendlingar i inmatningen påträffats och skälet är att regleringen inte lyckats ta hänsyn till att det största tryckmotstånd som ska övervinnas i inmatningen är fjärrvärmenätets differenstryck. Differenstrycket beror inte av inmatningsflödets storlek vilket får till följd att när denna tryckskillnad är övervunnen av inmatningssystemet blir flödet väldigt lätt för stort. Ju större differenstryck och ju mindre anläggning desto större är risken för detta förlopp.

Grundprincipen, som kan tyckas självklar, är att den inmatade effekten ska vara lika stor som den tillgängliga. Om inte ett värmelager används, vilket är mindre önskvärt av praktiska och ekonomiska skäl, kan detta åstadkommas på två olika sätt: antingen med ett flödesreglerat eller med ett temperaturreglerat system.

I ett flödesreglerat system ska det inte finnas någon kortslutningsledning (shunt) mellan retur- och framledningen. Det inmatade flödet ska styras med inmatningspumpen med eller utan hjälp av en 2-vägsventil som ligger i serie med pumpen.

I ett temperaturreglerat system ska det finnas en kortslutningsledning som aldrig får stängas. Stängs den blir det ett flödesreglerat system och det ställer helt andra krav på styrningen av inmatningspumpen. Inmatningspumpens varvtal styrs efter en börvärdeskurva där ärvärdet utgörs av differenstrycket. Eftersom differenstrycket är relativt stort och konstant (ur ett kortsiktigt perspektiv) så är det enklare att balansera det inmatade flödet med en tvåvägsventil än en trevägsventil i kortslutningsledningen.

Värmekällor som kräver en given returtemperatur eller som inte kan lyfta hela temperatursteget kan med fördel anslutas temperaturreglerat medan värmekällor som ska arbeta vid så låg temperatur som möjligt eller kylas så långt det går bör anslutas flödesreglerat, eventuellt med en temperaturreglerad uppstart.

Summary

There is a huge potential to supply district heating systems with heat from small, distributed sources such as industrial surplus heat, solar thermal systems, crematories and cooling machines in offices, sport facilities and grocery stores. Prosumer is a concept that is becoming more and more common in order to describe a district heating customer that both buys and sells district heat. The district heating companies own peak load and reserve boilers are also interesting from the point of view of this study which deals with how feed-in of heat into the district heating network from a prosumer best is done.

Many small heat sources have shown problems with variations in the feed-in flow. This can have a direct negative influence on the heat source's performance – e.g. solar collectors. In a future scenario where distributed generation makes up a significant contribution to district heating, local feed-in must function satisfactorily. The objective of this study has been to examine why there are variations in the feed-in systems and how they can be avoided.

The two most common variants of local feed-in is return/return (R/R) and return/supply (R/S) which means that district heating water is withdrawn from the return pipe, heated by the local heat source and then fed back into the district heating system's return or supply pipe. R/R is less complex but has several drawbacks, mainly that it increases the return temperature in the district heating system. R/S is generally the more applicable choice but it is also more complex to control.

It is in R/S systems that variations in feed-in flow have been observed and the reason is the control system's inability to account for that the largest pressure resistance to be overcome in the feed-in circuit is the differential pressure in the district heating network. The differential pressure is not dependant of the feed-in flow which means that once this pressure difference is overcome, the feed-in flow easily becomes too big. The bigger the differential pressure and the smaller the local heat source the bigger the risk for this course of events.

The basic principle, which is rather obvious, is that the feed-in heat power must match the available heat power. Unless a storage is used, which is generally to be avoided for practical and economic reasons, this can be done in two different ways: either through a flow-controlled or a temperature-controlled system.

In a flow-controlled system no short circuit flow (shunt) is used between the return and supply pipe. The feed-in flow is controlled by the feed-in pump with or without assistance from a two-way valve in series with the pump.

In a temperature-controlled system there is a short circuit pipe which must never be closed, or else it will work as a flow-controlled system. The speed of the feed-in pump is controlled via a setpoint curve with the differential pressure used as input. Since the differential pressure is relatively big and constant (from a short time perspective), it is easier to balance the flow using a two-way valve rather than a three-way valve in the short circuit.

Heat sources which demand a given return temperature, or which cannot increase the temperature the whole way can be connected using temperature-control while heat sources which shall work with a temperature as low as possible or be cooled as far as possible can be connected using flow-control, possibly with a temperature-controlled start-up phase.

Innehåll

1	Inledning	10
1.1	Syfte och mål	10
1.2	Problemformulering	10
1.2.1	Låg värmeproduktion	11
1.2.2	Krav från fjärrvärmesystemet	11
1.2.3	Flödes- och effektvariationer	12
1.3	Avgränsningar och definitioner	12
2	Metod	13
3	Decentralisering av fjärrvärme	14
3.1	Begreppen prosumenter och små värmekällor	14
3.2	Drivkrafter	15
3.3	Typer av små värmekällor	16
3.4	Inkopplingsprinciper	16
3.4.1	Central respektive decentraliserad inkoppling	16
3.4.2	Sekundär respektive primär anslutning	17
3.4.3	Anslutning av både sekundärt och primärt i serie eller parallell	18
3.4.4	Primärinkopplade system	19
3.5	Kända exempel	20
3.5.1	Små värmekällor baserade på solvärme	21
3.5.2	Andra decentraliserade anläggningar i Sverige	21
3.5.3	Exempel från Danmark	21
3.5.4	Exempel från Tyskland	22
3.5.5	Exempel från Österrike	22
4	Tekniken för inmatning	23
4.1	Problem med svängande inmatningseffekt	23
4.2	Inmatningspumpens arbete	24
4.2.1	Tryckfallet i inmatningscentralen	25
4.2.2	Tryckfallet i servisledningen	27
4.2.3	Fjärrvärmenätets differenstryck	28
4.2.4	Val av pump	32
4.2.5	Tryckfall inlagda i en pumpkurva	32
4.3	Systemalternativ	35
4.3.1	Beteckningar	35
4.3.2	Variant 1, Pump + 3-vägsventil med mätfläns	36
4.3.3	Variant 2, Pump + 3-vägsventil och differenstrycksgivare	39
4.3.4	Variant 3, pump + 2-vägsventil	43
4.3.5	Variant 4, pump + två 2-vägsventiler	45
4.3.6	Andra systemvarianter	46

4.3.7	Användning av värmelager eller ackumulatortank i inmatningssystem	51
5	Resultat	54
5.1	Reglerstrategier	54
5.1.1	Bestämning av producerad effekt	54
5.1.2	Kontroll av den inmatade effekten	54
5.1.3	Kortslutningskrets	56
5.1.4	Temperaturreglerat inmatningssystem	57
5.1.5	Flödesreglerat inmatningssystem	64
5.1.6	Seriekopplad inmatning, sekundärt och primärt	68
5.1.7	Parallellkopplad inmatning, sekundärt och primärt	70
5.2	Olika värmekällors karakteristik	71
5.2.1	Förbränningspannor	71
5.2.2	Solvärme	72
5.2.3	Värmepumpar/kylmaskiner	73
5.2.4	Värmeåtervinning från processer	74
5.2.5	Geotermiskt hetvatten	75
5.3	Påverkan på nätet	75
5.3.1	Beräkningsexempel	76
6	Rekommendationer och slutsatser	79
6.1	Beslut 1 – primärt eller sekundärt	80
6.2	Beslut 2 – Typ av primärinkoppling	81
6.3	Beslut 3 – Val av inmatningssystem för en R/F-inkoppling	82
6.4	Övriga beslut	83
7	Diskussion	86
8	Referenser	87

1 Inledning

Denna rapport är resultatet av ett forskningsprojekt som finansierats av Fjärrsyn med medel från Svensk Fjärrvärme och Energimyndigheten. Energianalys AB och Institutionen för Energivetenskaper vid Lunds universitet har utfört projektet.

Projektet avser att förbättra och underlätta användningen av små värmekällor som finns hos befintliga, eller tilltänkta, fjärrvärmekunder. Av olika skäl kan kunden under vissa tider ha ett värmeöverskott som överstiger det egna behovet. Detta värmeöverskott skulle kunna levereras till fjärrvärmesystemet givet att tekniska och affärsmässiga villkor kan uppfyllas.

Inkoppling av annan värmetillförsel än de som finns i de centrala värmeproduktionsanläggningarna kan både öka resurseffektiviteten i fjärrvärmesystemen och kundnyttan. Svensk fjärrvärme har även i programbeskrivningen för Fjärrsyn slagit fast att fjärrvärmesystemet ska ta tillvara lokala värmekällor såsom solvärme och överskottsvärme från byggnader och industrier (Svensk fjärrvärme, 2013).

1.1 SYFTE OCH MÅL

Det centrala målet för projektet är att ta fram ett koncept för hur värme kan tillföras fjärrvärmesystemet decentraliserat, genom små värmekällor. Med koncept menas en tekniks layout, systemschema, inkluderat en grundprincip för hur regleringen ska göras. Detta mål kan delas i några delmål som att:

- Utarbetning av några reglerprinciper för inmatningsanläggningar samt test av någon av dessa i befintliga anläggningar.
- Identifiera olika decentraliserade värmekällor och ge förslag på lämplig eller lämpliga reglerprinciper för inmatning av värme från dessa utifrån basförslagen på reglerprinciper.
- Identifiera variationen i differenstryck i anslutningspunkten och hur detta kan identifieras vid en ny anslutningspunkt utan mycket mätutrustning. Det saknas idag kunskap om det är kundens fjärrvärmecentral som ger störst problem med variationer i differenstryck eller om det är större variationer som kommer från fjärrvärmenätet, från leverantörens pump- och styrutrustning eller andra kunder.
- Redovisning av hur en inmatningsanläggning ska ta hänsyn till variationen av differenstrycket och hur det påverkar dimensioneringen samt hur valet av reglerprincip påverkar vilken hänsyn som måste tas till differenstrycket.
- Framtagning av en metod för att på ett enkelt sätt ta fram det underlag avseende differenstryck som behövs för att kunna få till en bra reglering. Ett enkelt test med inmatningspumpen, som ger flöde i förhållande till tryckuppsättning/varvtal och ventilers öppningsgrad som ger relevanta data vid installationen så att inställning av reglervariabler kan göras.

1.2 PROBLEMFORMULERING

Med utgångspunkt i de anläggningar som finns idag som kan anses utgöra exempel på små värmekällor eller prosumenter (se nästa avsnitt för närmare beskrivning av begreppen) kan några teknikområden pekas ut som särskilt utmanande, både för själva värmekällan respektive fjärrvärmesystemet.

Även om detta projekt tar sin utgångspunkt i solvärme så vill vi betona att målsättningen är att nå generellt realiserbara resultat, alltså tillämpbart på all form av decentraliserad värmeförsörjning. Variationen i solfångarnas värmeproduktion med en relativt stor andel låg och medelhög värmeförsörjning, gör att solvärmens kan betraktas som ett "worst case" i detta sammanhang.

1.2.1 Låg värmeproduktion

Vissa värmeproducerande anläggningar får en sämre verkningsgrad om arbetstemperaturen stiger. För en solvärmeanläggning så sjunker värmeproduktionen med stigande medeltemperatur så länge som en tillräckligt hög temperatur kan levereras. Den maximalt utmatade temperaturen (framledningstemperaturen) ges av instrålad effekt och omgivningstemperaturen vid solfångarna. Om den önskade temperaturen ligger över vad solfångarna kan leverera så blir verkningsgraden noll.

För att få en så stor värmeleverans som möjligt från en solvärmeanläggning så ska medeltemperaturen vara så låg som möjligt. I vissa typer av solfångare är det en fördel om flödet är turbulent i absorbatoren vilket i sin tur ställer krav på flöden och flödesvariationer. Om flödet ska hållas lågt och variabelt för att få en lägre medeltemperatur eller om det är en fördel med högre flöde för att kunna ha turbulent flöde, för att få bättre verkningsgrad, är en viktig fråga men den berörs inte här.

I (Dalenbäck, et al., 2013) så finns relativt många av de decentraliserade primärinkopplade solvärmeanläggningarna redovisade och värmeproduktionen är i princip i alla anläggningar lägre än förväntat. Anledningar till detta hanterades inte i rapporten men en möjlig förklaring är att solvärmeanläggningar har haft för hög arbetstemperatur på grund av bristfällig reglering. Ett annat skäl är eftersatt tillsyn vilket har föranlett driftsavbrott.

1.2.2 Krav från fjärrvärmesystemet

Fjärrvärmeföretag bör ställa tekniska krav på småskalig inmatning till ett fjärrvärmenät. Det mest uppenbara kravet rör att temperaturen på det inmatade flödet håller erforderlig temperatur. En intressant diskussion är om man kan tillåta inmatning av flöde till framledningen som håller en lägre temperatur än den rådande. I allmänhet accepteras inte det. Många gånger är dock framtemperaturen klart högre än vad de flesta kunder behöver och temperaturnivån motiveras istället av fjärrvärmenätets begränsade flödeskapacitet. Då inmatning från små värmekällor ofta sker lokalt, inte sällan i perifera nätdelar, är det sannolikt ofta oproblematiskt att mata in flöde med en något lägre temperatur. På så sätt gynnas ofta effektiviteten hos den lokala värmekällan. För att få en fullständig klarhet i frågan behöver det aktuella fallet studeras. För en fördjupning i hur de lokala driftsparametrarna i nätet påverkas hänvisar vi till en tidigare studie (Brand, Calvén, Englund, Landersjö, & Lauenburg, 2014).

Självva det faktum att vi hanterar små värmekällor gör att påverkan på fjärrvärmenätet i allmänhet är mycket liten. De flödespendlingar som har noterats i de flesta anläggningar märks ofta överhuvudtaget inte alls i den centrala fjärrvärmeanläggningen. Dock har vi under detta projekt sett sådana fall men då är det tveksamt om det fortfarande är motiverat att tala om "små" värmekällor. Problematiken är likväl intressant, i synnerhet ur ett framtida perspektiv med större inslag av små, decentraliserade, värmekällor.

1.2.3 Flödes- och effektvariationer

Den främsta anledningen till att värmeproduktionen är lägre än förväntat i studerade solfångaranläggningar förefaller vara att det råder stora variationer i inmatningsflödet. Förutom reducerade verkningsgrad så kan detta ha negativ påverkan på fjärrvärmesystemet. Om inmatningsflödet från den decentraliserade värmekällan är stor i förhållande till huvudflödet i anläggningen så backar huvudpumparna mycket vilket i sin tur påverkar den huvudsakliga värmeproducenten i fjärrvärmenätet. Om denna exempelvis är en biobränslepanna så är reglerbarheten låg framför allt om mycket bränsle finns i pannan.

Ju viktigare det blir att hålla rätt temperatur desto svårare blir det att samtidigt upprätthålla ett jämt flöde vilket i sin tur ger en jämn värmeeffektleverans. På så vis kan man tala om en konflikt mellan att hålla rätt temperatur, liten flödesvariation och liten effektvariation.

1.3 AVGRÄNSNINGAR OCH DEFINITIONER

I detta projekt hanteras de tekniska aspekterna av att ansluta små värmekällor till ett fjärrvärmenät. Vid sidan av tekniska utmaningar finns en rad frågeställningar av mer affärsmässig natur, såsom prismodeller och avtalsformer, som emellertid inte ligger inom ramarna för detta projekt. Det är väsentligt att dessa frågeställningar utreds framgent för att främja en utveckling med mer decentraliserad fjärrvärmeproduktion.

Vi använder ingen strikt definition av små värmekällor utan avser framför allt så små lokala värmeproduktionsanläggningar att de inte påverkar den centrala värmeproduktion nämnvärt samt inte heller ger upphov till en tryckkon på fjärrvärmenätet. Detta resonemang utvecklas i nästa kapitel tillsammans med begreppet prosumenter.

Vidare ligger fokus på så kallad Retur/Fram-(R/F)-inkoppling av värmekällan till fjärrvärmenätet, vilket betyder att fjärrvärmevatten tas från returledningen, värms upp via lokal värmetillförsel och tillförs till framledningen med fullgod, eller, om systemet tillåter, något lägre temperatur. Andra alternativ behandlas kortfattat.

2 Metod

I stora delar sammanfattar detta arbete erfarenheter och ett utvecklingsarbete som har pågått i mer än 15 år. En av författarna (Lennermo) har medverkat i konstruktion och driftsättning av samtliga fjärrvärmeanslutna solvärmeanläggningar i Sverige under perioden. Det finns många fler aktörer som har medverkat i alla dessa projekt men det finns nästan inga publikationer som dokumenterat utvecklingen. När nu flera anläggningar har blivit lite äldre och underhållsbehovet ökar, i kombination med nyfunna insikter om problem med ojämn inmatning, har det varit nödvändigt att genomlysna detta teknikområde.

Arbetet har till stor del bedrivits som fältarbete, där många olika anläggningar ingått. Mätdata har inhämtats och analyserats och experiment har utförts på plats. En annan viktig del av arbetet är insamling av kunskap och erfarenhet via kontakter med tillverkare av komponenter.

Tidigt i projektet lades en hel del arbete på att genomföra mätningar av fjärrvärmenätets differenstryck vid olika inmatningspunkter. Det fanns en farhåga om att kraftiga variationer i differenstrycket utgjorde en huvudorsak till bristfällig inmatning. Differenstrycksmätningar gjordes på tolv platser i nio olika fjärrvärmenät med en portabel mätutrustning. Mätningarna är gjorda där det finns en primärinkopplad solvärmeanläggning. På några ställen har nya anslutningar svetsats in medan det på andra har funnits exempelvis avtappnings- eller luftningsventiler som har kunnat användas. Mätningarna har gjorts med differenstrycksgivare från Regin, DTK. Två olika tryckgivare har använts – en med ett mätområde på 4 bar och en på 10 bar. Utsignalen har kopplats till en datalogger som även har tagit in temperaturvärden från två anläggningstemperaturgivare av typ PT1000 från KTC.

I Figur 12, Figur 13 och Figur 18 är bilder, skärmdumpar, från den portabla mätutrustning som används. I tecken förklaringen i bilden står det "GT-FJV retur °C" samt "GT-FJV tillopp °C" vilket endast hänvisar till givarnas beteckningar. Eftersom det är flyttbara givare så har det för dessa 3 figurer används i solvärmekretsen på varm ledning (tillopp) och kall ledning (retur).

Då en viktig utgångspunkt var egna erfarenheter av småskalig inmatning från solvärmeanläggningar var det viktigt att även inhämta erfarenheter från andra små värmekällor. Det gjordes genom studiebesök och i viss mån även genom erhållen driftsdata. Det visade sig dock problematiskt att dels hitta små värmekällor där vi kunde få detaljerad information och driftsdata, i synnerhet av den upplösning som är nödvändig för att identifiera svängningar i inmatningen. Det är exempelvis inte möjligt att påvisa att en inmatning inte fungerar optimalt utifrån månadsvis data, knappt ens utifrån timvis data, annat än om mängden inmatad värme är alltför låg.

Flödestester med ändringar av pumpvarvtal har gjorts i ett par anläggningar samt en flödestest med ventilstyrning. Ändringen och kompletteringen av reglersystemet för Noisun i Lerum gav mycket erfarenhet. En anläggning där ett nytt reglerkoncept skulle provas blev tyvärr inte byggd gör att vissa data inte kunde tas fram under projektiden.

Då området för små värmekällor och prosumenter är relativt nytt och litet i omfattning gjordes en litteraturstudie och allmän beskrivning av konceptet – vad det innebär för fjärrvärmetekniken, vilka drivkrafter som finns för en ökad användning, vilka anläggningar som finns samt vilka principiella inkopplingsalternativ som förekommer.

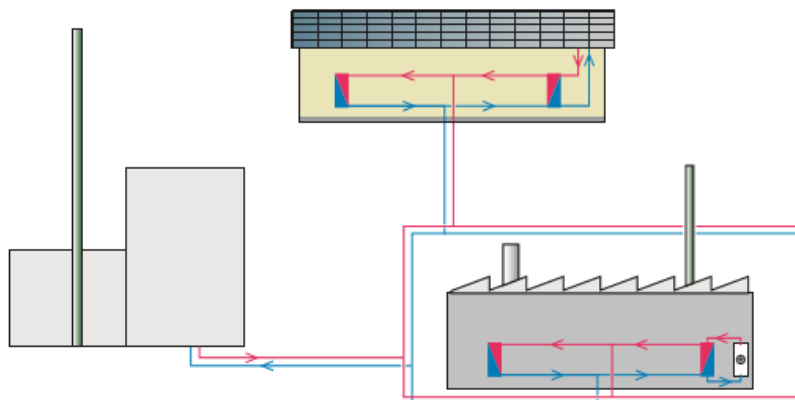
3 Decentralisering av fjärrvärme

Det är känt att det finns outnyttjad potential för mer industriell restvärme i de svenska fjärrvärmesystemen och att denna i hög grad resulterar i lägre koldioxidutsläpp (beroende på vilken annan värmeförsörjning som ersätts) och förbättrad resurseffektivitet (Broberg Viklund & Johansson, 2014) (Broberg, et al., 2012). I detta arbete är överskottsvärme från mindre aktörer i fokus.

3.1 BEGREPPEN PROSUMENTER OCH SMÅ VÄRMEKÄLLOR

Prosumenter är ett ord som lånats av engelskans prosumer. Detta ord är i sin tur sammansatt av orden producer och consumer för att beskriva en aktör som både köper och säljer el. Ordet har blivit vanligare i denna betydelse först på senare år, tidigare har ordet främst haft betydelsen "professionell konsument" för att beskriva en person som håller sig uppdaterad på det senaste inom exempelvis hemelektronik. Ett annat vanligt begrepp på engelska är distributed generation som används för att beteckna småskalig elproduktion, främst via solceller, som börjar bli vanligare i elsystemet (Ruester, et al., 2014) (Schleicher-Tappeser, 2012). Det finns nu en motsvarighet till detta i våra svenska fjärrvärmesystem, om än i mycket liten skala så här långt. Rapportens titel är Små värmekällor – kunden som prosumer, där begreppet små värmekällor kan ses som en svensk tolkning av distributed generation. Figur 1 visar en principiell bild av ett fjärrvärmenät med central produktion av fjärrvärme, distributionsnät, kunder samt prosumenter.

Vi väljer inte en specifik kvantitativ definition av begreppet små värmekällor. Karakteristiskt är istället att det betecknar värmekällor som inte deltar i fjärrvärmeoperatörens centrala styrning av värmeförsörjningen i nätet. Med detta menas att värmekällan tillåts mata in den effekt den har tillgänglig vid varje givet ögonblick. Det går självfallet att föreställa sig en framtida situation där den totala värmeförsörjningen från små värmekällor periodvis blir så stor att denna princip måste frångås. Man kan jämföra med situationen med elproduktion från solceller i det tyska elsystemet. I dagsläget duger dock denna definition. Värmekällans storlek antas alltså vara "tillräckligt liten" för att oreglerad inmatning ska kunna tillåtas. I avsnitt 4.3.7 kommenteras hur oreglerad värmeproduktion kan göras om till mer reglerad inmatning av värme med hjälp av ett värmelager.



Figur 1 Prosumert används som begrepp för en person eller organisation som både är köpare och säljare av värme eller el. Bild: Lennart Molin

Det är vår uppfattning att det i fjärrvärmebranschen finns en utbredd skepsis och ofta även motstånd mot en utveckling med prosumenter i näten. Det framförs argument att små värmekällor inte bidrar till bättre miljöprestanda och effektivitet i fjärrvärmesystemet utan snarare skapar problem genom ökad komplexitet. Detta bygger emellertid på förutsättningar som inte kan antas gälla för evigt. En sådan är att överskottsvärme sommartid konkurrerar med avfallsvärme som kännetecknas av både låg primärenergianvändning och låga emissioner. Denna bild kan komma att ändras på 10-20 års sikt med ökad materialåtervinning och förändrad opinion.

En annan uppfattning är att det är svårt eller omöjligt att mata in en tillräckligt hög temperatur i nätet. Överskottsvärme från kompressormaskiner (kylmaskiner och värmepumpar) producerar normalt en lägre temperatur än framledningen i fjärrvärmesystemet. Solvärmesystem kan matcha fjärrvärmens framledningstemperatur men verkningsgraden sjunker ju högre temperatur som måste levereras. På sikt måste emellertid temperaturerna i fjärrvärmesystem sänkas. Det är en utveckling som kommer att ta tid, men som kommer att vara nödvändig för att behålla fjärrvärmens konkurrenskraft. Det ska också tilläggas att små värmekällor ofta kan fungera i ett befintligt nät, exempelvis i nätets periferi eller i områden med nyare bebyggelse där man ibland kan tillåta lägre temperatur.

3.2 DRIVKRAFTER

Det finns generella drivkrafter som kan bidra till en expansion av små värmekällor, såsom att få in mer förnybar och återvunnen energi i energisystemet. Mer specifikt finns drivkrafter i form av lokala mål, certifieringar och policyer. Till exempel har Malmö Stad satt som mål att 100 procent av energiförsörjning ska vara förnybar år 2020. (Malmö Stad, miljöförvaltningen, u.d.). Målet ska delvis implementeras genom lokalt producerad energi. Lokal, förnybar energi är ett mål som förekommer i åtskilliga energiplaner (Växjö kommun, 2012), (Gävle kommun, 2015).

Energicertifieringssystem för byggnader kan också fungera som drivkraft för prosumenter, då sådana ofta gynnas i certifieringsprogrammen. I certifieringarna Breeam (BREEAM SE, 2013) och Leed (U.S. Green Building Council, 2008) ges extra poäng om man kan producera egen el eller värme, och i Breeam ges ytterligare poäng om denna energi kan distribueras till andra användare.

Svensk fjärrvärme en tydlig hållning beträffande introduktion av små värmekällor. I programförklaringen för Fjärrsyns projektperiod 2013-2017 (Svensk fjärrvärme, 2013) framgår att fjärrvärmesystemen ska utvecklas för att förbättra förutsättningarna för anslutning av solvärme och annan lågvärdig överskottsvärme i syfte att öka systemens effektivitet, öka andelen förnybar energi och att minska miljöpåverkan. Programförklaringen lyfter även fram ett ökat kundperspektiv vilket rimmar väl med prosumentkonceptet.

Till sist ska den generella opinionen inte underskattas. Många människor, fastighetsägare och andra aktörer vill se en utveckling med mer lokalt genererad förnybar energi.

3.3 TYPER AV SMÅ VÄRMEKÄLLOR

För att underlätta förslag till systemdesign och reglerprinciper så görs en del antaganden om hur olika värmekällor beter sig. Varje anläggning har sina specifika förutsättningar vilket gör att det blir upp till projektören av dessa anläggningar att ta hänsyn till de förutsättningar som gäller i det enskilda fallet. Det finns generellt sett bara lite underlag om små värmekällor som kan belägga de antaganden som görs.

De typer av små värmekällor som vi har identifierat är:

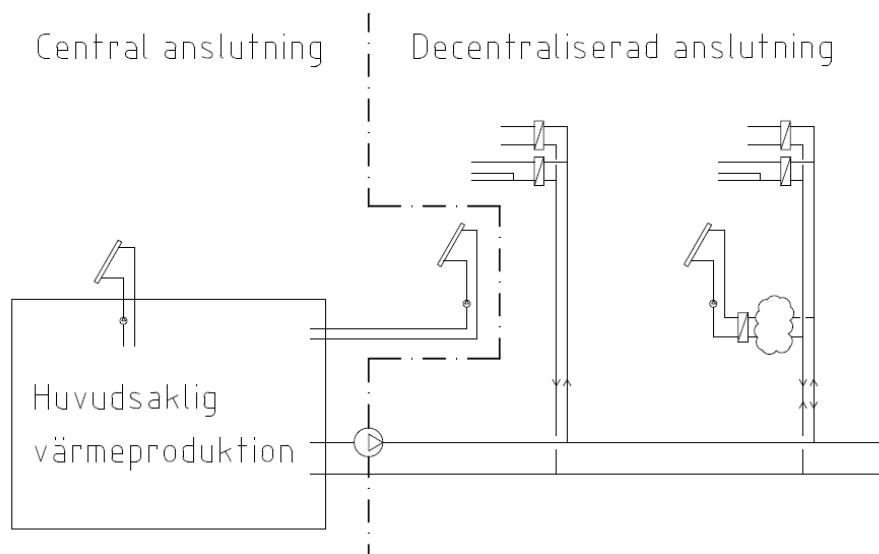
- Solvärme
- Kompressormaskiner (värmepumpar eller kylmaskin) – där det finns kylbehov eller där det gott om lågvärdig värme t ex livsmedels- eller serverhallskyla eller avloppsvatten.
- Värmeåtervinning från processer – kylning av industriprocesser, kondensatkylning eller kylning av gjutprodukter
- Pannor – små pannor som ger spetsvärmeproduktion eller som använder ett bränsle som är svårt att flytta t ex biogas med olika ursprung.
- Geotermiskt hetvatten

3.4 INKOPPLINGSPRINCIPER

I detta avsnitt ska några centrala begrepp rörande inkopplingsprinciper tydliggöras. Rapporten kommer sedan till största delen handla om decentraliserade primärinkopplade system enligt konceptet R/F.

3.4.1 Central respektive decentraliserad inkoppling

Med central inkoppling menas att en värmekälla ligger bakom de primära och centrala distributionspumparna i fjärrvärmenätet som oftast ligger vid den största värmeproduktionsanläggningen i fjärrvärmenätet och som styrs via återkoppling från en eller flera differenstrycksgivare i nätet, se Figur 2. Rent tekniskt betyder det att värmekällan inte behöver ge tillräckligt hög temperatur för den kan stöttas av en annan värmekälla som garanterar temperaturnivån samt att värmeförseln inte behöver matas in i rörsystemet utan är en del av den centrala värmeproduktionen.



Figur 2 Skillnaden mellan central och decentraliserad anslutning ligger i om värmekällan ansluts före eller efter de centrala pumparna i fjärrvärmenätet. Den prick-streckade linjen anger den principiella gränsen mellan central och decentraliserad anslutning

Om till exempel solfångarna i ett solvärmesystem ligger på en byggnad en bit ifrån den centrala pannan men att tillförseln av solvärme ligger före pumparna (på sugsidan) så räknas den som en central värmekälla. Hur inkopplingen av solvärmeanläggningen görs i den centrala anläggningen har ingen betydelse i detta fall men i de flesta av solvärmeanläggningarna i Danmark så kan solvärmen användas direkt till framledningen men också som uppvärmning av returen eller gå direkt till ett värmelager.

Med decentraliserad inkoppling avses värmekällor som ansluts till fjärrvärmenätet på de centrala pumparnas trycksida, se Figur 2. Avståndet i meter mellan en central anläggning och en decentraliserad anslutning behöver inte vara långt utan den stora skillnaden är att hänsyn måste tas till differenstrycket mellan fram- och returledning när inmatningen av värme görs.

I de flesta fjärrvärmenät är denna indelning tydlig men i större och sammankopplade fjärrvärmenät är den inte helt distinkt.

3.4.2 Sekundär respektive primär anslutning

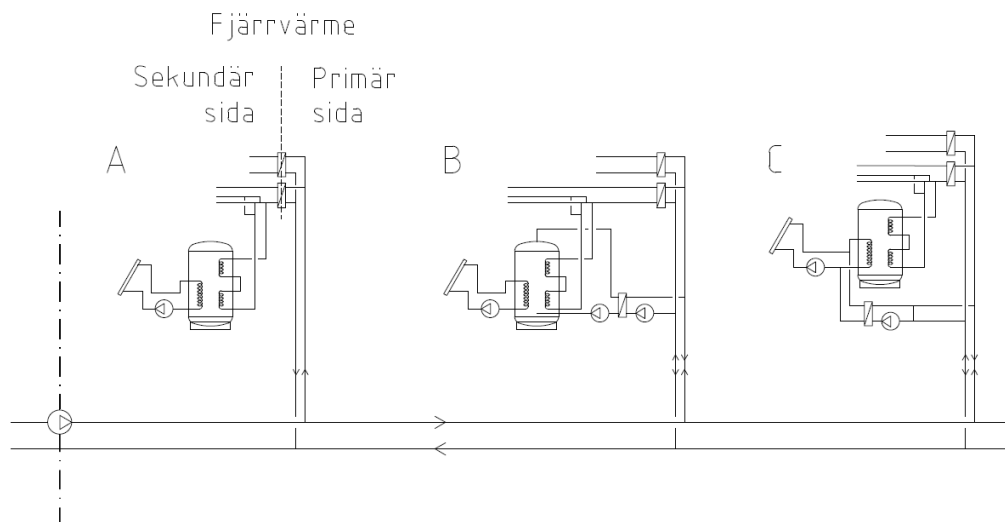
Sekundär anslutning av en värmekälla avser fall där värmekällan ansluts på sekundärsidan av fjärrvärmecentralen och värmen endast används i byggnadens egen anläggning. Om värmekällan ansluts så att den kan tillföra värme till fjärrvärmenätet så finns en primär anslutning. I princip så förutsätter begreppet prosument att värme kan tillföras fjärrvärmenätet.

I detta sammanhang finns risk för viss sammanblandning av begreppet "primär". I en solvärmeanläggning som ger värme till en värmesänka, till exempel ett värmelager, så benämns solvärmekretsen, som normalt innehåller glykolblandat vatten, som "primär" och ackumulatortankens vatten som "sekundärt". När en solvärmeanläggning ger värme till ett fjärrvärmesystem så blir solvärmekretsen "primär" och fjärrvärmesystemet "sekundärt" (mottagare av värme). Detta motiverar inte att kalla

fjärrvärmesystemet för ett sekundärsystem vilket gör att båda får vara primärsystem, "solvärme primär" (VP2) och "fjärrvärme primär" (VP1).

3.4.3 Anslutning av både sekundärt och primärt i serie eller parallell

Ibland kan det vara lämpligt att ansluta en lokal värmekälla både sekundärt och primärt. Det finns två typer av dubbelanslutningar, i serie respektive parallellt, vilket visas i Figur 3.



Figur 3 De tre systemförslagen i figuren ovan visar sekundär anslutning (A) samt två varianter av kombinerad primär och sekundär anslutning, i serie (B) respektive parallellt (C).

Bokstäverna i Figur 3 indikerar:

- A – endast sekundär anslutning
- B – sekundär- och primärinkoppling i serie
- C – sekundär- och primärinkoppling parallellt

Vid serieanslutning enligt B läggs all den lokalt producerade värmen i ett värmelager och om värmelagret blir för varmt så kan en del av värmen matas in på fjärrvärmenätet. Primärinmatning i detta fall blir i princip en form av överhettningsskydd och ska behandlas som ett sådant när det gäller betalning och tillgänglighet. Denna typ av primäranslutning, oavsett inkopplingstyp, är enklare eftersom den inmatade effekten inte behöver matchas mot den lokalt producerade värmeeffekten. Kravet är att den inmatade effekten är större än den producerade minus det egna behovet så att värmelagrets temperatur inte stiger ytterligare. Hänsyn måste tas till fjärrvärmenätets möjlighet att ta emot effekten och flödet utan att den centrala värmekällan störs.

Med parallell anslutning, enligt C i Figur 3, menas att den lokala värmen antingen används sekundärt via ett värmelager eller matas in primärt. Växlingen görs med en 3-vägsventil med on/off-funktion.

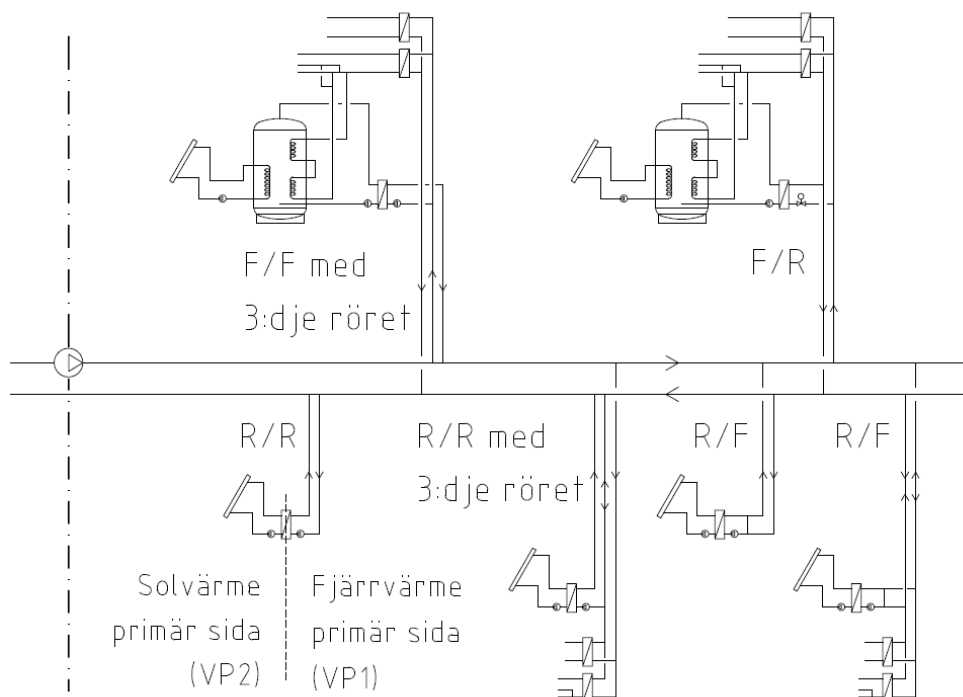
Det är viktigt att i diskussionen mellan prosumenten och fjärrvärmebolaget tydliggöra om det är lämpligt att göra *både* en primär och sekundär inkoppling eller om fjärrvärmebolaget bara accepterar primär *eller* sekundär inkoppling. Har prosumenten för avsikt att använda mer än ett inkopplingsalternativ så bör detta tydliggöras i avtalet även om allt inte byggs samtidigt.

Det kan också vara värt att påpeka att kombinationssystem blir mer komplexa, kräver mer reglering och tillsyn samt att kostnaden stiger. Ofta kan det vara bättre att bara använda ett systemalternativ.

3.4.4 Primärinkopplade system

Det finns i princip fyra sätt att primärinkoppla en lokal värmekälla, vilka illustreras i Figur 4:

- Retur/retur (R/R): inmatningssystemet tar vatten från fjärrvärmenätets returledning och återför det till returledningen
- Retur/fram (R/F): inmatningssystemet tar vatten från fjärrvärmenätets returledning och återför det till framledningen
- Fram/retur (F/R): inmatningssystemet tar vatten från fjärrvärmenätets framledning och återför det till returledningen
- Fram/fram (F/F): inmatningssystemet tar vatten från fjärrvärmenätets framledning och återför det till framledningen



Figur 4 Redovisning av skillnaden mellan de fyra olika varianterna av primär inkopplade system, R/F, R/R, F/R och F/F. Skillnaden mellan de olika systemen redovisas i Tabell 1.

I Tabell 1 nedan är de viktigaste skillnaderna mellan principerna listade. Tabellen är baserad på egen erfarenhet och diskussioner kring anslutningar av solvärmeanläggningar. En av de viktigaste skillnaderna är förmågan att skapa ett eget flöde som är möjligt genom R/F och F/R. R/R- samt F/F-systemen kan inte skapa ett eget flöde vilket innebär att om inkopplingen görs på en servis så måste inkopplingen kompletteras med ett tredje rör. Om inkopplingen görs på en stamledning så måste flödet i stammen vara känt och inmatningens effekt måste anpassas till detta flöde.

Tabell 1 Sammanfattning av vad som karakteriserar de fyra sätten att primärkoppla en lokal värmekälla.

	R/R	R/F	F/R	F/F
Vanligast	X	X		
Kan skapa eget flöde i fjärrvärmesystemet		X	X	
Behöver en egen inmatningspump (inom parantes skulle kunna fungera utan pump)	(X)	X		(X)
Höjer fjärrvärmesystemets returtemperatur	X		X	
Relativt enkelt regelsystem	X		X	X
Ska ge en given lägsta inmatningstemperatur		X		
Kan användas som överhettningssystem vid en vanlig fjärrvärmecentral utan extra rördragning (det tredje röret)		X	X	
Vid anslutning till en servisledning till en vanlig fjärrvärmecentral så krävs en extra rörledning (det tredje röret)	X			X
Är lämplig i de flesta applikationer		X		

En annan viktig skillnad är att R/R- och F/R-anläggningar höjer returtemperaturen i fjärrvärmenätet vilket i allmänhet inte är önskvärt då det försämrar verkningsgraden för vissa typer av produktionsanläggningar, särskilt pannor med rökgaskondensering, samt ger något ökade värmeförluster (Frederiksen & Werner, 2013). En höjning av returtemperaturen från en lokal värmekälla ger emellertid inte en försämrad leveranskapacitet i fjärrvärmenätet på samma sätt som en hög returtemperatur från en fjärrvärmecentral ger.

3.5 KÄNDA EXEMPEL

Ett högst aktuellt exempel inom diskussionen om prosumenter är Fortums Öppen fjärrvärme (Rylander, 2015). Modellen ger möjlighet för aktörer att mata in överskottsvärme i fjärrvärmenätet mot betalning. De byggnader som så här långt anslutits har överskottsvärme från dataservrar och livsmedelskyla. Det finns möjlighet att sälja och mata in värme till fjärrvärmenätets framledning, returledning eller fjärrkylanätets returledning.

I ett samarbete mellan E.ON Värme och Lunds universitet har potentialen för introduktion av prosumenter studerats i stadsdelen Hyllie i Malmö. I detta område växer en ny stadsdel fram med en blandad bebyggelse bestående av bland annat bostäder, kontor, shoppingcenter, arena med isrink, mässhallar, badhus och livsmedelsbutik. I studien antogs att alla kylbehov tillgodoses med kompressorkylmaskiner. Restvärmen från dessa antas regleras till en temperaturnivå på 65°C för att kunna matas in på nätet. Området byggs så att denna framledningstemperatur ska vara tillräcklig. Områdets totala förväntade framtida värme- och kyllast har uppskattats och den potentiella värmetillförseln från prosumenter är betydande. På årsbasis uppgick potentialen till mellan 50-100 % av värmebehovet beroende på om värmen skulle användas i Hyllie eller om den tilläts flöda till övriga nätdelar. En kraftigt begränsande faktor är att en mycket stor del av värmen finns tillgänglig sommartid. Det var emellertid ett mindre antal kunder som stod för den största potentialen och dessa har dessutom ett jämnare kylbehov över året, såsom shoppingcenter, arena, mässhallar, och livsmedelsbutik. Beträffande miljöprestanda så är det svårt att ge entydiga svar, om anslutning av prosumenter är en miljöfördel eller inte, då man vid användning av värmepumpar alltid får en stor

variation beroende på hur den använda elen värderas. Det spelar också stor roll vilken annan fjärrvärmeförsörjning som ersätts och hur denna värderas. Dock finns det stor potential för att integrera prosumenter i ett område med varierad bebyggelse, i synnerhet genom ökad interaktion mellan el- och fjärrvärmesystem, gärna med hjälp av värmelager.

3.5.1 Små värmekällor baserade på solvärme

Utvecklingen av svensk fjärrvärmeansluten solvärme finns beskriven i (Dalenbäck, Lennermo, Andersson-Jessen, & Kovacs, 2013). Efter viss tillväxt för något större anläggningar under 1980-talet så stannade utvecklingen av. Sedan millennieskiftet har det dock skett en utveckling av lite mindre anläggningar som kan kategoriseras som prosumenter. Ett tjugotal sådana anläggningar kartläggs i rapporten. Det studerade anläggningarna producerar mellan 112 och 324 kWh/m² med ett storleksviktat medelvärde på strax över 200 kWh/m². Ett förväntat medelvärde borde vara minst 50 procent högre. I Danmark, som generellt har något större anläggningar, nås 400 kWh/m². Värt att nämna är även att för de data som redovisas i rapporten så råder ingen korrelation mellan anläggningarnas storlek och produktion.

3.5.2 Andra decentraliserade anläggningar i Sverige

Det finns ett antal krematorier i Sverige som är anslutna till fjärrvärmenät, bland annat i Stockholm, Uppsala, Borås, Falun och Vänersborg. Vi har i detta projekt besökt ett fjärrvärmeanslutet krematorium från vilket även data redovisas, se avsnitt 0.

På många reningsverk så rötas avloppsslam både för att få ut en energiprodukt, minska lukten samt för att hygienisera slammet. Rötgasen används ofta lokalt eller i en gasmotor för elproduktion. Det finns även rena förbränningsanläggningar där värmen tas tillvara. Dessa kan vara i drift mer eller mindre kontinuerligt eller vara installerade som reservpannor om det normala användningsområdet skulle fallera.

I många fall finns reservpannor som tidigare användes för att värma en specifik anläggning kvar i sitt befintliga pannrum. De kan vara kopplade så att de kan ge värme till den specifika anläggningen men inte till fjärrvärmenätet om det skulle falla ur. Sedan finns det decentraliserat placerade spetslastpannor men i många fall är dessa relativt stora och ägs och regleras från samma driftcentral som sköter hela driften av fjärrvärmenätet. Rent principiellt gäller samma förutsättningar för dessa som för andra decentraliserade anläggningar att det måste en kontinuerlig balans mellan värmeproduktionen och inmatningen. Dessa anläggningar räknas inte som prosumentanläggningar.

3.5.3 Exempel från Danmark

I Danmark byggs väldigt många och stora centrala solvärmeanläggningar. Information om dessa kan hittas på www.solvarmedata.dk. I en artikel av Schäfer, Schlegel & Pauschinger (2014) redovisas fyra danska solvärmeanläggningar med decentraliserad inkoppling. Två av dessa var i Hilleröd, en i Avedøre söder om Köpenhamn och en i Skive söder om Fredrikshamn. Sedan rapporten skrevs, eller som inte var kända av författarna, har det tillkommit minst två anläggningar, en i Hilleröd och en utanför Roskilde. Enligt de statliga regleringarna i Danmark (Energistyrelsen, 2016) så måste en energikälla större än 250 kW värderas enligt en speciell modell som danska Energistyrelsen har tagit fram. Med den beräkning som ska göras så är det mycket

svårt att få lönsamhet i att bygga en decentraliserad primärinkopplad solvärmeanläggning. Detta har lett till att det figurerar åsikter om att det inte byggs några, eller väldigt få, anläggningar. Inom projektet har tre anläggningar besökts varav två är med i listan i ovan nämnda artikel medan en nyare finns utanför Roskilde.

De decentraliserade solvärmeanläggningarna byggs med ungefär samma teknik som de större centrala anläggningarna. En fördel som de danska anläggningarna har i förhållande till de svenska anläggningarna är att differenstrycket är lägre och att solfångararean är större vilket gör att inmatningspumparna får en större reglerbarhet och att de endast under en kortare tid arbetar i ett ogynnsamt driftläge.

Några andra primärinkopplade anläggningar har inte hittats i Danmark men det finns en diskussionen om en variant av "öppen fjärrvärme" men enligt danska konsulter så är det svårt att uppnå den danska Energistyrelsens krav för att få lov att göra en installation.

3.5.4 Exempel från Tyskland

I Tyskland pågår en diskussion och många teoretiska studier har gjorts om lite större solvärmeanläggningar och då även decentraliserade primärinkopplade anläggningar. I den förteckning som finns i (Schäfer, Schlegel, & Pauschinger, 2014) finns tre anläggningar redovisade som alla är från 2011. Några data om dessa har inte varit möjlig att få tag på. En av anläggningarna skulle ägas av E.ON Värme i Tyskland men en kontakt med E.ON gav bara som resultat att det finns en stor anläggning i Hannover på nästan 3000 m² som är byggd som en del i ett mässprojekt "Solar City" och denna anläggning är endast ansluten sekundärt.

Tyska motsvarigheten till Svensk fjärrvärme, AGFW, har bidragit med pengar till en demonstrations- och forskningsanläggning som ska byggas i Düsseldorf. Den aktiva solfångararean ska vara drygt 200 m². Viss upphandling pågår men driftstart beräknas inte ske förrän till hösten 2016. De väntar in resultaten från vår studie.

Enligt uppgift byggs två anläggningar till som ska vara färdigställda under 2016. Andra decentraliserade primärinkopplade anläggningar har inte påträffats.

3.5.5 Exempel från Österrike

I Österrike har det byggts några solvärmeanläggningar som är knutna till fjärrvärme framför allt i Graz. I (Schäfer, Schlegel, & Pauschinger, 2014) finns fyra anläggningar upptagna varav en är centralt inkopplad men med lokalt installerade solfångare. Två av anläggningarna är inkopplade R/S men en har ett värmelager så att den påminner om en sekundär/primär-seriekopplad anläggning.

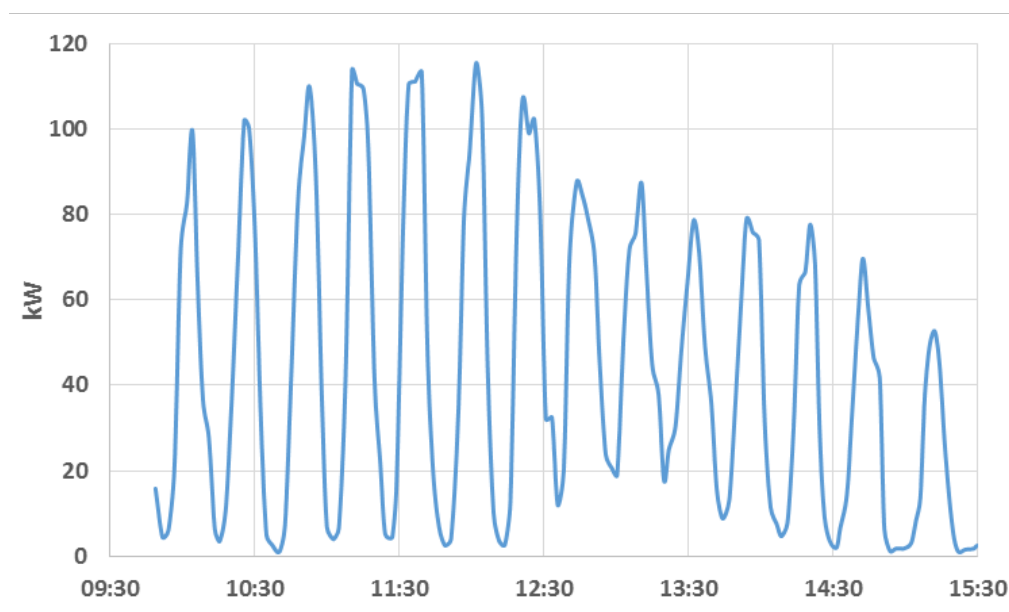
Det finns stora planer på att bygga flera stora primärinkopplade solvärmeanläggningar men hur långt dessa har kommit är inte känt. Andra decentraliserade primärinkopplade anläggningar har inte påträffats.

4 Tekniken för inmatning

Vid inmatning av värme till ett fjärrvärmenät enligt R/F-konceptet tas vatten från fjärrvärmesystemets returledning, värms upp till erforderlig temperatur och matas in på framledningen genom tryckhöjning. Huvudskälet till att lägga fokus på denna systemtyp är att den har störst användbarhet framför allt genom att den kan skapa sitt eget flöde vilket gör att placeringen av inkopplingen är relativt oberoende av fjärrvärmenätet. En viss kontroll måste dock göras av rördimensionerna i nätet, i närheten av anslutningspunkten, för att se om nätet kan ta emot den effekt som produceras med en rimlig flödes hastighet och/eller tryckfall. Ett andra skäl till varför det är bättre att använda R/F, är att systemet inte påverkar temperaturnivåerna i fjärrvärmenätet. R/F höjer inte returtemperaturen i nätet.

4.1 PROBLEM MED SVÄNGANDE INMATNINGSEFFEKT

Ett förlopp som har iakttagits för de flesta solvärmeanläggningar som byggts är att temperaturen i solvärmekretsen pendlar kraftigt. Figur 5 visar data från en juldag 2012 från Salongen 12, en solvärmeanläggning i Malmö, och det syns tydligt hur den inmatade effekten svänger kraftigt. Frågan är vad det är som orsakar dessa svängningar och hur inmatningssystemet ska byggas så att de inte uppstår.



Figur 5 Varierande inmatad effekt från solfångaranläggning Salongen 12, Bo01.

En del av svaret ligger i hur väl inmatningspumpen kan sköta sitt arbete. Den absolut vanligaste pumpen är en centrifugalpump som är relativt billig i förhållande till det arbete som den ska göra. Andra typer av pumpar, till exempel displacementpumpar, har studerats under arbetets gång men det som har hittats har förkastats på grund av det höga priset. Slutsatsen blev att det måste vara möjligt att använda vanliga flerstegscentrifugalpumpar även om deras funktion inte är helt ideal.

4.2 INMATNINGSPUMPENS ARBETE

För att korrekt kunna dimensionera inmatningspumpen, ofta benämnd P2 i ritningsunderlag, krävs det kännedom om vilka förutsättningar som gäller i inmatningspunkten och hur stor effekt inmatningen maximalt kommer att få. En gränssnittsanalys måste göras.

Det maximala flödet ges av den maximala effekten som värmekällan har och temperaturdifferensen mellan temperaturen på returledningen och lämplig framledningstemperatur vid denna effekt. Om den maximala effekten bara inträffar under en kort tid, som för solvärme, så kan det oftast vara acceptabelt att framledningstemperaturen höjs om det finns begränsningar i flödet.

Det kan även finnas en annan dimensioneringspunkt, framför allt om värmekällan har en relativt stabil effektproduktion, som blir mer beroende av när temperaturdifferensen mellan nätets returtemperatur och önskad framledningstemperatur är som lägst. Returtemperaturen, som når inmatningscentralen, påverkas av avkylningen hos fjärrvärmekunderna i anslutningspunktens närhet. Vilken temperatur som matas in från en decentraliserad värmekälla är en viktig fråga. Oftast så spelar en förhöjd inmatningstemperatur mindre roll medan en för låg temperatur kan ställa till med större problem. I första hand är det prosumenten själv som kan drabbas av en för låg temperatur. Det kan dock vara så att om den lokala värmekällan bara är primäransluten så kan inmatningstemperaturen anpassas till prosumentens eget temperaturbehov på framledningen. Men så fort flödet från den decentraliserade värmekällan når ut på stamledningen så att värmen kan nå andra kunder så är framledningstemperaturen viktigare. Är inmatningsflödet litet i förhållande till flödet i stamledningen så kan en lägre temperatur accepteras men ju större andel som det inmatade flödet får desto viktigare är att framledningstemperaturen på stamledning blir korrekt. Finns prosumenten i en avlägsen del av nätet så att det redan innan anslutning är svårt att hålla rätt temperatur, t ex på grund av lågt flöde, så blir det viktigare att mata in rätt temperatur. Det kanske till och med kan vara en fördel att mata in en något förhöjd temperatur.

Generellt kan sägas att det finns ett litet motsatsförhållande mellan att hålla en korrekt inmatningstemperatur och hålla en stabil effekt och flödesinmatning, vilket behandlas i avsnitt 5.1.5.

Det vanligaste i de primärinkopplade solvärmeanläggningar som har byggts är att det finns två alternativ avseende inmatningstemperaturen: ett fast värde eller en utetemperaturkompenserad kurva. Vid driftsättning är det enklare att göra injusteringen vid en fast inmatningstemperatur och i många fall blir denna inställning kvar när anläggningen är överlämnad till beställaren. Det är mycket enkelt att ändra i reglersystemet.

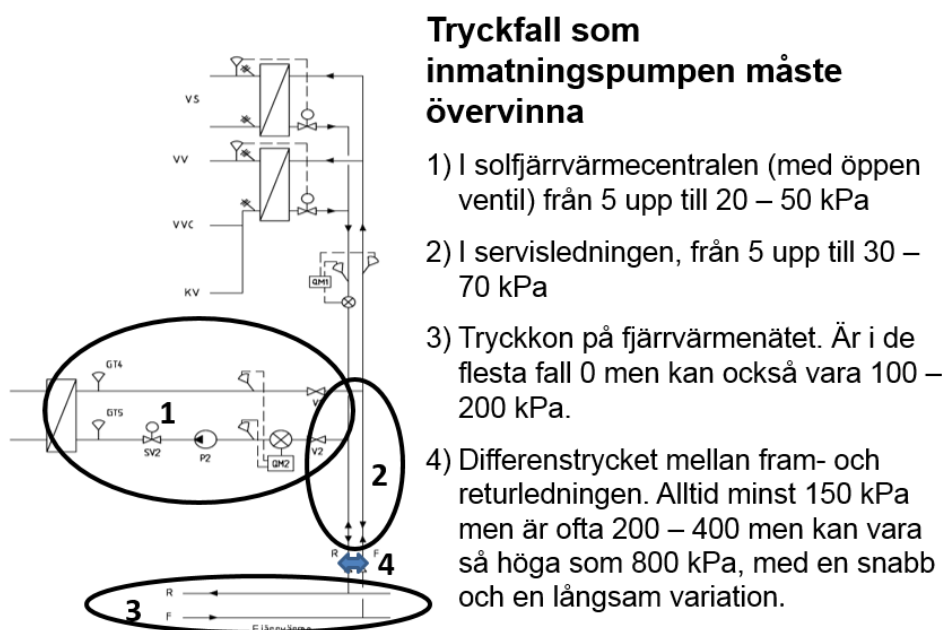
Det finns tre typer av vad vi i denna rapport valt att benämna *flödesberoende tryckfall* som inmatningspumpen, P2, måste övervinna (punkt 1-3 nedan) samt en fjärde komponent som *inte är flödesberoende*. Ett flödesberoende tryckfall avser ett tryckfall i inmatningskretsen vars storlek beror på inmatningsflödet självt. Det är i sig ett självklart förhållande som gäller i alla hydrauliska kretsar och tryckfallet antas öka med kvadraten på flödet vid turbulent strömning. Anledningen till att vi inför begreppet är för att kunna skilja dessa tryckfall från det för inmatningen dominerande tryckfall som måste övervinnas: differenstrycket – tryckskillnaden mellan fjärrvärmenätets retur- och framledning i inmatningspunkten.

För en liten värmekälla i ett stort nät så är differenstrycket i princip helt oberoende av den decentraliserade värmekällan men ju större andel som den decentraliserade värmekällan täcker av fjärrvärmenätets värmebehov desto mer backar de centrala pumparna. Detta påverkar differenstrycket vid anslutningspunkten, men i denna rapport bortses från detta eftersom fokus i första hand ligger på mindre värmekällor.

De tryckdifferenser som måste övervinnas är:

1. Tryckfall i inmatningscentralen.
2. Tryckfall i servisledningen.
3. En eventuell tryckkon ut på fjärrvärmenätet. Detta är kopplat till värmekällans storlek, där en liten värmekälla i ett stort nät inte ger någon egen tryckkon utan det inmatade flödet "åker bara med". Ju större värmekällan är desto större blir den tryckkon som behövs för att få iväg flödet till andra kunder i nätet.
4. Tryckdifferensen mellan retur- och framledning i inmatningspunkten. Det kan ses som en statisk höjd som måste övervinnas. Denna tryckdifferens är inte beroende av inmatningsflödets storlek.

I Figur 6 redovisas dessa tryckdifferenser i ett flödesschema med ringar och pilar. Tryckfallen i inmatningscentralen, med öppna ventiler men vid teoretiskt maximalt flöde, varierar mest beroende på hur olika detaljer, framför allt värmeväxlaren, har dimensionerats men även vilken layout som använts. I nästa avsnitt, 4.3, presenteras några olika system alternativ som har använts för inmatningscentraler.



Figur 6 Tryckfall som inmatningspumpen måste övervinna uppdelade i fyra delar, varav tre beror av inmatningsflödets storlek (i kvadrat) medan fjärrvärmenätets differenstryck inte är det.

4.2.1 Tryckfallet i inmatningscentralen

Tryckfallet i inmatningscentralen är beroende av inmatningscentralens layout och dimensionering. Vid denna beräkning antas tryckfall i ventiler vid full öppningsgrad. I

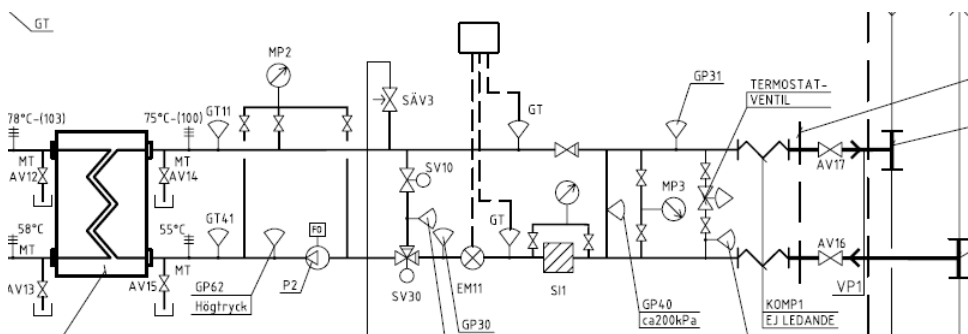
avsnittet om reglerstrategier, 5.1, så kommer ventilerna att användas för att åstadkomma de flöden som önskas och då blir tryckfallet ett annat.

I Figur 7 visas ett exempel på inmatningscentral (till en solvärmeanläggning i Lerum som presenteras längre fram). De detaljer som i denna anläggning skapar tryckfall är filtret (SIL), värmemängdsmätaren (EM11-flödesgivaren), 3-vägsventilen (SV30), värmeväxlaren samt backventilen. Med denna systemdesign så är tanken att P2 alltid har så hög tryckuppsättning att differenstrycket på fjärrvärmenätet kan övervinnas. I detta fall har en börvärdeskurva lagts in i systemet för att styra pumpens varvtal i förhållande till differenstrycket. Detta är ett sätt att ta hänsyn till varierande differenstryck.

Följande komponenter ger ett tryckfall och kan anses nödvändiga:

- Flödesmätaren som ska vara godkänd för debitering
- Värmeväxlaren som ska ha en lång termisk längd
- En backventil så att flödet inte riskerar att gå baklänges, fjäderbelastad
- Filter (anses inte alltid nödvändigt)
- Reglerventiler som i detta läge kan antas vara fullt öppna

Till detta kommer rören mellan anslutningspunkterna.



Figur 7 Del av relationsritning från solvärmeanläggningen och bullerskyddet Noisun i Lerum.

Tabell 2 visas tryckfall vid maximalt flöde från två anläggningar, en på 100 m² och en på 1000 m² solfångararea. Lämplig rördimension bedöms till DN25 respektive DN65 och vid maximalt flöde på, 0,4 respektive 4 l/s, så blir tryckfallet 0,1-0,15 kPa/m. Med ett avstånd på cirka 10 meter till anslutningspunkten blir tryckfallet 2-3 kPa.

Tabell 2 Tryckfall för olika komponenter i en inmatningscentral, för två olika storlekar på solvärmeanläggning, vid teoretiskt maximalt flöde.

	Anläggning 100 m ² / 50 kW	Anläggning 1000 m ² / 500 kW	Kommentar
Flödesmätare	10 kPa	15 kPa	Q _p 1,5 respektive 15
Värmeväxlaren	10 kPa	10 kPa	Givet värde i beräkning
Backventil	4 kPa	6 kPa	Fjärdebelastad, ringbackventil
Filter	1 kPa	2 kPa	Silfilter med maskvidd 0,6 mm
Reglerventil	10 kPa	10 kPa	Helt öppen ventil
Rör tryckfall	3 kPa	2 kPa	DN25 respektive DN65

I värmeväxlaren kan maximalt tryckfall sättas vid beräkningen och ofta används 10 kPa som ett maximalt värde i en cirkulationskrets (solvärmekretsen) vilket ger ungefär samma tryckfall på den andra sidan. Detta ger ett totalt tryckfall på 40-50 kPa.

4.2.2 Tryckfallet i servisledningen

I denna beräkningspost ingår tryckfall i servisledningen från inmatningscentralens anslutningspunkt till servisledningarnas anslutningspunkt till stamledningen. Det är nästan enbart rörtryckfall och alla tryckfall är beroende av inmatningsflödet.

Om det är en prosumentanläggning så ligger värmeproduktionsanläggningen ihop med den vanliga fjärrvärmecentralen. Om servisledningen dimensionerats endast för förbrukning av fjärrvärme måste en kontroll göras om servisledningens dimension även är tillräcklig för värmekällans maximala inmatningseffekt. Oftast dimensioneras servisledningen efter tryckfall eller flödes hastighet – 100 Pa/m för tryckfall och 1 m/s för hastighet är vanliga gränser. Om fjärrvärmecentralen ligger nära de centrala pumparna i nätet så kan ett högre tryckfall accepteras vilket det också har gjorts i äldre tekniska beskrivningar.

För att underlätta regleringen av det inmatade flödet så är det en fördel om de flödesberoende tryckfallen är av ungefär samma storleksordning som differenstrycket vilket gör att ett tryckfall i servisledningen skulle kunna ha ett maximalt tryckfall på 50-60 kPa. Om servisledningen är 50 meter enkel väg, det vill säga totalt 100 meter, så skulle tryckfallet kunna vara så högt som 600 Pa/m om det inte finns några andra större flödesberoende tryckfall i inmatningssystemet.

Begränsningen på 1 m/s för flödes hastigheten är för att minimera risken för störande ljud men för en solvärmeanläggning med maximala flödet mitt på dagen så kan inte detta ses som en absolut gräns och det samma gäller för spillvärme från en industri som är belägen i ett industriområde där högre ljudnivåer kan accepteras. Eventuellt måste hänsyn tas vid ett anslutet krematorium som ligger avsides och utgör en i övrigt tyst miljö.

När det gäller begränsningar för flödes hastigheten för att inte få materialslitage förefaller tillverkare och konsulter vara eniga om att ett sådant värde ligger uppemot 5 m/s för små dimensioner och ytterligare lite högre för större dimensioner.

Om det inte finns lokala regler, vilket det ofta finns, som måste följas och om eventuella ljud som kan uppstå inte blir störande på grund av lokalisering och tidpunkt så bör hastigheter uppemot 2-2,5 m/s kunna accepteras under kortare tider. En kontroll av tryckfallet bör göras med hänsyn tagen till vilka andra tryckfall som ska övervinnas och vilken typ av reglering som används.

Beräkningsexempel

Låt oss anta att ett flerbostadshus utrustas med en solvärmeanläggning som ska generera minst lika mycket värme som byggnaden använder under ett år. Beräkningen nedan ska inte ses som en dimensionering utan det är ett förenklat beräkningsexempel för att ge en storleksordning på ingående delar.

För att få upp 1000 m² solfångare på ett plant tak behövs en takarea på cirka 2000 m². Med bra reglering och bra solfångare så bör solfångarna kunna ge cirka 380 kWh/m² per år. Solvärmeproduktionen blir då 380 000 kWh. Om värmebehovet i byggnaden sätts till 100 kWh/m² A_{temp} så kan solfångarna försörja 3 800 m² på årsbasis. Med 90 %

användbar lägenhetsarea och 70 m² per lägenhet kan byggnaden rymma ungefär 50 lägenheter. Med Svensk fjärrvärmes beräkningsprogram FC-Kontroll v3-7-1 blir dimensionerande effektbehovet för varmvatten och värme ungefär lika stora – drygt 100 kW. Programmet föreslår en servisledning DN40 om maximal vattenhastighet är 0,8 m/s.

Solvärmeanläggningen på 1000 m² kan ge cirka 500 kW i effekt varav 30 kW kan antas användas direkt. Om dimensionen DN40 används så blir då både tryckfall och hastighet för höga. En dimension större servisledning, DN50, ger 0,5 kPa/m i tryckfall och en hastighet på 1,7 m/s vilket kan vara rimligt för ett mindre antal timmar per år.

Tryckkoner på stamledningen

Enligt resonemanget tidigare i detta kapitel så måste en decentraliserad värmekällas inmatningspump ibland skapa en tryckkon på fjärrvärmenätets stamledning vilket kostar pumpkraft för inmatningspumpen. Vid liten inmatning så åker bara det inmatade flödet med och ingen lokal tryckkon skapas men ju större flöde som matas in desto större tryckkon skapas lokalt. Hur denna tryckkon ser ut i förhållande till den tryckkon som skapas av de centrala pumparna beror helt på hur nätet ser ut och var inmatningen ligger i förhållande till de kunder som får värme från den lokala värmekällan. I något fall kan inmatningens kon få utseendet av en tryckstegringsanläggning medan den i ett annat fall kan få ett utseende av en motstående kon (Frederiksen & Werner, 2013).

Om det inmatade flödet inte har ett flöde, skapat av de centrala pumparna, att åka ”snålskjuts” med utan inmatningen sker i en ytterända av fjärrvärmenätet så måste inmatningspumparna skapa en egen tryckkon.

I denna rapport så är fokus på små värmekällor vilket innebär att de normalt är så små att det inte uppstår en tryckkon på stamledningen. Inmatningspumpen behöver inte dimensioneras upp för att klara en tryckkon. Vid större anläggningar, samt en utsatt placering, måste hänsyn till tryckkon tas.

4.2.3 Fjärrvärmenätets differenstryck

Fjärrvärmenätets differenstryck är skillnaden mellan fram- och returledningen i varje punkt i fjärrvärmenätet och är nödvändig för att skapa ett tillräckligt stort flöde genom alla fjärrvärmecentralers värmeväxlare, filter, styrventiler med mera för att husen ska förses med värme för uppvärmning och varmvattenberedning. Normalt mäts differenstrycket i ett fjärrvärmenät på en eller flera platser och dessa värden används för att styra nätets centrala pumpar. Trycket ska normalt inte understiga 1-1,5 bar (100-150 kPa) på någon plats i fjärrvärmenätet (Svensk Fjärrvärme, 2014). Differenstrycksgivarna är placerade på de ställen i nätet som riskerar att få lägst tryck, typiskt högt och avlägset belägna.

För inmatningspumpen representerar differenstrycket en fast tryckdifferens som måste övervinnas och så länge inmatningspumpens tryckhöjning är lägre än differenstrycket är inmatningsflödet noll. De olika tryckfallen kan beskrivas som att differenstrycket är ett plant steg (som ett trappsteg) som är helt horisontellt medan de flödesberoende tryckfallen är en backe som lutar mer och mer ju större flödet är. Ska det bli ett inmatningsflöde så måste ”trappsteget” övervinnas först följt av ”backen”.

Det som går att se både i simuleringar men också i Noisun, solvärmeanläggningen i Lerum, där inmatningsflödet kan uppgå till 20 % av det totala flödet i fjärrvärmenätet,

är att huvudpumparna i nätet backar, regleras ned, något. Det beror sannolikt på att de inte behöver pumpa ut lika mycket fjärrvärmevatten som tidigare, eftersom en del av värmebehovet ute i nätet tillförs genom den decentraliserade anläggningen. Detta kan även ge ett något lägre differenstryck i inmatningspunkten.

Hur mycket flödet som kommer från den centrala värmekällan minskar och hur mycket differenstrycket sjunker i anslutningspunkten är beroende på en rad faktorer men i denna skrivning bortses från detta eftersom inmatningsanläggningen ändå måste kunna hantera ett mycket varierat differenstryck. Om variationerna kommer från andra fjärrvärmekunder som använder mer eller mindre värme, från de centrala pumparna eller är beroende på att en inmatning av värme görs spelar ingen roll. Reglersystemet måste kunna hantera variationerna oavsett.

Om systemet bara består av tryckfall som beror av flödet är det lättare att få till en bestämd arbetspunkt för pumpen men då differenstrycket först måste övervinnas så kan flödet snabbt öka när detta görs. Tryckfallet som beror av flödet är litet i förhållande till differenstrycket, i synnerhet när flödet är litet.

En del i detta projekt har varit att definiera differenstrycket som en mycket viktig del i gränssnittet i inmatningspunkten: hur stort det är det, hur mycket det varierar och hur snabbt det varierar. Går det att utifrån typ av byggnad och placering i fjärrvärmenätet göra ett antagande om hur differenstrycket ser ut? Svaret på denna tidiga fundering blev att det väldigt sällan går att "förstå" varför variationerna i differenstryck ser ut som de gör.

Någon djupare analys av vad variationerna beror på har inte gjorts på grund av att frågan inte längre blev relevant. Inmatningssystemets reglerutrustning måste under alla omständigheter ta hänsyn till differenstrycket och hur det varierar, vilket gör att anledningarna till varför det varierar är mindre intressant. Det kan vara intressant ur andra aspekter att försöka förstå varför differenstrycket varierar som det gör, men inte för konstruktionen av en inmatningscentral. Däremot är det viktigt att veta hur stort differenstrycket är så att inmatningspumpens lyfthöjd kan anpassas till det.

I Tabell 3 så finns en sammanställning av differenstrycksmätningar som genomförts. I den första kolumnen finns mätstället redovisat, ibland är detta mera av karaktären ett arbetsnamn som anläggningen har fått och ibland en mer korrekt fastighetsbeteckning, samt ägaren av fjärrvärmenätet. I den andra kolumnen finns mätperioden, eller mätperioderna, redovisat. Det finns inte alltid mätdata från hela mätperioderna eftersom mätutrustningen tappade kontakt med överordnat system vid upprepade tillfällen samt att lagringsutrymmet bara kunde hantera några dagar. Om då inte data hämtades hem så ersattes de av nyare data.

Den tredje kolumnen kallas "karaktär" där ett subjektivt försök har gjorts att se om differenstrycken påverkas av tid på dygnet eller om det är vardag eller helg. Det går att utläsa olika driftsstrategier som några fjärrvärmeleverantörer har samt i något fall dagliga variationer men utan en allt för djuplodande analys är det inte möjligt att hitta någon förklaring till differenstryckens variation. Medeldifferenstrycket är en uppskattning utifrån några dygns förlopp. Noggrannheten borde bara vara två gällande siffror men ibland har den tredje siffran getts som 5 för att visa att värdet ligger nästan mitt emellan två värden.

Variationerna i differenstryck har tagits ur insamlade mätvärden som har en upplösning på 10 sekunder. Normalt har ett dygn valts som mätperiod och inom denna

period har de högsta värdena lokaliserats och använts vid beräkningen men enstaka extremvärden har valts bort. Det kan mycket väl finnas större variationer andra dagar som inte har registrerats.

Tabell 3 Mätställen för differenstrycksmätningar med mätperiod, karaktär på differenstrycket samt medelvärde och variationerna över tre olika tidsperioder.

Beteckning/ nätägare	Mät- period	Karaktär	Medel (MPa)	Variation i kPa per minut/timme/dygn		
Augustenborg E.ON Malmö	Oktober 2014 Augusti 2015	Inga vecko- eller dygnstrender Eventuellt något lugnare söndag	0,21	14	25	200
Heleneholm E.ON Malmö	Oktober 2014	Inga vecko- eller dygnstrender	0,30	20	140	200
Salongen 11 Seniorgården E.ON Malmö	September 2015	Svag dygnskurva Lugnare under helgen	0,225	20	165	300
Glotttran Fortum Stockholm	Januari 2015 Juli 2015	Vinter: mycket stora svängningar. 4-barsmätaren har för litet mätområde. Sommar: lugnare.	0,375	35	205	210
Gårdsten Göteborg Energi	November 2014 Juli 2015	Cykliska svängningar med frekvens på 15-20 minuter under november, ej under juli.	0,18 0,17	20 80	40 105	60 110
Gävle Gävle Energi	Februari 2015	Visst cykliskt beteende med oftast två toppar per dygn. Den totala tryckskillnaden är på cirka 3,5 bar med max på 6,8 bar. Störst pendlingar på en söndag men inget tydligt helgmönster.	0,50	35	120	270
Höjdenvändan Lerum Energi	December 2014 Augusti 2015	Ligger i utkanten av nätet ganska nära en kontrollpunkt för differenstrycket. Mycket snabba pendlingar inom 15 kPa. Ingen spår av helger eller nätter i kurvan. När inmatningspumpen går in höjs difftrycket cirka 70 kPa men ger också kraftiga undertryckspikar.	0,16 0,16	25 25	35 40	45 60
Noisun Lerum Energi	Augusti 2015 (portabel) Augusti 2015 (fast) Februari 2016 (fast)	Anläggningen ligger nära panncentralen. Inga spår av helger eller nätter. Mätningar gjorda både med fast och med portabel utrustning.	0,17 0,17 0,22	20 15 10	30 20 30	35 30 50
Molkom Molkom Biovärme AB	Juni 2015	Mätpunkten ligger i utkanten av nätet och högt. Lite lugnare på natten. Inmatningspumpen gör mycket tydliga avtryck på differenstrycket.	0,20	5	20	40

Beteckning/ nätägare	Mät- period	Karaktär	Medel (MPa)	Variation i kPa per minut/timme/dygn		
Tingvalla Karlstads Energi	Juni 2015	Mycket snabba svängningar. Lite lugnare på helgen. Kan vara så att inmatningspumpen påverkar differenströcket.	0,175	30	45	55
Måsta Eskilstuna Energi	Mars 2015 Maj 2015	Ganska tydlig dagskurva med två pikaer per dag i mars men inte så tydligt i maj. Inmatningspumpen påverkar differenströcket så att det sjunker.	0,35 0,28	55 25	90 60	210 90
Plutogatan Öresundskraft	November 2014	Ligger i utkanten av fjärrvärmenätet. Det går att skönja brukarbeteende mellan vardag och helgdag. En våg per dag med högre tryck på morgonen och kvällen.	0,225	20	35	55

De flesta differenströck ligger i intervallet 160 till 230 kPa (1,6 till 2,3 bar) men det finns också betydligt högre värden som i Gävle där det ligger på cirka 500 kPa.

De flesta snabba variationerna (inom en minut) ligger inom intervallet 20-30 kPa med Gårdsten som extremvärde på 80 kPa på sommaren. Gårdsten ligger högt och långt från fjärrvärmenätets produktionsanläggningar.

De lite långsammare variationerna (inom en timme) som ett inmatningssystem måste kunna hanteras med under pågående inmatningssekvens, har en spännvidd från 20 kPa upp till över 200 kPa.

Variationerna över ett dygn har ungefär samma variation som för en timme men fler anläggningar har större variationer där Salongen 11 i E.ON Värms nät i Malmö har störst på cirka 300 kPa. Eventuellt skulle även Glottran i Fortums nät i Stockholm ha samma spann men på grund av att mätningarna gjordes med en differenttrycksgivare med för dåligt mätområde så blev höga värden inte registrerade. Fram till och med mätningarna i Glottran så användas givaren för 4 bar och för de som gjordes efteråt, från februari 2015, användes 10-barsgivaren.

På sommaren är variationerna för Glottran mycket måttligare men varierar ändå över 50 kPa inom ett dygn och över 100 kPa inom några dagar. Lördagen den 25 juli är variationen cirka 40 kPa inom ett fåtal minuter.

Variationerna i differenströck är lägst i Noisun i Lerum men även Höjdenvändan i Lerum samt Molkom har relativt små variationer. Fjärrvärmenätet är relativt litet både i Lerum och Molkom. Alla de övriga mätpunkterna ligger i stora nät.

Noisun ligger nära den centrala produktionsanläggningen samt är endast en lokal värmekälla (ingen prosument) vilket gör att anläggningen inte är helt representativ. Det är endast i en anläggning, Plutogatan, som något uppenbart avtryck av kunden har kunnat noteras. För alla andra mätpunkter kommer variationerna sannolikt från fjärrvärmenätet. Driftstrategin för de centrala pumparna ger för vissa anläggningar en baskurva som överlagras med andra kunders användning. I förhandsdiskussionen så fanns det antaganden om att mätningarna i Augustenborgs anläggning skulle visa påverkan av kundens beteende. I anläggningen används relativt mycket varmvatten

under relativt kort tid men några spår av detta i differenstrycksmätningarna har inte kunnat hittas.

Eftersom den decentraliserade inmatningen inte påverkar differenstrycket i någon större omfattning så måste reglerutrustningen i inmatningscentralen förhålla sig till att differenstrycket varierar. Mätningarna styrker att i de allra flesta lägen är differenstrycket den största tryckdifferens som inmatningspumpen måste övervinna.

4.2.4 Val av pump

De leverantörer av pumpar som har varit med som bollplank under projektet har rekommenderat en tryckstegringspump med många pumphjul. Det viktiga som påtalats tidigare är att de klarar de tryck- och temperaturkrav som ställs i fjärrvärmesystemen.

Det är en balansgång att välja en tillräckligt stor pump så att framför allt differenstrycket kan övervinnas men också en tillräckligt liten pump så att den blir reglerbar över en större del av flödesområdet. För anläggningar med en relativt konstant värmeproduktion är det enklare att välja pump då arbetspunkten blir relativt väl definierad. Ju större variation i inmatat flöde desto svårare att välja rätt pump då det inte blir en arbetspunkt som ska väljas utan en arbetsarea i pumpdiagrammet.

För anläggningar med mycket variabla effekter som till exempel solvärme så ska pumpen klara hela skalan från små flöden, i princip noll, till det maximala flödet och tillbaka igen i princip varje dag. Värmeåtervinning från mindre processindustri kan ha ungefär samma beteende. I sådana anläggningar kan inmatningspumpen få arbeta en längre tid under ogynnsamma förhållanden om inte systemet anpassas.

Pumpleverantörerna har lite olika sätt att ange under vilket flöde som pumpen normalt inte bör arbeta. I Figur 30, sid 61, redovisas en pumpkurva från en pump från Grundfos. För den driftspunkt som är inlagd, 14,5 m³/h och 25 mvp är det lägsta acceptabla flöde cirka 5 m³/h (skärningslinjen mellan ljus och mörk bakgrundsfärg). Andra pumpleverantörer redovisar "lägsta acceptabla flöde" som en vertikal linje i pumpkurvan. Oavsett pumpstorlek och fabrikat så är det lägsta acceptabla flödet som en andel av dimensionerande flöde relativt stort, i exemplet ovan cirka 30 %.

Skälet till att pumpen inte bör arbeta med för låga flöden är framför allt att kylning av lager och motor kan bli för dålig samt att det kan bli snedbelastning på pumpaxeln. Denna del i pumpdiagrammet, för lågt flöde, får inte förväxlas med elmotorns lägsta frekvens för att ge ett stabilt varvtal. Ofta sätts detta värde till 20 % men även 25 % kan finnas i viss dokumentation. Normalt beräknas procentsatsen från 50 Hz.

Det finns ingen pump som har interna funktioner som klarar de driftsfall som kan förekomma vilket innebär att en inmatningspump ska styras med en extern signal. Det finns argument både för att frekvensomformaren ska vara integrerad med pumpen men också för att en separat enhet ska användas.

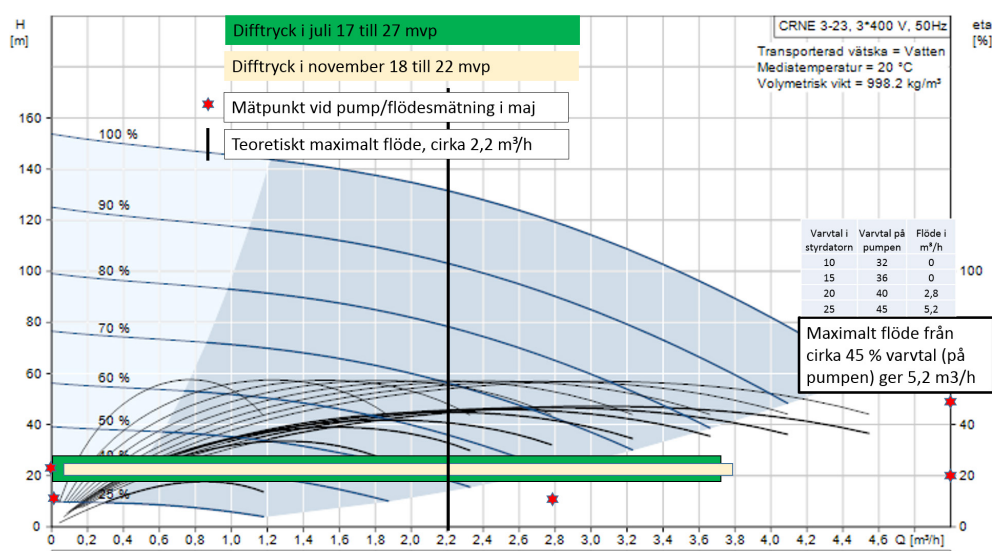
4.2.5 Tryckfall inlagda i en pumpkurva

För att skapa förståelse för hur flödet ändras när varvtalet ändras på inmatningspumpen så togs ett enkelt flödestest fram. Detta test har genomförts för några anläggningar. Testet går ut på att pumpen ges ett givet varvtal, som ställs i styrdatoren, och flödet avläses sedan på värmemängdsmätaren. Det är viktigt att vara vaksam på vad det i styrdatoren inställda varvtalet motsvarar för varvtal på pumpen.

Det är vanligt att varvtalet 0 i styrdatorn inte motsvarar 0 i varvtal på pumpen utan 20 eller 25 %. Det kan också finnas speciella uppstartsfunktioner när styrsignalen är väldigt låg. För en del pumpfabrikat kan inte varvtalet läsas av på pumpen utan det krävs ytterligare utrustning för att läsa av varvtalet.

De tester som är gjorda, och visas i Figur 8 och Figur 9 visar tydligt att pumpens varvtal måste behandlas mycket varsamt. Hur snabba flödesförändringar som uppstår varierar från en anläggning till en annan. I en anläggning gick flödet från noll till teoretiskt maximum vid en varvtalsförändring på endast några få procentenheter medan det i andra anläggningar finns en bättre följsamhet. Metoden att kontrollera flödet i förhållande till varvtal kan vara användbar för att få en uppfattning om vilka börvärden som ska användas i en anläggning, framför allt om den är temperaturreglad (se avsnitt 5.1.4).

Eftersom de som har projekterat anläggningarna inte har haft alla nödvändiga data till hands så har det visat sig att valet av pump inte alltid är optimalt. Pumpkurvorna nedan, med inlagda mätvärden, visar tydligt att valet av pump, och att rätt ingångsdata erhålls, är mycket viktigt. Det går inte att välja en stor pump i tron att det sen endast är att varva ner den.



Figur 8 Pumpkurva med inlagda mätpunkter för flöde samt teoretiskt maximiflöde samt differensstryckets variation från två mättillfällen. Avser solfångaranläggning i Gårdsten.

I Figur 8 visas en pumpkurva för den pump som används i en solfångaranläggning Gårdsten, Grundfos CRNE 3-23. I pumpkurvan är variationen i differensstrycken inlagda som två fält, ett gult och ett grönt. Mätpunkterna för flödet i förhållande till varvtal är inlagt som stjärnor där tabelldata finns redovisad till höger. Det maximala flödet är inlagt som en svart linje.

Vid flödestestet som gjordes 7 maj 2014 och redovisas i Tabell 4 erhöles inget flöde när varvtalet var under 17 % av pumphastighet i styrdatorn vilket motsvarar cirka 37 % av varvtalet på pumpen (som redovisas i pumpkurvorna). Vid 20 % (40 %) var flödet cirka 3 m³/h när teoretiskt maximalt flöde är 2,2 m³/h. Vid 23 % så var flödet 5,1 m³/h och steg sedan till 5,2 m³/h vid högre varvtal.

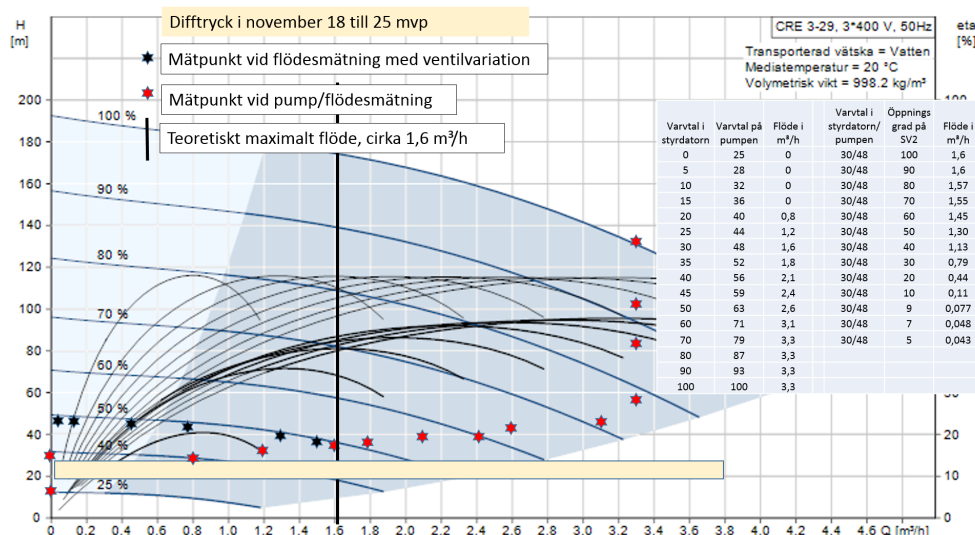
Tre försöksserier gjordes, först ett med ökande varvtal, den andra med minskande varvtal och den tredje med ökande varvtal igen.

Tabell 4 Flöden vid olika varvtal på inmatningspumpen till anläggningen i Gårdsten.

Varvtal enligt styrdator	Varvtal i pumpen	Flöde i m ³ /h ökat varvtal	Flöde i m ³ /h minskat varvtal	Flöde i m ³ /h ökat varvtal
17	37	0	0	0
18	38	0	1,251	0
19	39	0	1,729	0
20	40	2,763	3,403	2,488
21	41	3,935		3,459
22	42	4,972		4,578
23	43	5,064		

Noggrannheten som anges för flödena i tabellen ovan är inte rimliga men redovisas ändå som ett exempel på att små varvtalförändringar ger väldigt stora flödesförändringar. Tyvärr var differensstrycket inte känt när flödeskontrollen gjordes.

I Figur 9 redovisas pumpkurvan för en solfångaranläggning i Ödåkra. Mätpunkter för flödestestet visas med röda stjärnor samt är inlagda i en tabell och det framgår tydligt att det inte blir något flöde innan differensstrycket är övervunnet och därefter blir det en mycket flack flödesberoende tryckfallskurva ovan på detta trycksteg.



Figur 9 Pumpkurva från anläggningen i Ödåkra med inlagt differensstryck, flöde vid olika varvtal på inmatningspumpen och vid olika öppningsgrad på SV2 med konstant varvtal på pumpen samt teoretiskt maximalt flöde.

Det finns även en andra kurva inlagd med svarta stjärnor. Dessa markeringar avser ett försök där pumpen gavs ett konstant varvtal på 48 % varefter flödet ströps med hjälp av ventilen, SV2, som sitter i serie med pumpen. Det är då fullt möjligt att succesivt minska flödet ner mot noll men under ett visst flöde, cirka 0,65 m³/h, arbetar pumpen i ett flödesområde som den inte bör arbeta i. Trots att ventilen inte var riktigt rätt dimensionerad fungerade flödesregleringen även om ventilen måste stängas mycket

innan flödet minskade nämnvärt och vid små flöden måste regleringen tas i väldigt små steg.

4.3 SYSTEMALTERNATIV

Det finns en generell uppfattning att en inmatningscentral ska göras så enkel som möjligt men att den ändå ska uppfylla de krav som ställs. Det vanligaste är att det finns en värmeväxlare mellan värmekällan och fjärrvärmenätet men så är inte alltid fallet. Det finns pannor som utan problem kan klara tryckkraven som ställs i fjärrvärmenätet och det finns också solfångare som är godkända för högt tryck och det vatten som används i fjärrvärmenätet. Trots detta blir oftast beslutet att sätta in en värmeväxlare mellan värmeproducenten och nätet framför allt för att minska risken för läckage av fjärrvärmevatten.

Oavsett om det finns en värmeväxlare eller inte så kan inkopplingssystemet delas i två delar. Primärsystemet ska ta hand om de krav som värmeproducenten har i frågan om temperaturnivåer, tryck och flöden samt se till att temperaturen ut från värmekällan är tillräckligt hög för att kunna användas för inmatning om det gäller en R/F-anläggning. Det finns några sätt att se till att temperaturen ut från värmeproducenten är tillräckligt hög. De vanligaste är att använda ett variabelt flöde eller en shuntkrets (även kallat kortslutning eller bypass). Om inte värmeproducenten kan ge en tillräckligt hög temperatur så blir det ingen värmeleverans alls.

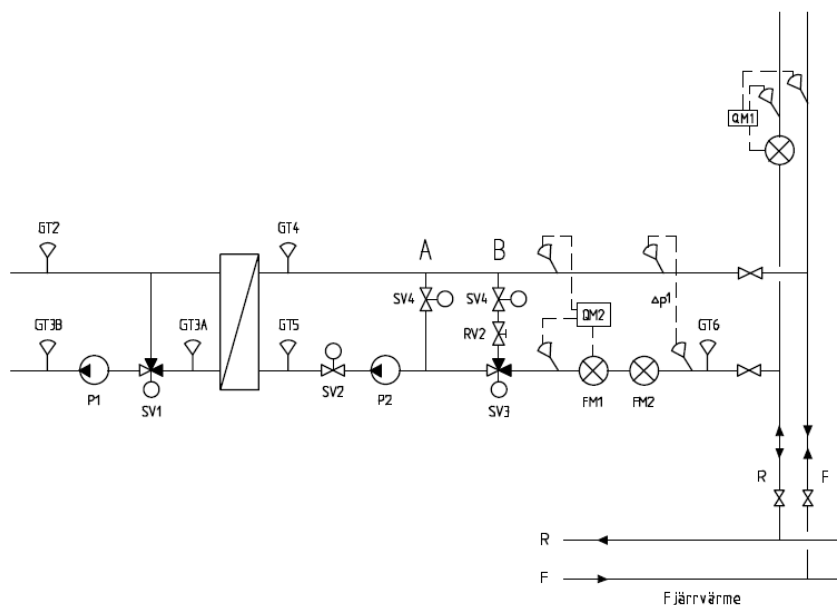
Inmatningssidan måste sedan kunna ta hand om temperaturen så att rätt temperatur matas in på nätet även om det ibland kan vara viktigare att hålla en jämnare inmatning av effekt och flöde än att hålla en väldigt exakt inmatningstemperatur.

I detta avsnitt beskrivs en rad systemalternativ för anläggningar som är byggda. I viss mån är systemlayouten kopplad till en given reglerprincip men det behöver inte av nödvändighet vara så utan samma systemlayout kan användas med olika reglerprinciper och tvärt om. Syftet är att visa hur det är gjort och vilka nackdelar och fördelar som har funnits med respektive systemlösning.

Det har inte funnits en väl fungerande teoribildning när inmatningssystem för olika solvärmeanläggningar har byggts vilket har inneburit att vissa grundläggande fel har upprepats mellan olika anläggningar. Det har heller aldrig gjorts någon ordentlig uppföljning av de solfångaranläggningar som byggts för att se om de fungerat som förväntat. Inblandade personer (däribland Lennermo) kunde följa anläggningarna via trendkurvor som kunde tas ner via internet där det kunde noteras att funktionen inte var riktigt bra (Dalenbäck, Lennermo, Andersson-Jessen, & Kovacs, 2013).

4.3.1 Beteckningar

I Figur 10 redovisas var olika givare och annan utrustning sitter men för att göra det tydligare så listas de också. Det finns ett visst system för beteckningarna som har använts för inmatningscentraler som dock inte följer några andra vedertagna system. I denna rapport används dessa genomgående.



Figur 10 Schema som framför allt redovisar placering och beteckningar för olika komponenter

På värmekällans primärsida så används:

P1 – Cirkulationspump

SV1 – Shuntventil eller kortslutningsventil

GT1 – Värmekällans varma temperatur

GT2 – Varm temperatur på varm sida av värmeväxlaren

GT3A respektive GT3B – Kall temperatur på varm sida av värmeväxlaren, före och efter kortslutningsledningen.

På fjärrvärmesidan så används:

GT4 – Varm temperatur på kall sida, inmatningstemperatur

GT5 – Kall temperatur på kall sida vid värmeväxlaren i eventuell kortslutningskrets

GT6 – Fjärrvärmenätets returtemperatur

P2 – Inmatningspump

SV2 – 2-vägsventil i inmatningskretsen på P2:s trycksida

SV3 – 3-vägsventil för temperaturhållning i inmatningskretsen

SV4 – 2-vägsventil i kortslutningsledningen

RV2 – en fast injusteringsventil i kortslutningsledningen för att hjälpa SV3 att fungera

QM2 – Värmemängdsmätare med FM1 och 2xGT, Flödeskontroll

FM2 – Flödesgivare för styrning av inmatat flöde om inte FM1 kan användas

$\Delta p1$ – Fjärrvärmenätets differens tryck

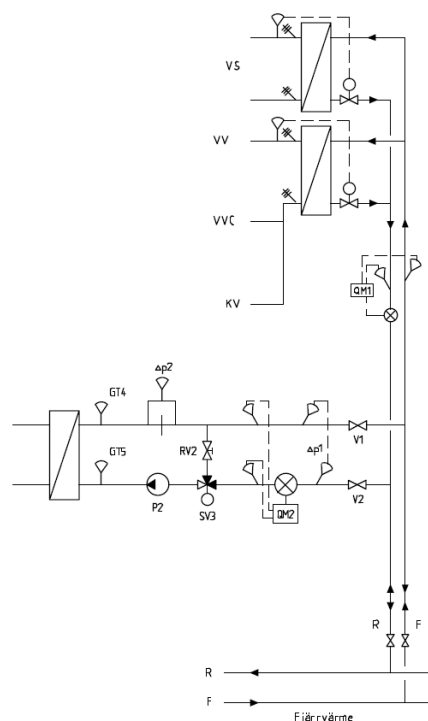
4.3.2 Variant 1, Pump + 3-vägsventil med mätfläns

Inför byggnationen av de första primärinkopplade solvärmeanläggningarna i Malmö inför bomässan Bo01 år 2000 gjordes en relativt omfattande teknikgenomgång. Mycket av förarbetet finns samlat men är inte offentligt tillgängligt.

Tanken bakom systemet som är redovisat i Figur 11 är att flödet genom värmeväxlaren ska vara lika stort på båda sidor för att få bästa verkningsgrad. Flödet i

solvärmekretsen sattes att vara konstant utifrån två aspekter: när plana solfångare används ska flödet i absorbatorrören vara turbulent för att ge en bra värmeöverföring samt att vid en relativt hög solinstrålning ska solfångarna kunna värma hela temperaturlyftet från fjärrvärmenätets returtemperatur till önskad framledningstemperatur med temperaturtappet i värmeväxlaren borträknad.

Flödet i solvärmekretsen var konstant och för att kunna hålla rätt flöde på fjärrvärmesidan så används en mätfläns som ger ett börvärde till inmatningspumpen. För att kunna hålla rätt temperatur så används en shuntventil, SV3, som blandar returvatten från fjärrvärmenätet med vatten mot ett börvärde vid GT4. För att SV3 ska få god reglerbarhet så installerades en injusteringsventil, RV2, i kortslutningsledningen. Tanken var att tryckfallen över SV3:s portar skulle vara ungefär lika så att SV3 skulle kunna fungera.



Figur 11 Systemlayout för system med pump och 3-vägsventil – förenklat system för Bo01. Δp2 är mätt tryckfall över en mätfläns och används för att P2 skall hålla rätt varvtal och flöde.

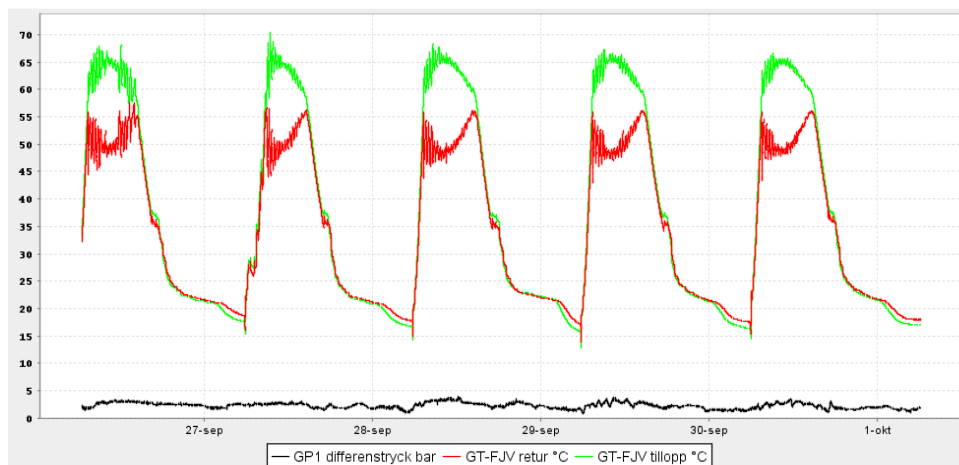
Ett annat centralt beslut som togs var att systemuppbyggnaden ska vara så enkel som möjligt och att endast ett alternativ av R/R respektive R/F ska användas i varje anläggning – alltså inga kombianläggningar. Huvudskälet var att R/R ger stora nackdelar för fjärrvärmesystemet, i synnerhet om det blir många installationer. Det andra argumentet var att omställningen mellan R/R och R/F aldrig blir helt ideal vilket innebär att en kombianläggning i förhållande till en ren R/F-anläggning alltid kommer att producera lite mindre värme ut på framledningen. Om denna mindre värmemängd på framledningen kompenseras av en viss mängd värme som matas in på returledningen är upp till det enskilda fjärrvärmebolaget att avgöra. Hur stora värmemängder det är frågan om har inte uppskattats och idag finns heller inget användbart program som kan beräkna detta vilket gör att endast grova uppskattningar kan göras.

Ett annat tungt skäl, som också gäller idag, är att anläggningarna blir nog komplicerade som de är. Ska två vitt skilda system sammanföras i samma anläggning och ha samma reglerutrustning, så är risken för felaktig funktion stor.

Reglerprinciper för anläggningarna på Bo01 är i stora drag samma som för de andra anläggningarna som byggts senare i Sverige:

- Solkretspumpen startar vid en liten undertemperatur – någon grad lägre än vad som krävs för att mata in på fjärrvärmesystemet – och går sedan en given tid. Om inte rätt temperatur uppnås under denna tid så stoppar pumpen igen. Pumpens varvtal är i princip ett fast varvtal inställt mot solfångarnas dimensionerande flöde.
- Inmatningspumpen startar vid en given temperatur på den varma sidan av värmeväxlaren i inmatningskretsen.
- 3-vägsventilen i solvärmekretsen används endast som frysskydd för värmeväxlaren och öppnar när temperaturen är tillräcklig hög.
- Inmatningspumpen styrs av en differenstrycksgivare, Δp_2 , så att flödet ska vara lika stort på båda sidor i värmeväxlaren. Detta flöde är ett börvärde och motsvaras av solfångarnas dimensionerande flöde, se ovan. (Detta är specifikt för anläggningarna på Bo01).
- 3-vägsventilen på fjärrvärmesidan styr inmatningsflödet så att rätt börvärde ut på fjärrvärmenätet kan erhållas. Skillnaden mot andra anläggningar är att alla byggnader inom området är dimensionerade för en lägre framledningstemperatur än vad som finns i de andra delarna av Malmö. Skulle den inmatade lägre temperaturen komma in i de andra delarna av Malmö så finns en risk att det skulle medföra problem. Därför begränsas inmatningsflödet vid en relativt hög, dock inte maximal, solinstrålning. Vid högre effektproduktion än denna nivå höjs inmatningstemperaturen.
- Stoppfunktionen kan vara lika olika utformad men inmatningspumpen, P2, stoppas när rätt inmatningstemperatur inte kan erhållas. P2 är också förreglad mot P1 så att den inte får vara i drift om inte P1 är i drift. P1 har oftast en förlängd drifttid, ibland med lägre varvtal.
- I ingressen av det dokument som upprättats för att beskriva vilka reglerprinciper som används och som är daterat efter det att anläggningarna har tagits i drift så konstaterar författarna att "för att nyttja solvärmen måste solfångarkretsens cirkulationspump hela tiden köra en funktion av solintensiteten. Fjärrvärmesidans cirkulationspump borde även den varvtalsstyras, så att primär- och sekundärflödena är lika stora". Denna reglerprincip valdes bort till vis del på grund av risk för behov av ökad tillsyn.

Figur 5 visade den inmatade effekten på fjärrvärmenätet från anläggningen på Salongen 11 under 21 juni 2012 och det framgick att anläggningen besvärades av effektpendlingar. Frekvensen var drygt 20 minuter med en svängning mellan några få kW till över 110 kW som mest. I Figur 12, som visar data från den portabla mätutrustning som använts, syns de temperatursvängningar som finns i solvärmekretsen. Temperaturnivåerna i solvärmekretsen samsvänger mycket sannolikt med effektinmatningen men det gick tyvärr inte att få dessa data under samma tid på grund av problem med det stationära reglersystemet. Det kan tilläggas att det vid tillfället rädde jämn, hög solinstrålning och det är således inga moln som förorsakar skeendet.



Figur 12 Mätningar av differensstryck samt kall och varm temperatur i solvärmekretsen från Salongen 11, Bo01. I figuren motsvarar röd linje "GT-FJV retur °C" solvärmeanläggningens kalla sida och "GT-FJV tillopp °C" redovisar solvärmeanläggningens varma sida, tilloppet.

I anbudshandlingarna för solvärmeanläggningarna för Bo01 så skulle anbudsgivaren ange vilket flöde som skulle användas för just den solfångaren för att få en temperaturhöjning på 30°C vid några olika nivåer av solinstrålning. Flödet för en relativt hög instrålning användes sedan som det fasta flöde som solvärmeanläggningen injusterades mot.

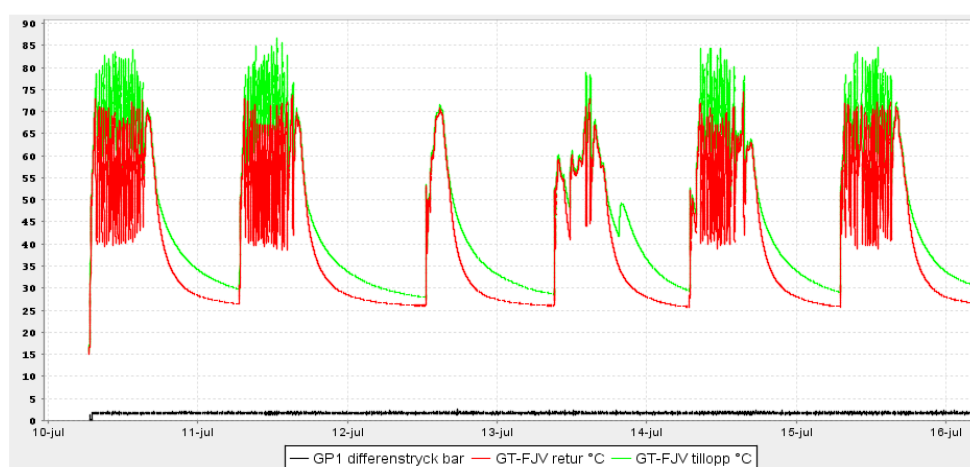
Det som framgår av de temperaturmätningar som gjorts är att temperatursvängningarna minskar mitt på dagen när solinstrålningen motsvarar den effekt som flödet är injusterat för. Vid lägre instrålade effekt, framför allt på förmiddagen, så ger inte den instrålade effekten tillräckligt stor temperaturhöjning vilket gör att det blir svängningar i temperatur och inmatad effekt. Slutsatsen är att konceptet med fasta flöden på båda sidor i värmeväxlaren inte räcker för att få en bra inmatningsreglering.

4.3.3 Variant 2, Pump + 3-vägsventil och differensstrycksgivare

Under några år byggdes inga nya primärinkopplade solvärmeanläggningar med pump och 3-vägsventil men 2012 återkom konceptet i en lite förenklad form. En anläggning byggdes i Solna vilken följdes upp av en i Karlstad. Anläggningen i Karlstad är en kombianläggning som är både primär- och sekundärkopplad. Inkopplingarna ligger parallellt, se även 3.4.3. Skälet var att problemet med varierande temperaturer i solvärmekretsen hade iakttagits, trots bristfällande uppföljning. Efter att trendkurvor hade erhållits från anläggningarna i Malmö under sommaren 2012 så studerades även den inmatade effekten och då kunde svängningar iaktas även här, något som dock inte finns dokumenterat. Trots svängningar i inmatad effekt och flöde har inget fjärrvärmebolag reagerat på bristande funktion förrän under våren 2015 då anläggningen Noisun i Lerum togs i drift. En intern uppföljning av anläggningarna på Bo01 har gjorts av de som är anläggningsansvariga där problemen har diskuterats men någon ombyggnad har inte gjorts.

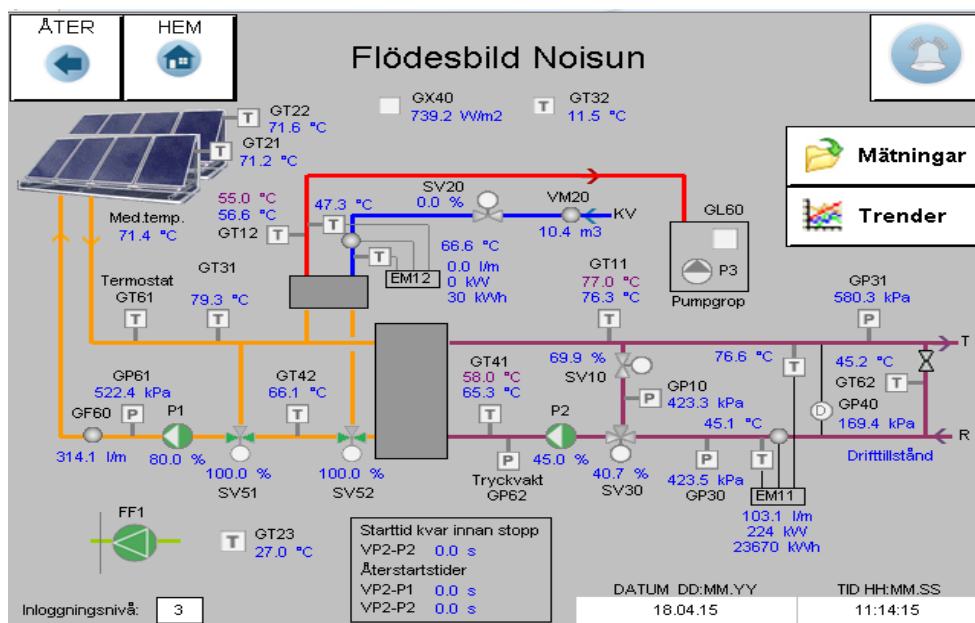
I Figur 13 framgår att 10-11:e samt 14-15:e juli var soliga dagar, 12:e var helmulen medan 13:e var molnig även om solen orkade fram en liten stund. Den röda kurvan är temperaturen upp till solfångarna (returtemperaturen) och den gröna är temperaturen

ner från solfångarna (tilloppet). Returtemperaturen från fjärrvärmenätet är cirka 40 °C vilket varje lägstupunkt på den röda kurvan visar. Under en kort tid skickas det upp ett flöde till solfångarna som har nästan samma temperatur som fjärrvärmenätets returtemperatur. När detta flöde med låg temperatur har passerat solfångarna, kommit ner till värmeväxlaren, tagits sig över till fjärrvärmesidan genom värmeväxlaren och så slutligen nått GT4 så är temperaturen lägre än börvärde för att matas in ett flöde. När temperaturen blir för låg så stänger 3-vägsventilen, SV3. När SV3 stänger så stiger temperaturen upp till solfångarna och då stiger även temperaturen ut från solfångarna, grön linje i Figur 13, och när denna temperatur når värmeväxlaren så öppnar SV3 igen och lite värme matas in på nätet. Solfångarna ger som mest mellan 80 och 85 °C trots att börvärdet för inmatning endast är 75 °C.



Figur 13 Temperatursvängningar från solfångaranläggning på Tingvalla. I figuren motsvarar röd linje "GT-FJV retur °C" solvärmeanläggningens kalla sida och "GT-FJV tillopp °C" redovisar solvärmeanläggningens varma sida, tilloppet.

Nästa större anläggning som byggdes var Noisun i Lerum. Nu fanns problematiken med fjärrvärmenätets differenstryck som ett dominerande tryckfall för inmatningen med från början. En differensstrycksgivare, GP40, se Figur 14, installerades med avsikt att matcha inmatningspumpens varvtal mot differensstrycket.



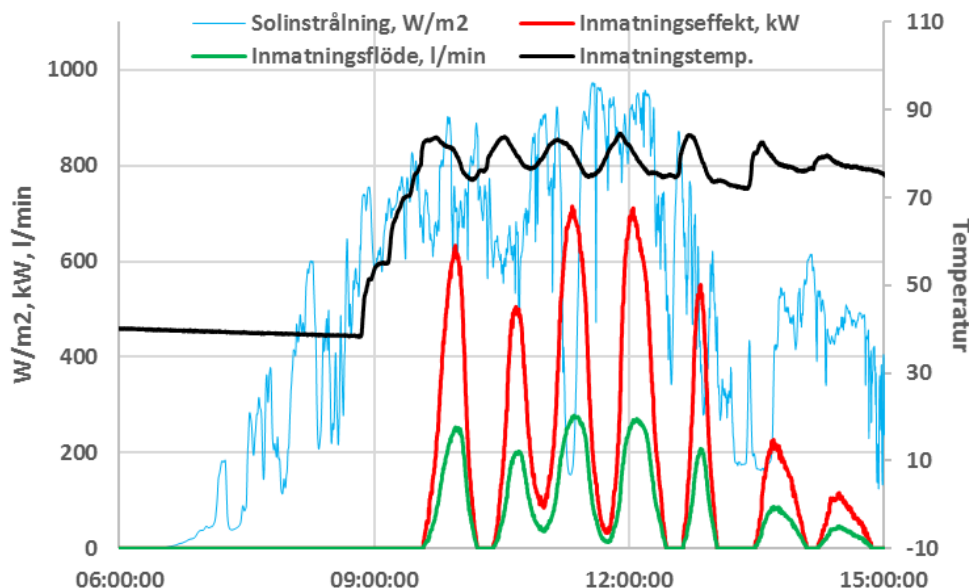
Figur 14 Flödesschema för solfångaranläggning i Lerum. G3 med inmatningspump och 3-vägsventil.

Ambitionen från början var att 3-vägsventilen (SV30) skulle stänga shuntkretsen så att funktionen blev ungefär som för en inmatningsanläggning utan kortslutningsledning, se 4.3.4.

I anläggningarna på Bo01 användes en injusteringsventil i kortslutningsledningen i inmatningskretsen. Den gavs ett fast värde som skulle motsvara differenstrycket i nätet. Initialt sattes injusteringsvärdet till 1 bar men vid driftsättning av anläggningen ströps ventilen hårdare än så. Den funktion som nu infördes i Noisun var att injusteringsventilen i kortslutningskretsen ersattes med en tvåvägsventil SV4 (SV10 i Figur 14). Dessutom skulle det finnas absoluttryckgivare (GP10 och GP30) före SV3 i båda anslutningarna. GP30 mäter absoluttrycket i returledningen och detta värde används som börvärde för SV4 (SV10) för att skapa ett lika stort absoluttryck vid GP10. I Figur 14 ovan så är dessa värden i princip lika stora.

Det kunde tidigt konstateras att anläggningen drogs med liknande problem som setts tidigare med svängningar i inmatad effekt och svängningar i temperaturerna i solvärmekretsen samt att varvtalsreglering av P2 och tryckbalanseringen av SV3 inte hjälpt. En väsentlig skillnad mellan denna anläggning och alla föregående är att denna är avsevärt större i förhållande till fjärrvärmenätet till vilket den är ansluten.

Solfångararean är cirka 860 m² vilket ska ge en maximalt producerad effekt på cirka 450 kW. Figur 15 visar data från 9 april 2015. Det totala effektbehovet i fjärrvärmenätet ligger på 1,1–1,2 MW under solperioden. På grund av svängningarna i systemet så uppgår den inmatade effekten periodvis till nästan 800 kW vilket motsvarar mer än halva effekten och nästan halva flödet i nätet. Så kraftiga och snabba svängningar kan och kunde inte fjärrvärmesystemet hantera.

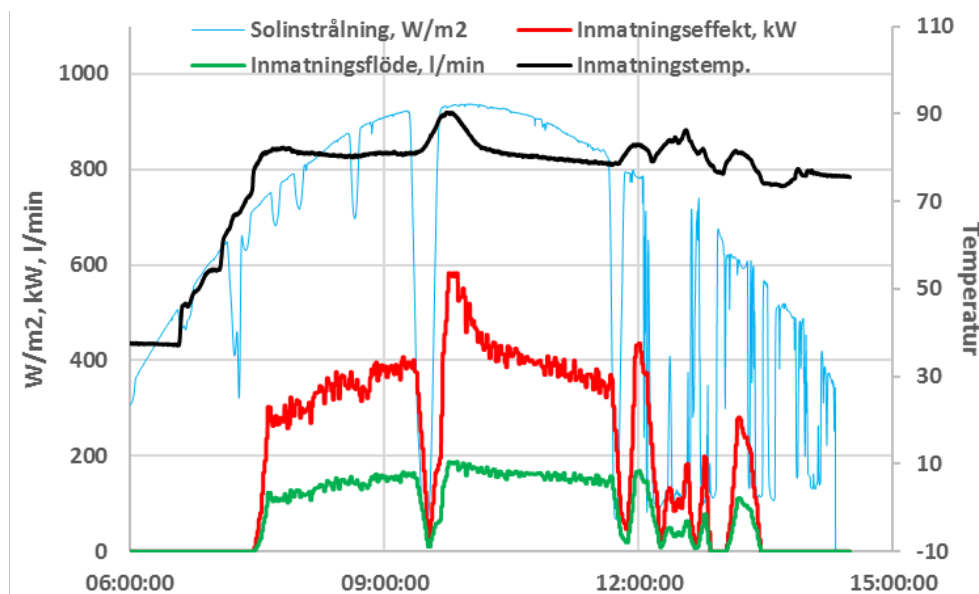


Figur 15 Diagram över solinstrålningen, inmatad temperatur, inmatad effekt samt inmatat flöde den 9 april 2015. På grund av bristande reglering svänger inmatad effekt och inmatat flöde kraftigt. Svängningarna i solinstrålning tyder på en relativt solig dag men med en del mindre slöjmoln. Två kraftiga dippar i solinstrålningen vilka syns tydligare i Figur 16 är skuggningar från elkablar som hänger framför solfångarna som ingår i utrustningen för järnvägen.

Dagarna efter denna händelse infördes en begränsningsfunktion så att temperaturen upp till solfångarna blir lika viktig som temperaturen ut på fjärrvärmenätet. Begränsningsfunktionen utformades så att om temperaturen vid GT5 (GT41), Figur 14, blir för låg så ska värmeeffekten begränsas så att solfångarna hela tiden får upp en tillräckligt hög temperatur som är användbar. Börvärdet vid GT5 (GT41) är beräknat utifrån solfångarekvationen¹, men i styrningen används inte den direkt utan den är omräknad till en temperatur som styrs av solinstrålningen och utomhustemperaturen.

Begränsningsfunktion gav en betydligt stabilare värmeproduktion även om inmatningseffekten och inmatningsflödet är något ojämn. Figur 16 visar data för den 20 april i år. Den maximala solinstrålningen var nästan 1000 W/m² (blå linje och skala till vänster), den inmatade effekten varierade mellan 350 och 400 kW (röd linje och skala till vänster) med en korta pik på nästan 600 kW (på grund av en skuggning av instrålningsgivaren) och flödet var cirka 180 l/min vilket ger en temperaturhöjning på knappt 38°C.

¹ Med hjälp av solfångarekvationen kan en solfångares verkningsgrad beräknas utifrån några prestandakonstanter samt instrålning och tre temperaturnivåer: temperaturen i omgivande luft, temperaturen in i solfångaren samt temperaturen ut från solfångaren.



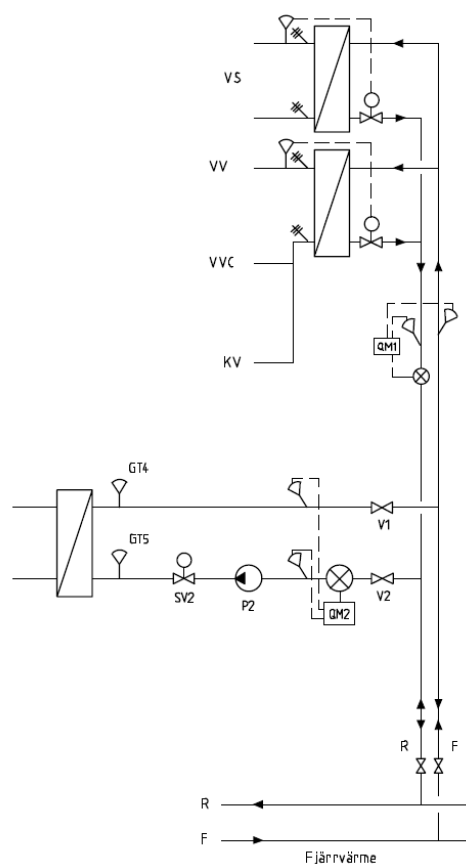
Figur 16 Ett diagram för solinstrålning, inmatad temperatur samt inmatad effekt och flöde som är från den 20 april 2016. I regleringen har funktion lagts in som begränsar effektuttaget och reglerar temperaturen till solfångarna. Den inmatade effekt blir mycket följsammare förutom under de tider då systemet luras. Solinstrålningssgivaren skuggas ett par gånger på dagen av elkablar som ingår i järnvägens utrustning. När systemet tror att de är låg solinstrålning, låg producerad effekt, så dras inmatningen ner men eftersom det är bara är givaren som skuggas så samlas det upp en del värme i solvärmekretsen vilka matas in på fjärrvärmen när solinstrålningssgivaren inte skuggas längre. Anläggningen är nu kompletterad med ytterligare en solinstrålningssgivare.

Så fort som SV30 stänger helt, den införda begränsningsfunktionen faller ur av något skäl, så återfår anläggningen sina stora effektsvängningar.

Detta systemupplägg blir utgångspunkten för de temperaturreglerade system som presenteras i avsnitt 5.1.4.

4.3.4 Variant 3, pump + 2-vägsventil

Vid ett försök till mer kommersiell upphandling av prefabricerade enheter för två anläggningar, en i Karlstad och en i Malmö, så inkom anbud med en förenklad layout. Detta koncept ärvdes sen av Armatec och kallas här för variant 3. I variant 3 används en pump och en 2-vägsventil som ska samverka för att erhålla rätt temperatur. Den reglerprincip som användes var inte tillräckligt genomtänkt även om senare tester visar att det eventuellt skulle vara möjligt att använda detta systemupplägg. Figur 17 visar en förenklad bild av hur systemet ser ut. 2-vägsventilen är placerad på pumpens trycksida för att inte riskera för låg tryck på sugsidan med risk för kavitation. Grundkonceptet att solvärmesystemet skulle ha konstant varvtal behövs.



Figur 17 Systemlayout för variant 3, inmatningsutrustning med pump och en 2-vägsventil.

Inmatningssystem av variant 3 har, likt variant 1 och 2, visat sig kunna hålla en korrekt inmatningstemperatur, men den inmatade effekten varierar kraftigt med en frekvens på 20-30 minuter, lite beroende på system.

Figur 18 visar temperaturpendlingarna en dag i juli i anläggningen i Gårdsten. Den röda kurvan visar temperaturen upp till solfångarna medan den gröna visar temperaturen ner från solfångarna. Trots den mycket variabla temperaturen i solvärmekretsen så hölls inmatningstemperaturen till fjärrvärmenätet inom ett spann på några få grader.

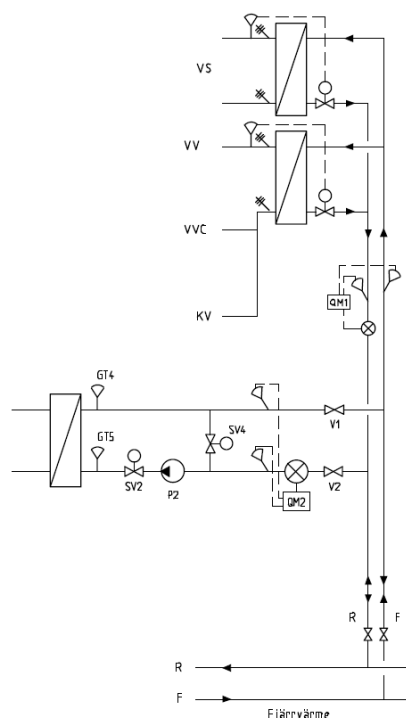


Figur 18 visar temperatursvängningarna för anläggningen i Gårdsten. I figuren motsvarar röd linje "GT-FJV retur °C" solvärmeanläggningens kalla sida och "GT-FJV tillopp °C" redovisar solvärmeanläggningens varma sida, tilloppet.

Pendlingarna i systemet uppstår på grund av att flödet i kretsen är fast och att det inte finns någon styrning av temperaturen upp till solfångarna. När temperaturen ner från solfångarna är tillräckligt varm så börjar värme att matas in på fjärrvärmenätet. När denna inmatning börjar så blir temperaturen upp till solfångarna för kall vilket medför att temperaturen ut från solfångarna några minuter senare blir för låg och inmatningen bromsar in mycket kraftigt. Då stiger temperaturen i flödet upp till solfångarna igen vilket ger en högre temperatur ut från solfångarna och efter några minuter så blir det tillräckligt varmt för att åter mata in värme på fjärrvärmenätet.

4.3.5 Variant 4, pump + två 2-vägsventiler

Studierna av Noisun-anläggningen har tydliggjort att SV3 (SV30) inte får stänga helt om svängningarna i anläggningen ska elimineras eller reduceras. Om SV3 stänger helt är pumpen helt utelämnad åt att balansera flödet mot nätets differenstryck och då fungerar inte regleringen. För att förenkla detta har en layout enligt Figur 19 tagits fram. Eftersom differenstrycket är stort och oberoende av inmatningsflödet så behövs ingen 3-vägsventil utan den kan ersättas med en 2-vägsventil, SV4, i kortslutningsledningen. Det kommer i princip alltid att gå ett flöde genom denna ventil så länge som den inte är helt stängd.



Figur 19 Utformning av en inmatningscentral enligt variant 4, pump och två 2-vägsventiler, en ventil i serie med pumpen och en 2-vägsventil i kortslutningsledningen.

Vid de flödestester som beskrevs i avsnitt 4.2.3 hamnade pumpens driftspunkt under pumpkurvan. Detta kan sannolikt göras bättre med en bättre anpassad pump men för att kunna hjälpa pumpen att få en arbetspunkt inom pumpkurvan så bör det sannolikt finnas en 2-vägsventil, SV2, som kan höja tryckfallet i inmatningskretsen när så blir nödvändigt. Denna konfiguration har inte testats. Det fanns offert på en anläggning på Gotland men den har inte byggts och kommer nog inte att byggas vilket gör att det inte finns några driftsdata för denna typ av layout.

4.3.6 Andra systemvarianter

Danska inmatningssystem

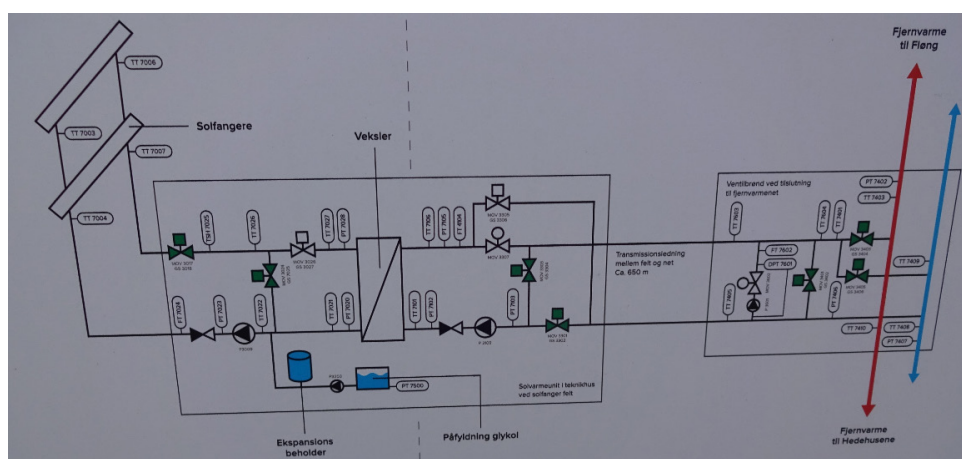
Sen mitten av 1990-talet har nästan alla större solvärmeanläggningar i Danmark haft variabelt flöde i solvärmekretsen. De allra flesta anläggningarna är inkopplade centralt i fjärrvärmenätet, som av del av nätets huvudsakliga värmeproduktion. Många solvärmeanläggningar täcker hela värmebehovet i fjärrvärmenätet under ett antal timmar på dagen sommartid och då regleras solvärmeanläggningarna för att ge den framledningstemperatur som erfordras, i likhet med en decentraliserat inkopplad R/F-anläggning.

Det variabla flödet regleras av solinstrålningen och utomhustemperaturen, som mäts på ett eller flera ställen med solinstrålningssgivare. Hänsyn tas även till temperaturen på flödet till solfångarna vilket innebär att om returtemperaturen i fjärrvärmenätet periodvis är för låg så kompenseras regleringen för detta.

Flödet som beräknas för solvärmekretsen används även som börvärde för fjärrvärmesidan. Inmatningsflödets ärvärde erhålls från en mycket snabb flödesmätare, vilken styr inmatningspumpens varvtal. I de anläggningar som besökts så används extern frekvensstyrning.

För en solvärmeanläggning blir det ganska många timmar med relativt lågt flöde i förhållande till det maximala flöde som anläggningen och pumpen är dimensionerad för. Om pumpen under denna tid har en arbetspunkt som ligger i ett område som inte rekommenderas så bör pumpleverantören tillfrågas angående vilka garantier som gäller. Hur detta är reglerat i Danmark är inte känt.

Figur 20 visar inkopplingen av en primärinkopplad decentraliserat belägen anläggning. Ventiler med kvadratiska ställdon är av typen on/off medan runda ställdon är modererande. Utrustningen inom den stora rektangeln lite till vänster om mitten är en prefabricerad enhet som sitter nära solfångarfältet. Utrustningen i rektangeln till höger sitter vid fjärrvärmesystemets stamledning cirka 600 meter ifrån solfångarna. Anläggningen kan ha inmatning både R/F och R/R varav den senare inte är använd. Några av ventilerna är till för att säkerställa att kulverten inte fryser genom att använda primärvärme och skicka den baklänges genom systemet. Enligt uppgift så klarar inmatningspumpen av hela flödesområdet. Det finns en modererande 2-vägsventil i serie med pumpen men hur den ventilen används är inte känt.



Figur 20 Foto av en systemlayout för en dansk decentraliserad primärinkopplad solvärmeanläggning. I anläggningen finns fler motorventiler än vad som behövs för normal drift men de används för frysskydd av en lång matningskulvert samt att ta bort kallproppen vid som uppstår vid lite längre uppehåll i inmatningen.

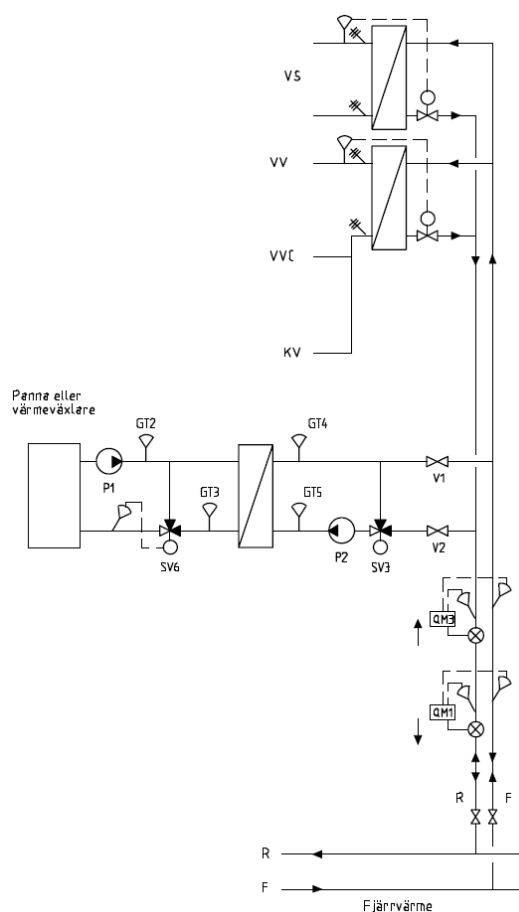
Tre decentraliserade primärinkopplade anläggningar i Danmark har besökts och den stora skillnaden mot Sverige är att differenstrycket är betydligt lägre. Detta skulle kunna bero på att det är relativt vanligt att byggnaders radiatorsystem är direkt anslutna till fjärrvärmesystemet (utan värmeväxlare).

I en anläggning användes även förrådsvarmvattenberedare istället för genomströmningsberedare vilket torde innebära att regleringen kan göras enklare och att differenstryck därmed kan hållas lägre.

Krematorium

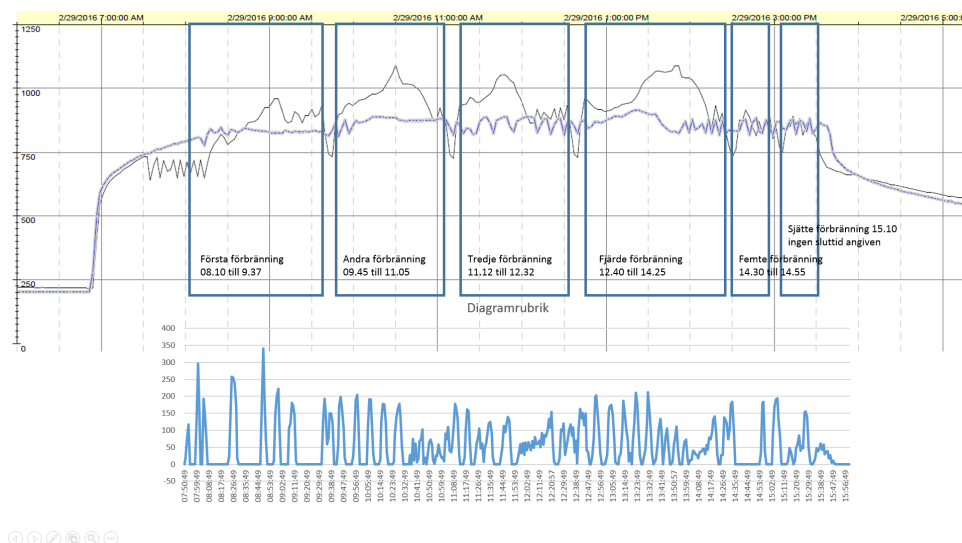
Det har varit svårt att erhålla högupplöst data från andra decentraliserade primärinkopplade anläggningar men efter mycket letande erhöles data från ett krematorium. Konfigurationen kan sägas motsvara variant 2, det vill säga med en 3-vägsventil på inmatningssidan, se Figur 21. I kortslutningsledningen finns ingen instrypningsventil, eller motsvarande, vilket gör att 3-vägsventilen, SV3, får svårt att reglera. Enligt erhållet rörschema är börvärdet för inmatningskretsen satt till 92°C (på

givare GT4) men vid mätningar så ligger framledningstemperaturen på lite drygt 100°C nästan hela tiden. Börvärdet till 3-vägsventilen som upprätthåller pann- eller värmeväxlartemperaturen, SV6, är inställd på 65 °C.



Figur 21 Förenklat systemschema för inkoppling av krematorium. Upplägget är i princip enligt variant 2 även om SV3, 3-vägsventilen på inmatningssidan, inte får någon hjälp med regleringen. Shuntkretsen runt värmeväxlaren ska hålla minst 65 °C som returtemperatur.

Mätdata för två dygn har studerats och redovisas i Figur 22. I det övre diagrammet visas temperaturerna för huvudbrännkammaren och efterbrännkammaren. I Figur 21 redovisas dessa kammare som en värmeväxlare. Temperaturerna varierar över dagen men ligger kring 800-900 °C under en stor del av tiden när anläggningen är i drift. Temperaturen i huvudbrännkammaren dippar till cirka 700 °C mellan de olika kremeringarna. Den nedre delen av diagrammet visar inmatningseffekten vid motsvarande tidpunkter. Det framgår tydligt att inmatningen av värme varierar på ungefär samma sätt som det gör för solvärmeanläggningarna trots att temperaturen i förbränningsutrustningen eller värmeväxlarna är relativt konstant. I pannkretsen finns en 3-vägsventil som upprätthåller temperaturen i pannan/värmeväxlarna men den svårreglerade styrningen av inmatningsflödet tar värmeenergi från mellankretsen och matar in denna mycket fortare till fjärrvärmenätet än vad den produceras. Efter en inmatning så blir mellankretsen kall och så tar det några minuter innan det blir varmt igen och inmatningen återupptas.



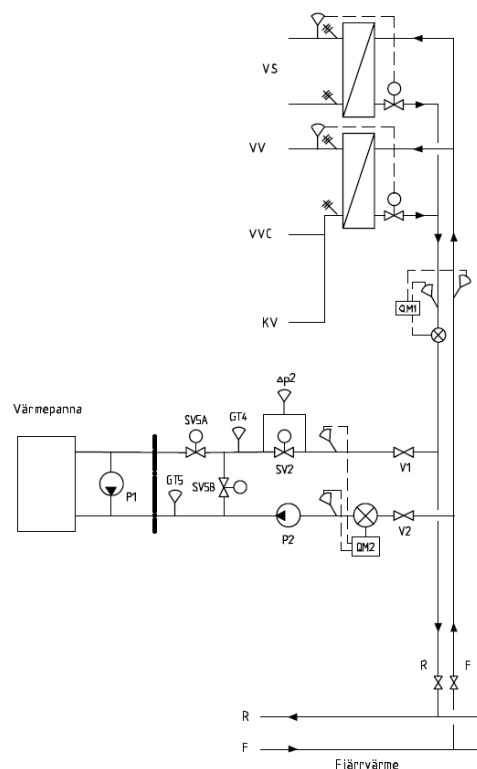
Figur 22 Inmatad värmeeffekt till fjärrvärmenätet (undre delen i figuren) samt temperaturer i rökgaskylare/värmeväxlare (övre delen i figuren).

Inkoppling av biogspanna

Vid ett avloppsreningsverk är det vanligt med produktion av biogas. Denna biogas kan användas på olika sätt men på några ställen förbränns den och värmen används för att värma lokaler och rötkammare. Om det finns ett värmeöverskott så kan detta matas in i fjärrvärmenätet.

I de fall en panna har lägre tryckklass än fjärrvärmenätet så måste den installeras bakom en värmeväxlare men har den erforderlig tryckklass kan den kopplas direkt till fjärrvärmenätet utan någon värmeväxlare emellan.

Oavsett inkoppling så måste pannan ha en egen cirkulationskrets så att temperaturen in i pannan inte blir för låg. Pannans effektavgivning och användningen av bränsle kan normalt inte regleras efter värmebehovet på fjärrvärmenätet, utan tillgängligt bränsle används alternativt att bränsleflödet läggs på en given nivå så att det passar mot lämplig effektleverans eller lagerhållning av bränsle. En given effektproduktion motsvarar att en given effekt matas in på fjärrvärmenätet. I Figur 23 finns en pump, P1, som ska hålla en konstant temperatur in i pannan. Om bränslemängden ändras så ändras pannans avgivna effekt vilket ändrar pannans framledningstemperatur. Vid ökad temperatur så ska flödet ut på fjärrvärmenätet ökas och SV2 ska öppna och släppa ut mer värme på fjärrvärmenätet.



Figur 23 Direktkopplad bränslepanna enligt R/F.

De allra flesta pannor ska ha en pannvattentemperatur som oftast är högre än fjärrvärmenätets framledningstemperatur, i alla fall på sommaren. Till skillnad från andra kortslutningskretsar i inmatningscentraler så ska temperaturen från pannan blandas ner vilket innebär att pumpen, P2, sitter före kortslutningen.

I anläggningen ovan har två 2-vägsventiler, SV5A och SV5B, använts. Dessa är kopplade till varandra så om den ena ventilen öppnar så stänger den andra. Börvärdet på framledningen ställs efter blandningspunkten, vid GT4.

För att alltid kunna garantera ett flöde ut på fjärrvärmenätet så mäts differenstrycket, Δp_2 , över 2-vägsventilen SV2 som reglerar inmatningsflödet. Differenstrycket ges som ett ärvärde till inmatningspumpen som även har ett börvärde för differenstrycket. Om det inte är något differenstryck så är det heller inget flöde. Om ventilen öppnar för att släppa ut mer värme så ökar pumpen sitt varvtal så att differenstrycket upprätthålls. Tryckfallet över ventilen är i detta fall satt till 80 kPa. Om differenstrycket ändras så ökar eller minskar det inmatade flödet vilket påverkar de andra funktionerna innan systemet hittar en ny balanspunkt. Pumpen varvtalsregleras med en extern frekvensomriktare.

Så länge ett givet varvtal motsvarar ett relativt exakt flöde så fungerar regleringen men är pumpkurvan flack, så att det inte finns en distinkt punkt, så blir regleringen svårare.

Det redovisade systemet är relativt dyrt eftersom det krävs flera ventiler och en högre tryckklass på alla ingående detaljer. Å andra sidan behövs ingen värmeväxlare vilket ger systemet en annan reglerkaraktistik.

Pannan kommer sannolikt att gå med relativt stabil effektleverans vilket gör att regleringen blir stabil om inte differenstrycket ändras nämnvärt.

4.3.7 Användning av värmelager eller ackumulatortank i inmatningssystem

Det förekommer att ett värmelager används vid en primärinkopplad prosument. Skäl till att använda ett värmelager är:

- Prosumenten vill kunna använda en del värme själv.
- Prosumentens producerade värmeeffekt är för stor för att momentant matas in på fjärrvärmenätet.
- Den decentraliserat producerade värmen ska, helt eller delvis, flyttas till en annan tidpunkt.
- Göra inmatningen av värme enklare.

Det finns i princip två alternativa placeringar av ett värmelager i en inmatningsanläggning, i fjärrvärmesystemet eller på andra sidan värmeväxlaren, om en sådan finns, ihop med den värmeproducerande enheten. Med "i fjärrvärmesystemet" menas att vattnet i lagret är samma vatten som finns i fjärrvärmesystemet vilket kräver samma tryckklass som fjärrvärmesystemet, det vill säga normalt 16 bar. En sådan tank har nackdelen att den blir förhållandevis dyr och kräver tillsyn varför skälet till att använda en sådan måste vara väl motiverat. Om tanken inte innehåller fjärrvärmevatten kan en lägre tryck- och temperaturklass användas vilket framför allt sänker kostnader.

Prosumenten vill använda en del värme själv, inkoppling både sekundärt och primärt

Om kunden vill använda värme direkt utan att gå via fjärrvärmenätet, som blir fallet med primär anslutning, så finns det två alternativ:

- Primär och sekundär inkoppling i serie
- Primär och sekundär inkoppling parallellt

De båda alternativen visas överskådligt i 3.4.3 och lite tydligare i resultatavsnitten 5.1.6 samt 5.1.7. I båda fallen kan värmelagret utformas med tryckklass PN1,5 vilket gör att det blir förhållandevis billigt. Figurerna är ritade med invändiga värmeväxlare men för större system blir det billigare med utvändiga värmeväxlare.

Flyttning av hela eller delar värmeproduktionen till en annan tidpunkt

Det är möjligt att i en solvärmeanläggning sänka effekteninmatningen genom att samla upp värme i rörsystemet men detta bör nog bara användas för att utjämna snabba effektförändringar i värmeproduktionen som skulle kunna ställa till reglerproblem för huvudpumparna i fjärrvärmenätet.

Ett skäl till att använda ett värmelager är om prosumentens värmeproduktion blir för stor för att momentant kunna matas in i fjärrvärmenätet. Skälen till detta kan vara att den värmeproduktionsutrustning som används centralt i fjärrvärmesystemet har en lägsta produktionsnivå som inte bör underskridas eller att den lokala värmekällan inte får ta hela effektlasten om den inte samtidigt tar över leveransansvaret av värme till alla kunder. Om prosumentens värmeproduktion temporärt är för stor för skillnaden mellan den centrala pannans effektproduktion och nätets värmebehov så kan detta överskott lagras tills det finns utrymme i fjärrvärmenätet att mata in det lagrade överskottet.

Förutom den produktionstekniska beräkningen så kan det finnas en kostnadskalkyl som gör att billig värme kan lagras tills den kan ersätta annan dyrare värme. I dessa lägen är den ekonomiska kalkylen mycket viktig – huruvida kostnaden för lager, fler detaljer, mer styrutrustning och mer tillsyn kan försvaras. Om det bara är ett produktionstekniskt problem kan värmeöverskottet kylas bort under den tid det ställer till problem. I solvärmeanläggningen Noisun i Lerum finns ett sådant nödkylsystem som under sommaren 2015 bara behövde användas ett fåtal timmar.

För vissa installationer kan det bli enklare med ett värmelager i inmatningskretsen, framför allt om den lokala värmeproduktionen är väldigt varierande och måttligt temperaturkänslig. Värmen kan samlas upp i värmelagret och effektvariationerna kan dämpas. Inmatningen kan ges ett exaktare flöde, vilket dock inte ska förväxlas med ett givet varvtal på pumpen. Det dominerande tryckmotståndet som inmatningspumpen ska övervinna är differenstrycket om inte inmatningskretsen ges ett "konstgjort" tryckfall som är dominant över differenstrycket och dess variationer. I vissa fjärrvärmenät och på vissa ställen kan differenstrycket vara väldigt stort vilket gör att mycket pumpkraft behöver strypas bort.

För en solvärmeanläggning görs bedömningen att motiven för ett värmelager inte kan baseras på detta argument, vilket inte i sig betyder att användning av ett värmelager inte ska användas men att skälet bör vara ett annat.

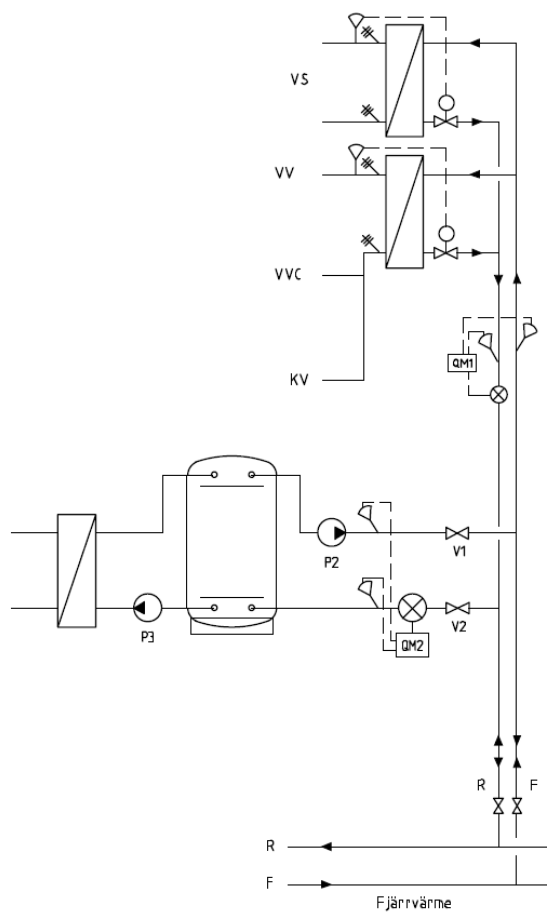
Om variationer i effektproduktionen är ett problem så måste ett värmelager användas. För en pann-anläggning kan det kanske vara möjligt att spara bränslet till en senare tidpunkt. Oavsett om det är variationer i produktionsledet eller i fjärrvärmesystemet så är det sannolikt lättast att styra den inmatade effekten till maximal nivå med ett seriekopplat system. Se Figur 38 i avsnitt 5.1.6.

Det är möjligt att använda ett parallellkopplat system, se Figur 39, men då krävs två parallella inmatningssystem vilket ökar kostnaden och komplexiteten.

Göra inmatningen av värme enklare

Det är tveksamt att inmatningen av värme till fjärrvärmenätet skulle bli enklare med ett värmelager. Om lagret inte placeras i inmatningskretsen, på fjärrvärmesidan, se Figur 24, så blir lagret ett sätt att flytta värme i tiden och det kan vara lämpligt vid låga effekter om det inte kan lösas på annat sätt. Om lagret placeras i fjärrvärmesystemet så minskar tryckfallen i inmatningskretsen vilket gör att differenstrycket blir än mer dominant vilket inte är en fördel.

Ett argument kan vara att inmatningen till fjärrvärmesystemet skulle bli enklare, framför allt om låg effektinmatning kan undvikas genom att värme lagras varvid inmatningspumpen snabbare kan passera det område i pumpkurvan där pumpen inte bör arbeta. Frågan är om samma fördel kan erhållas om tanken placeras på en annan plats i systemet eller genom att inmatningssystemet får en annan utformning? Utan att ha genomfört en djuplodande analys inom detta projekt så förefaller dock denna lösning inte tillföra något som inte enklare och billigare kan göras på ett annat sätt.



Figur 24 Värmelager i inmatningssystemet som är placerat i fjärrvärmesystemet. Används av en leverantör av solvärmeanläggningar i Tyskland.

5 Resultat

5.1 REGLERSTRATEGIER

I detta avsnitt följer en beskrivning av principerna för R/F-inmatning från en lokal värmekälla utan balansansvar, baserat på erfarenheterna redovisade i tidigare avsnitt. Inmatningssystemets reglering måste uppfylla två grundläggande krav för att anläggningen ska fungera bra:

1. Reglersystemet måste på något sätt veta hur mycket effekt som värmekällan producerar.
2. Reglersystemet måste kunna anpassa inmatningen av värmeeffekt så att den i princip är lika stor som den producerande effekten.

5.1.1 Bestämning av producerad effekt

I en solvärmeanläggning kan den producerade värmeeffekten beräknas utifrån solinstrålningen, några temperaturer samt specifika konstanter som finns framtagna för alla testade solfångare. Denna effekt kan omvandlas till ett flöde eller temperaturnivå vilket kan användas som börvärde i styrsystemet. I de flesta danska anläggningar beräknas vilket flöde som är lämpligt vid de förutsättningar som råder men det går lika bra att sätta börvärdet på temperaturen till solfångarna så som t ex Noisun är reglerad idag.

Om en panna används så måste effekten bestämmas på något sätt. Det kan vara:

- tillfört bränsle som räknas om med hjälp av pannans verkningsgrad
- temperaturen ut från pannan som i fallet med biogaspannan, se avsnitt 4.3.6, när temperatur in i pannan hålls konstant
- mätningar med en värmemängdsmätare

Vid användning av en kylmaskin så är det kylbehovet som ger maskinens värmeeffektproduktion. För att slippa ytterligare en värmeväxling som alltid ger en viss temperaturförlust så är det en fördel om kylmaskinens kondensor kan kylas direkt av fjärrvärmenätet, vilket innebär att kretsen måste vara PN16-klassad. Flödet i kondensorn bör vara turbulent och ligga över en lägstanivå vilket gör att både temperaturen och flödet in i kondensorn måste styras. Temperaturstyrningen ska se till att temperaturen ut från kondensorn blir tillräckligt hög för att kunna användas.

Används en värmeväxlare för till exempel värmeåtervinning från en process så kan möjligt effektuttag beräknas utifrån flödet och temperaturnivåerna.

I många fall så blir inte effektberäkningen så noggrann utan inmatningen anpassas till den effekt som finns tillgänglig genom flödes- och/eller temperaturstyrning.

5.1.2 Kontroll av den inmatade effekten

I avsnitt 4.3 finns ett antal figurer som visar hur systemet reagerar när den inmatade effekten inte följer effektproduktionen. När så inte blir fallet, och kravet är att den inmatade temperaturen ska hålla ett givet värde, så uppstår pendlingar i inmatat flöde och effekt. Utifrån detta har två grundtyper av inmatningssystem identifierats:

1. Temperaturreglerat inmatningssystem

2. Flödesreglerat inmatningssystem

De använder delvis samma utrustning men regleras på olika sätt. Generellt gäller att i det temperaturstyrda systemet så måste det alltid finnas ett kortslutningsflöde vilket medför att pumpen endast behöver se till så att det är möjligt att få ett inmatningsflöde. Detta åstadkoms genom att pumpen ska ge en lite högre tryckuppföring än fjärrvärmenätets differenstryck. Att rätt temperatur matas in samt att inmatad effekt och flöde är korrekta styrs av en eller flera ventiler medan pumpen alltså endast ska garantera att det kan bli ett inmatningsflöde.

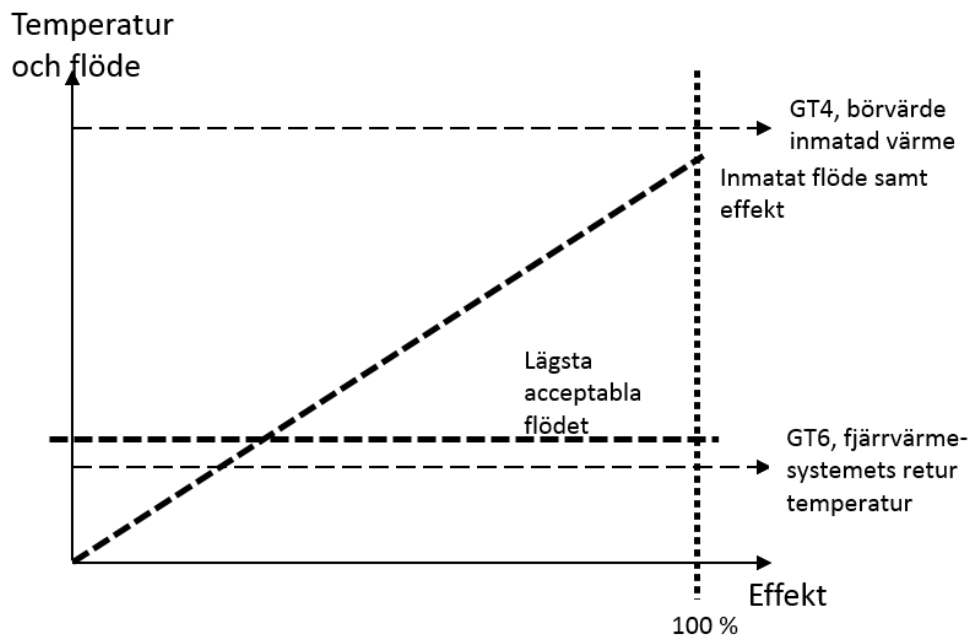
I ett flödesstyrt system så finns inget kortslutningsflöde vilket gör att rätt inmatningsflöde garanteras av inmatningspumpen och/eller en ventil som kan reglera tryckfallet. Systemalternativen utan kortslutningsrör, variant 3, tillhör denna systemkategori.

Systemalternativ med kortslutningsrör och 3-vägsventil – variant 1 och 2 – fungerar bäst som temperaturreglerade system medan system med en 2-vägsventil i kortslutningsröret kan vara både temperaturreglerade och flödesreglerade – variant 4.

Om systemet fungerar och den inmatade effekten är lika stor som den producerade så behövs inget värmelager. Det kan finnas skäl att använda värmelager vilket diskuterades i avsnitt 4.3.7.

För att åskådliggöra hur olika inmatningssystem är tänkta att fungera så har ett diagram tagits fram som används i följande figurserie. Figur 25 nedan visar referensfallet där några av delar av systemets konstanta värden har lagts in. På x-axeln visas inmatad effekt, där 100 % motsvarar värmekällans teoretiskt maximala inmatade effekt. På Y-axeln visas både temperaturer och flöde. Som givna värden i grafen har två temperaturer lagts in: GT6 – fjärrvärmesystemets returtemperatur och GT4 – inmatningstemperaturens börvärde. Båda temperaturerna är konstanta i figurerna för att förenkla beskrivningen.

En linje för lägsta acceptabla flöde har också lagts in motsvarande det lägsta flöde som rekommenderas av pumptillverkaren för den specifika pumpen. I praktiken måste tidsaspekten beaktas – hur länge pumpen befinner sig inom detta område. Vilka krav en pumpleverantör ställer på en användare för att hålla garanti på levererad produkt diskuteras inte vidare här men det är en central fråga.



Figur 25 Diagram för att åskådliggöra flöden och temperaturer för effekter från 0 till 100 % för en inmatningscentral. Det "Lägsta acceptabla flödet" ges av vald pump för det specifika systemet.

Inmatningspumpen ska alltid regleras med yttre reglering då dess uppgift inte tillfredsställande klaras med egen reglering. Huruvida man ska använda separat varvvalsreglering eller en som är sammanbyggd med pumpen kan diskuteras. Det är lämpligt att pumpmotorns varvtal kan läsas av på ett relativt enkelt sätt och inte enbart genom utsignalen från styrdatorn.

Om effekten är liten och nödvändigt drivtryck för att övervinna fjärrvärmenätets differensstryck är stort kommer pumpens arbetspunkt ligga långt till vänster i pumpkurvan, vilket åskådliggjordes i Figur 9. De pumpar som de större pumpstillverkarna rekommenderar har mycket flacka pumpkurvor i arbetsområdet närmast Y-axeln vilket gör det svårt för pumpen att genom sitt varvtal ge ett givet flöde och flödet blir lätt för stort.

5.1.3 Kortslutningskrets

I de redovisade layouterna för inmatningssystem så finns två huvudvarianter – med eller utan kortslutningsrör (shuntör). Skälen till att använda ett kortslutningsrör är dels systemtekniska men handlar även om att skydda inmatningspumpen från ogynnsamma driftsförhållanden. De systemtekniska skälen är:

- Utan kortslutningsledning kan inte värme flyttas över från den värmeproducerande sidan till fjärrvärmesidan utan att värme matas in på nätet. Detta medför att styrningen av inmatningspumpen inte kan göras utifrån temperaturen GT4, åtminstone inte vid uppstart och vid låga effekter.
- Det förefaller enklare att erhålla en bra reglering med en temperaturstyrd anläggning än en flödesstyrd, i alla fall om effekten är låg och differensstrycket stort och framför allt varierande. De danska anläggningarna talar visserligen emot detta men de är generellt större och arbetar mot ett lägre differensstryck än vad de svenska gör.

- Det är möjligt att åstadkomma små inmatningsflöden så att framledningsrörets "kallpropp" (vatten som stått stilla i framledningen och blivit avkylt) kan tömmas under en längre tid så att den inte stör närliggande fjärrvärmekunder. Om inmatningscentralen är placerad relativt nära en servisledning eller stamledning är problemet mindre men långa anslutningsledningar kan medföra en viss olägenhet om hela den kalla vätskevolymen matas in på fjärrvärmesystemet under kort tid. Andra åtgärder som också bör vidtas för att minska problemet med kallproppen är att ha så korta anslutningsledningar som möjligt samt att inte ha större dimensioner än nödvändigt.
- Det finns en liten risk för tryckslag om en större flödesförändring görs snabbt vilket kan bli fallet när inmatningen går från noll till ett stort flöde under en kort tid precis när differenstrycket övervinns. Det finns ingen chans att rampa in flödet som är brukligt vid andra större produktionsanläggningar om det inte finns någon kortslutningsledning.

Om det inmatade flödet under långa tider ligger inom det arbetsområde som pumptillverkaren anger som olämpligt så är det bättre om det finns en kortslutning som medger ett högre flöde genom pumpen även om det inmatade flödet är lågt. Ju mindre anläggning och ju högre differenstryck desto större blir problemet. Detta beror på:

- Lager, tätningar och bussningar i pumpen kräver kylning. Detta är viktigare ju högre medietemperaturen är.
- Pumpens lager är inte gjorda för att ta upp stora axiella krafter. Om det inte blir något flöde så kommer hela pumpens inmatade effekt att ge en axiell kraft på axeln som bär pumphjulen.
- Risken för kavitation ökar vid låga flöden vilket kan ge skador på pumphjulen.

För att kunna handskas med problemställningen måste pumptillverkarna definiera vad som är det lägsta godtagbara flödet för enskilda pumpar och under hur lång tid pumpen kan tillåtas uppehålla sig i ett icke sanktionerat arbetsområde samt vad som gäller för att hålla en produktgaranti.

Om ett system huvudsakligen ska fungera som ett flödesreglerat system så kan det vara lämpligt att starta upp systemet vid låga effekter som temperaturreglerat – alltså med ett kortslutningsflöde. Rördimensionen i kortslutningsledningen kan vara liten men det viktigaste är att 2-vägsventilen, SV4, är relativt liten för den ska strypa bort hela differenstrycket för ett litet flöde.

I ett temperaturreglerat system så är flödet i kortslutningsröret större än för ett flödesreglerat system men det arbete som SV4 ska göra är snarlikt. Tryckfallet över ventilen ska vid en nästan stängd ventil vara ungefär lika stort som differenstrycket. Det är viktigt att SV4 har en mycket god reglerkaraktär.

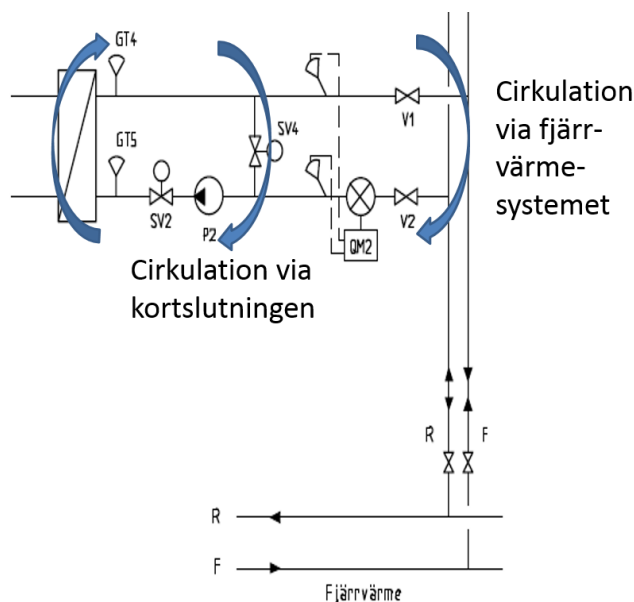
5.1.4 Temperaturreglerat inmatningssystem

I ett temperaturreglerat inmatningssystem kortsluts inmatningsflödet hela tiden. Så fort kortslutningsledningen stängs helt så blir systemet flödesreglerat vilket innebär att pumpens varvtal, eller samverkan mellan pumpen och SV2 om den senare finns, ska klara av att hålla rätt flöde vilket då kräver att regleringen är gjord för detta.

Skälet till att använda ett temperaturreglerat system är att det blir något enklare att reglera. Det innebär också att temperaturen tillbaka till värmekällan kan styras vilket

kan underlätta regleringen av värmekällan. Denna reglering kan också göras på andra ställen i inmatningssystemet och på andra sätt men för att underlätta inmatningen kan detta alternativ användas.

Flödet har två alternativa, parallella, vägar, vilket illustreras i Figur 26. Den ena vägen är genom kortslutningsledningen och den andra är över fjärrvärmenätet. Tryckfallet i kortslutningsledningen med ventil SV4 beror av flödet vilket i princip ger en enklare reglering. I den alternativa vägen, att hämta vätska från returledningen och mata in den på framledningen, dominerar fjärrvärmenätets differenstryck. Tryckfallet i de alternativa vägarna är alltid lika stora, förutsatt att det finns ett flöde över fjärrvärmenätet, eftersom flödet sköter balanseringen. Om en tvåvägsventil, SV4, används i kortslutningsledningen så måste den kunna arbeta över ett stort reglerområde. Den ska kunna strypa bort differenstrycket för hela flödesregistret från ett mycket litet flödet till systemets maximala flöde.

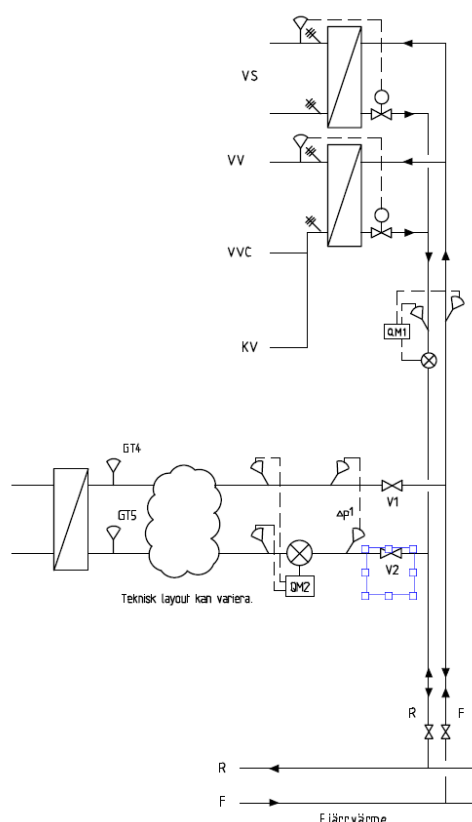


Figur 26 De två alternativa flödesvägarna för ett inmatningssystem.

Den enklaste reglerprincipen är att pumpen ges ett konstant varvtal beroende på differenstrycket, Δp_1 i Figur 27. Vid ett givet differenstryck så ska pumpen ha ett givet varvtal. Varvtalet kan beräknas eller testas fram vid installation. Vid en teoretisk beräkning är det viktigt att kontrollera vilket varvtal som pumpen får i förhållande till det som ställs in i styrdatoren, via 0-10 V- eller 4-20 mA-signal. Det går inte att utgå från att kurvan från styrdatoren är linjär mot pumpens varvtal. Grundinställningen i en pump från Grundfos är att 0 % från styrdatoren motsvarar 25 % varvtal på pumpen. Det kan vara enklare att köpa en pump utan egen reglering och installera en separat frekvensomriktare vars utsignal då bör gå att läsa av i överordnat system. Pumpens flöde är det teoretiska maximala flödet samt 5-10 % ytterligare som går genom kortslutningsledningen. I programmeringen så får inte SV2 stänga mer än till detta värde.

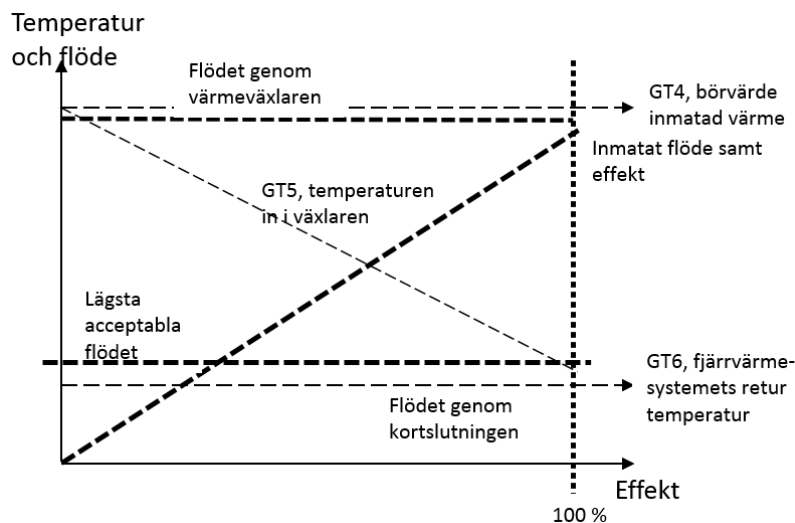
Är differenstrycket relativt stabilt kan ett givet varvtal läggas in i styrsystemet men flödet måste då kontrolleras på ett eller annat sätt. Denna kontroll behöver inte vara så snabb och exakt utan mer av arten huruvida det finns ett flöde eller inte. Denna funktion kan användas som kontroll även om differenstrycksstyrning används. En vanlig ultraljudsmätare kan användas men det finns även mer exakta flödesgivare.

När SV2 är maximalt stängd och temperaturen vid GT4 och GT5 är för höga så tillåts P2 att öka i varvtal, dock väldigt måttligt.

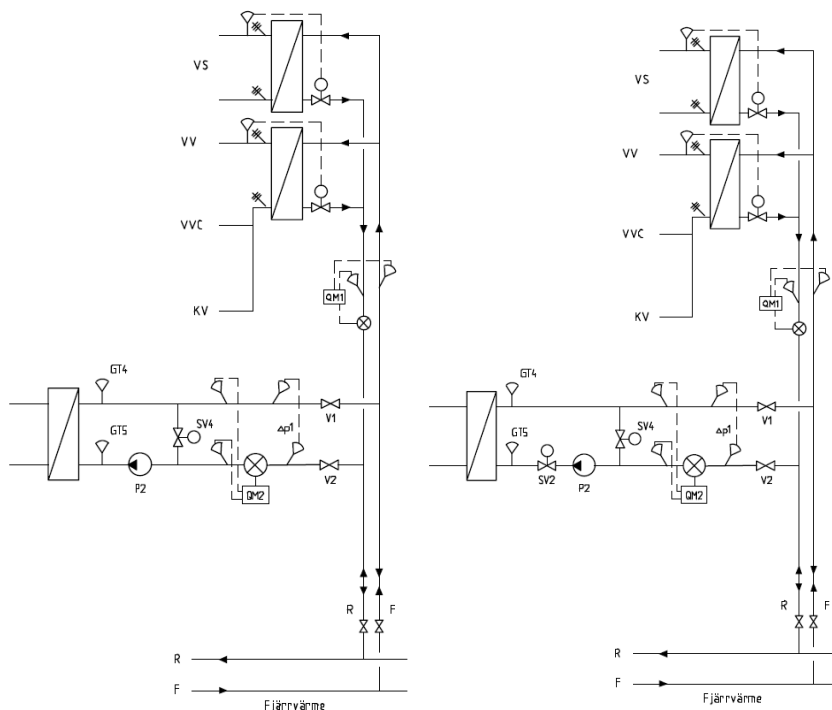


Figur 27 Placering av differenstrycksgivare, Δp_1 , för styrning av inmatningspumpens varvtal i ett temperaturreglerat inmatningssystem.

Att som i anläggningarna i Malmö vid Bo01 sätta som krav att flödet ska vara lika stort på båda sidor i värmeväxlaren resulterar i ett förlopp enligt Figur 28. Det inmatade flödet till fjärrvärmenätet börjar från 0 och går till max vid 100 % effekt. Om flödet genom värmeväxlaren ska vara lika stort hela tiden måste temperaturdifferensen vid värmeväxlaren minska för att vid noll effekt ge noll i temperaturdifferens men med bibehållet flöde. Det finns olika varianter att lösa detta med systemuppbyggnad och reglering. Ett alternativ är en kortslutningsledning med en 2-vägsventil, se Figur 29.



Figur 28 Temperaturreglerat inmatningssystem med reglerad temperatur vid GT5 så att flödet genom värmeväxlaren blir konstant.

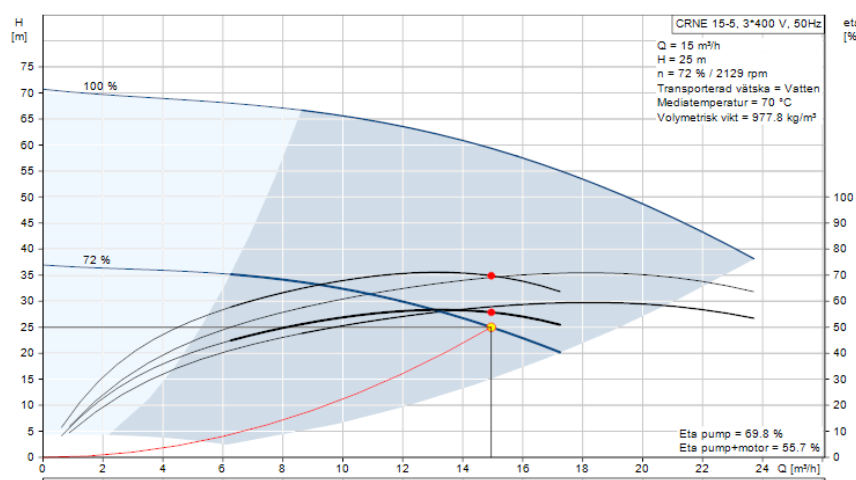


Figur 29 Systemalternativ för temperaturreglerade inmatningssystem. Endast med kortslutningsventil, SV4, eller både med kortslutningsventil, SV4, och seriekopplad 2-vägsventil, SV2.

Det finns två ändlägen för regleringen av inmatningsflöde: ett är att allt flöde går igenom SV4 (ingen inmatning) och i det andra ändläget ska huvuddelen av flödet matas in på nätet (100 % effektinmatning). I Tabell 2 visades en beräkning utifrån en solvärmeanläggning på 1000 m². Denna anläggning har ett maxflöde på knappt 4 l/s (13 m³/h) men eftersom vi ska ha ett litet flöde i kortslutningen så sätts pumpens flöde till 14,5 m³/h. Differenstrycket antas vara 200 kPa vilket ger en arbetspunkt på cirka 250 kPa och 14,5 m³/h. Ett förslag är att använda en pump med påbyggd varvtalsstyrning, en CRNE-pump, exempelvis CRNE 15-5.

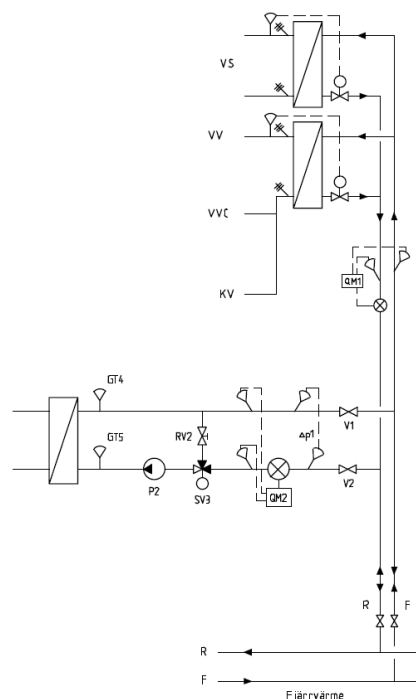
Det enklaste är att P2 ges ett varvtal utifrån differenstrycket, Δp_1 , som gör att tryckuppfordringen blir tillräckligt stor. P2 behöver ha ett varvtal på 72 % när differenstrycket är 200 kPa och tryckfallet i övriga komponenter är 50 kPa. Om differenstrycket ändras så ska även pumpens varvtal ändras enligt en börvärdeskurva. SV4 är maximalt öppen när inget flöde ska matas in och vid denna systempunkt kan ett k_{vs} -värde för ventilen beräknas till 10,3. ($\Delta p = 2$ bar, $m = 14,5$ m³/h, $k_{vs} = \sqrt{(14,5^2/2)} = 10,3$.) I andra ändläget ska ventilen strypa bort samma tryck vid ett flöde på cirka 1 m³/h vilket ger en öppningsgrad på 7 % ($k_v = \sqrt{(1^2/2)} = 0,7$, öppningsgraden = $0,7/10,3 = 7$ %). Om en större ventil väljs så måste den stängas ännu mer. Beräkningen antar att SV4 har linjär karakteristik.

Slutsatsen är att det är ett mycket svårt reglerfall. Ett större differenstryck gör det hela ännu svårare. Ett differenstryck med kraftiga variationer gör det också mycket svårt. Om ett större flöde i bypassledningen väljs än de 7 % som antogs ovan blir regleringen enklare men det resulterar i en dyrare värmeväxlare och temperaturen till solfångarna blir lite högre vilket ger en sämre verkningsgrad. Om värmekällan är en panna eller annan värmekälla som ändå ska ha en högre temperatur än temperaturen på fjärrvärmenätets returledning så behöver det dock inte blir någon kostnadsökning eller försämrade verkningsgrad.



Figur 30 Pumpkurva med en pump med egen varvtalsstyrning. Markerad arbetspunkt, 72 %, vid 14,5 m³/h och 25 mvp (250 kPa).

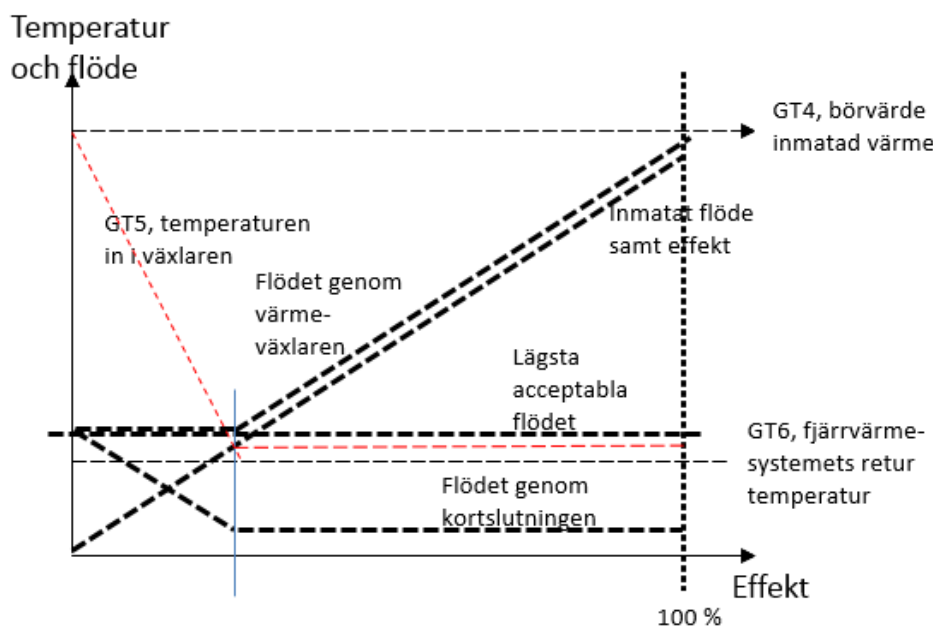
Om en 3-vägsventil, SV3, och fast instrypningsventil, RV2, används enligt Figur 31 så kan motsvarande beräkning göras. Det är emellertid svårt att strypa in RV2 så att SV3 kan arbeta på ett bra sätt vilket innebar att en ändring gjordes i systemvariant 2 (avsnitt 4.3.3), se Figur 14. RV2 ersattes av en motoriserad 2-vägsventil, SV2, som ska ge samma absoluttryck före "sin" port på SV30 (SV3) som absoluttrycket är för den andra reglerbara porten.



Figur 31 Temperaturreglerat inmatningssystem med en 3-vägsventil, SV3, och en fast instrypningsventil, RV2 samt en tryckdifferensgivare.

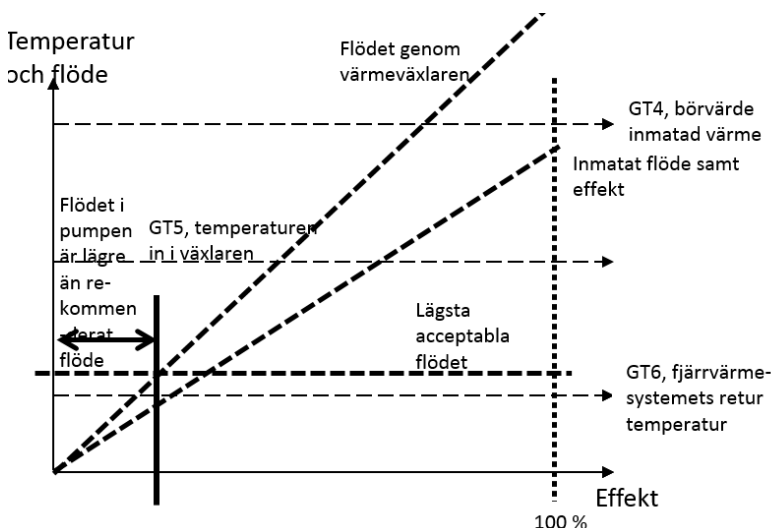
Solfångaranläggningen Noisun i Lerum är en temperaturreglerad anläggning. Flödet i kortslutningskretsen är alltid större än det inmatade flödet och GT5 är alltid varmare än GT6. Det var även tänkt att anläggningarna på Bo01 skulle fungera på samma sätt men regleringen av GT5 fanns inte med vilket gör att temperaturen vid GT5 blir för låg. Flödet i solvärmekretsen är konstant i båda fallen.

Figur 33 visar en annan reglerprincip för en temperaturreglerad anläggning. Ambitionen är att temperaturen in i värmeväxlaren (GT5) ska vara så låg som möjligt. Börvärdet på GT5 blir ett annat. Om värmekällan är en solvärmeanläggning så måste flödet i solvärmekretsen vara variabelt eller så måste det finnas en temperaturreglering i solvärmekretsen.



Figur 32 Figuren visar ett temperaturreglat inmatningssystem styrd så att temperaturen vid GT5 blir så låg som möjligt under större delen av effektintervallet.

Vid låg effekt är flödet genom värmewäxlaren och pumpen givet för att garantera turbulens i värmewäxlaren och att inmatningspumpen får en acceptabel arbetspunkt. Vid något högre effekt ser SV4 till att börvärdet på GT5 alltid är någon grad högre än GT6. Det ska alltid skilja några grader mellan GT5 och GT6 vilket betyder att det alltid går ett flöde i by-pass ledningen samt att det alltid är ett högre flöde i kortslutningskretsen, genom värmewäxlaren, än i inmatningen. Det kan vara svårt att hitta brytpunkten för när regleringen ändrar karaktär.



Figur 33 Temperaturreglat inmatningssystem reglerat så att temperaturen vid GT5 anpassas till den temperatur som värmekällan på produktionssidan önskar.

Figur 33 visar en variant på en temperaturreglerad anläggning som kan användas för en förbränningspanna. En panna konstrueras i regel med en cirkulationskrets så att

flöde och temperatur in i pannan kan hållas erforderligt höga. Pannans börvärde kan då också ges av börvärdet för GT5 (som i sin tur ger en lägsta temperatur på GT3 på andra sidan värmeväxlaren). Nackdelen är att om en lägre inmatningstemperatur ska hållas så måste flödet genom värmeväxlaren öka. Fördelen med detta temperaturprogram i värmeväxlaren är att den inte behöver vara lika "lång" och blir därmed billigare. Detta skiljer sig från en solvärmeanläggning, där det är viktigt att inte tappa temperatur vilket ger lägre verkningsgrad, eller en kompressormaskin, som har svårt att producera en tillräckligt hög temperatur.

I Figur 23 redovisades ett system med en direktinkopplad panna med pannkrets. Varierande produktion resulterar i en varierande temperatur ut från pannan vilket styr effektinmatningen. SV2A och SV2B reglerar inmatningstemperaturen fritt från den inmatade effekten.

5.1.5 Flödesreglerat inmatningssystem

Det som karakteriserar ett flödesreglerat system är att inmatningspumpen, P2, själv eller med hjälp av en 2-vägsventil, SV2, ska klara av att ge ett korrekt inmatningsflöde. För att systemet ska veta om det finns ett inmatningsflöde eller inte samt hur stort det är, krävs en bra flödesgivare. Det måste vara absolutvärden, inga integrerade värden, med en upplösning på delar av sekund.

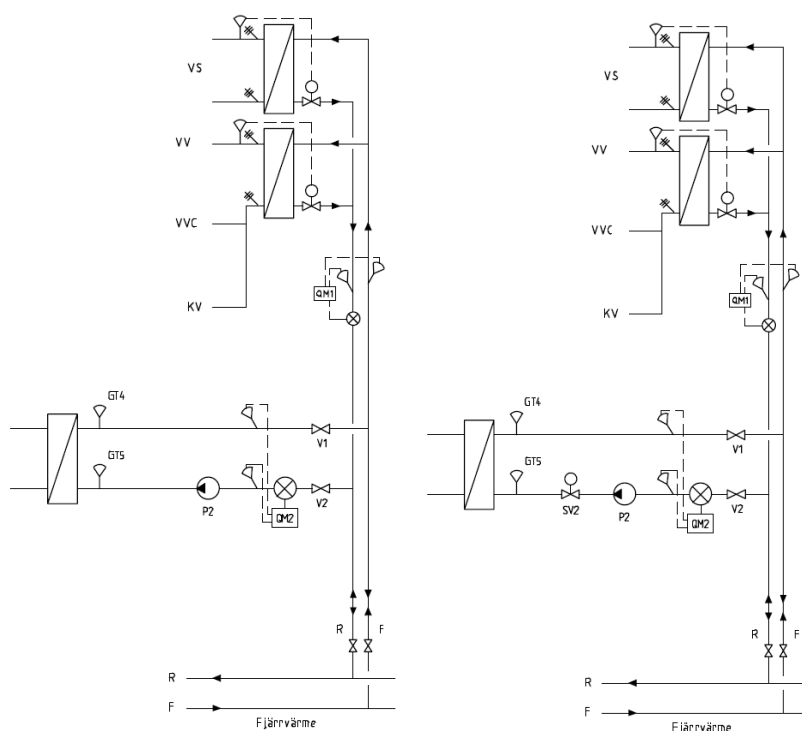
Den inmatade effekten måste beräknas på något vis för att hålla den i balans med den producerade. Om temperaturdifferensen mellan kallt och varmt flöde är lika stor på båda sidor värmeväxlaren kan samma flöde användas som börvärde även på inmatningssidan. Är temperaturdifferenserna olika så måste flödet räknas om vilket även gäller om värmekapaciteten är olika för de respektive medierna.

Om värmeproduktionen från en värmekälla är relativt stabil så kan inmatningspumpen dimensioneras bättre så att arbetspunkten hamnar på ett bra ställe i pumpdiagrammet. Detta är inte fallet för en solvärmeanläggning och sannolikt inte heller för en värmeåtervinningsanläggning från en industri som inte har kontinuerlig produktion. Utifrån vårt arbete förefaller det som att P2 i det närmaste alltid behöver hjälp av SV2 för att klara flödesregleringen vid låga flöden i förhållande till pumpens optimala arbetspunkt. Om differenstrycket är lågt kommer andra flödesberoende tryckfall att bli dominanta vilket ger en enklare reglering.

Syftet med ett flödesreglerat inmatningssystem är att få så låg temperatur som möjligt på produktionssidan, vilket är gynnsamt för solvärme och kompressormaskiner som kopplas i serie och avkylningsvärmeväxlare.

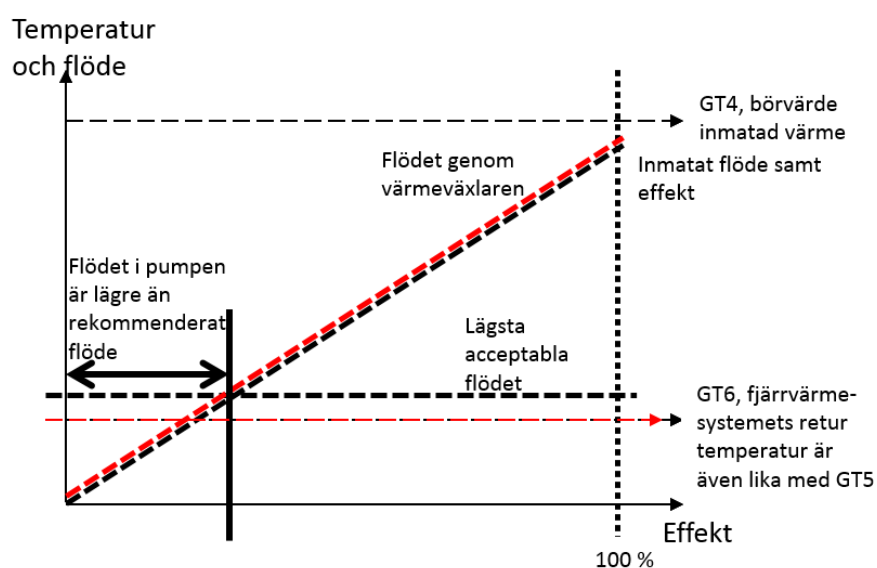
Det finns två alternativ som redovisas i Figur 34:

- fast varvtal på P2 och hela regleringen av flödet görs med hjälp av SV2.
- Variabelt varvtal på P2 och i vissa lägen kanske SV2 måste hjälpa till.



Figur 34 Två alternativ av flödesreglerade system: endast pump samt med pump och 2-vägsventil, SV2.

I Figur 35 visas att flödet genom värmeväxlaren alltid är lika stort som inmatningsflödet. Vid låga effekter och följaktiga låga flöden så hamnar flödet under rekommenderat flöde, oavsett om pumpen har hjälp av en ventil eller inte. Om uppehållstiden i detta flödesintervall är kort så kan det vara möjligt att använda ett system utan kortslutning.

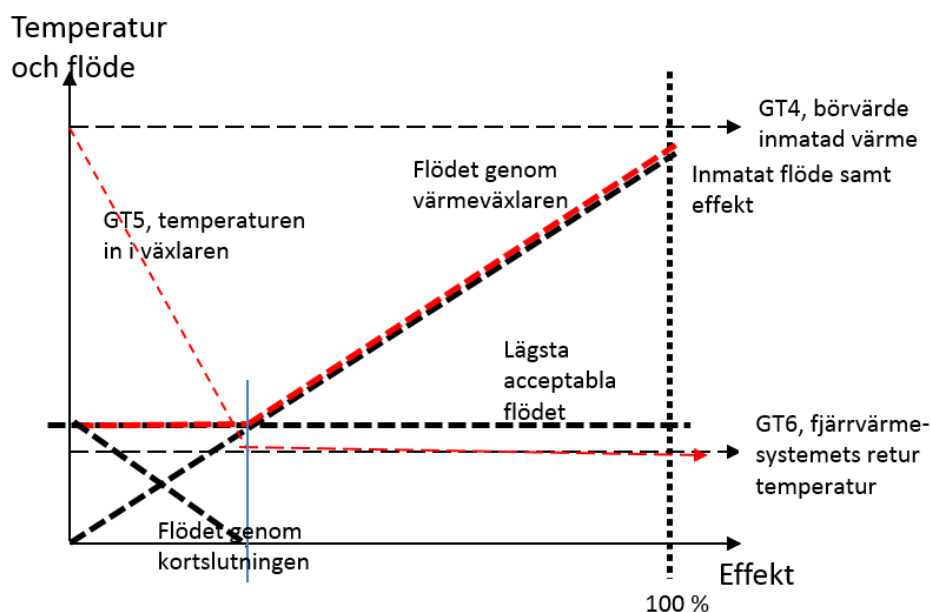


Figur 35 Flödes-temperaturdiagram för ett flödesreglerat system utan kortslutningsflöde.

Om inmatningen endast regleras utifrån temperaturen på GT4 så måste temperaturen vid GT4 avspegla effektproduktionen. Vad händer då om effektuttaget blir för stort? Det som har kunnat iakttas när systemet inte är i effektmässig balans är att värmeenergi som finns lagrat i t ex rörsystem tas ut som värmeeffekt. När detta har fortgått en stund så sjunker temperaturen på produktionssidan så att inmatningssidan måste minska effektuttaget. Värmeenergin återförs i rörsystemet när effektuttaget blir lägre än tillskottet och när rätt temperatur har nåtts så startar inmatningen igen.

Detta förlopp syntes tydligt i krematoriesystemet som redovisades i avsnitt 4.3.6. Krematoriet var tänkt att fungera som ett temperaturreglerat system men uppträdde som ett flödesreglerat system när reglerventilen, som ungefär motsvarar SV3, ställde sig i helt öppet läge.

Inmatningssystemet kan göras temperaturreglerat vid låga flöden för att undvika att pumpen arbetar i ett olämpligt område. SV4 reglerar flödet genom kortslutningen genom att ett börvärde sätts på GT5. I detta läge är det också viktigt att pumpvarvtalet upprätthålls så att det går att få ett inmatningsflöde – samma funktion som gäller för ett helt temperaturreglerat system. Detta görs enklast genom att använda en differenstrycksgivare och en börvärdeskurva för varvtalet. I Figur 36 nedan illustreras detta. Ju fler start och stopp, samt ju längre drifttid med låg last, som för en solvärmeanläggning, desto sämre förutsättningar blir det för inmatningspumpen om inte en kortslutningskrets används.



Figur 36 Flödes- och temperaturdiagram för ett flödesreglerat system med kortslutning för låga flöden så att pumpens lägsta acceptabla flöde kan upprätthållas.

Uppstarten görs genom att SV4 är fullt öppen och P2 går på ett varvtal som ska kunna ge ett inmatningsflöde. SV4 reglerar temperaturen vid GT5 som kan beräknas utifrån producerad effekt. Vid ett givet flöde på flödesmätaren (FM1 eller FM2 enligt Figur 10, sid 36), som är inställt i styrsystemet så kan SV4 stänga helt så att hela flödet blir

inmatningsflöde. Flödesmätaren måste vara mycket snabb och ge ett exakt flöde. Flödesregleringen tas över av varvtalet på pumpen och/eller öppningsgraden på SV2.

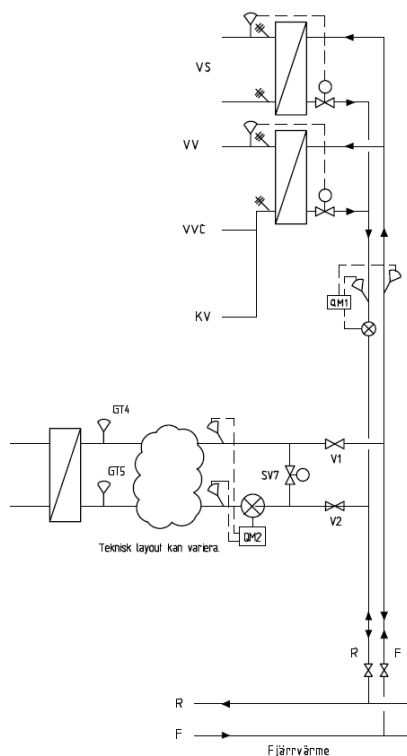
Om SV2 ska användas för hela flödestyrningen så kan det vara bra att hitta varvtalet då pumpen klarar teoretiskt maximalt flöde, med en liten strypning på SV2. SV2 kan från denna öppningsgrad stänga för att skapa rätt flöde. När flödet når den gräns som är satt som lägsta acceptabla så stänger inte SV2 mer utan SV4 börjar öppna och reglera temperaturen vid GT5. Nästa gång som ökat flöde efterfrågas så står SV2 i nästan rätt läge för att ta över regleringen.

Om P2 ska användas för flödesregleringen så byts temperaturregleringen av SV4 mot GT5 till en flödesreglering med P2.

Vid minskad effekt så blir regleringen den motsatta. Inmatningsflödet minskas med sänkt varvtal på pumpen eller genom att SV2 stänger. När det lägsta acceptabla flödet har nåtts så ska SV4 ta över regleringen. Börvärdet blir då en given temperatur på GT5. SV2 kan ligga kvar på samma läge och detta kan även vara startvärdet nästa gång effekten ökar. Det är teoretiskt möjligt att använda en 3-vägsventil, SV3, istället för 2-vägsventilen SV4 men det ger inga fördelar.

Problematiken med så kallad "kallpropp" togs upp i avsnitt 5.1.3. För att kunna tömma "kallproppen" på ett kontrollerat sätt så är det nästan nödvändigt att inmatningssystemet har en kortslutningsfunktion. Ett alternativ till att sakta blanda in kallproppen på ett kontrollerat sätt är att kortsluta systemet baklänges, det vill säga låta lite framledningsvatten från fjärrvärmesystemet trycka kallproppen ut på returledningen. Detta redovisas förenklat i Figur 37 där en 2-vägsventil på en kortslutningsledning som sitter mellan framledning och returledning släpper igenom lite framledningsvatten. Anslutningspunkten på den varma sidan, framledningen, måste vara utanför den backventil som måste finnas i inmatningscentralen. Systemet är i allmänhet inte omtyckt av fjärrvärmeleverantören eftersom det medför att en risk byggs in att kortsluta fjärrvärmesystemet på ett ställe som fjärrvärmebolaget inte har kontroll över.

En kortslutningsledning med ventil, SV7 i Figur 37, kan även användas som frysskydd på inmatningsanläggningens servisledning om den ligger utomhus eller i ett kallt utrymme. Kortslutningsledningen måste förses med en givare som larmar om det går ett flöde i ledningen när det inte ska göra det och larmet bör rimligtvis vara ett A-larm.



Figur 37 Kortslutningsventil, SV7, kan användas för att tömma kallproppen baklänges in på returledningen samt skapa ett frysskyddssystem för inmatningssystemets anslutningsledning.

I några anläggningar har flödet kontrollerats av en differenstrycksgivare över en reglerventil. Reglerventilen arbetar mot att hålla en given temperatur på ett givet ställe och öppningsgraden kan då varieras utifrån systemets effektproduktion. Med en differenstrycksgivare över ventilen kan tryckfallet, och därmed flödet, kontrolleras.

I fjärrvärmenät där decentraliserade värmekällor börjar bli stora i förhållande till den centrala värmeproduktionen kan effektinmatningen och flödesinmatningen vara viktigare än att hålla en exakt inmatningstemperatur. Detta ger också flödesregleringen en fördel då systemet styr efter flödet vilket medför att regleringen då även kan dämpa stora flödesförändringar med att spara upp lite värme i systemet eller sänka inmatningstemperaturen något för att ge en lugnare flödesminskning.

5.1.6 Seriekopplad inmatning, sekundärt och primärt

I inmatningskoncepten i avsnitt 5.1.4 och 5.1.5 har all värme matats in på fjärrvärmenätet. Om den decentraliserade värmekällan i första hand används för egen värmeförsörjning kan systemupplägget se lite annorlunda ut. Den lokala värmeproduktionen samlas då upp i ett värmelager samtidigt som kundens värmebehov kontinuerligt tillgodoses. Om värmeproduktionen under en kort tid blir större än efterfrågan, eller om värmelagret är för litet, kan värmeöverskottet relativt enkelt matas in i fjärrvärmesystemet.

En utgångspunkt är att det inte går något flöde i servisledningen då hela värmebehovet täcks av egen produktion via ackumulatortanken. Inmatningssystemet måste då kunna skapa sitt eget flöde vilket då ger att det finns två alternativ, R/F och F/R, se Figur 4.

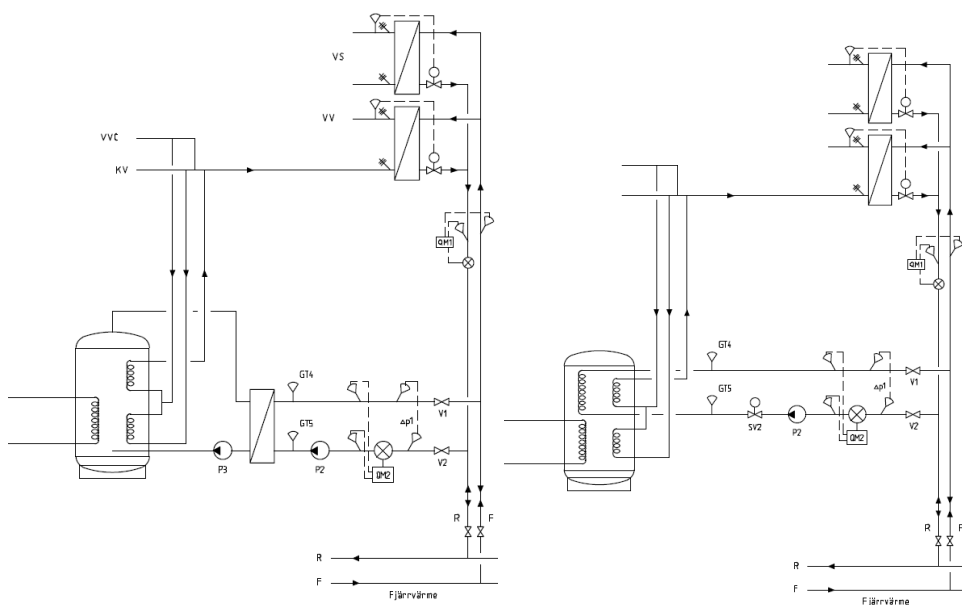
F/R är det absolut enklaste eftersom drivtrycket redan finns men i de flesta fjärrvärmenät är det inte önskvärt med varmproppar i returledningen. Om den centrala värmeproduktionens uppbyggnad inte har problem med varmproppar om dessa är tillräckligt små kan F/R användas som överhettningsskydd.

Ett R/F-system kräver fler komponenter och mer sofistikerad reglering men eftersom inmatningssystemet inte måste hålla perfekt effektbalans så kan det göras enklare. Det är dock lämpligt att effektinmatningen är större än det effektproduktionsöverskott som ska hanteras.

I Figur 38 redovisas två alternativ av seriekopplade sekundär- och primärkopplade system med R/F-inkoppling. I det vänstra systemet i figuren används en plattvärmeväxlare och två pumpar och några fler detaljer än vad som redovisas i figuren men principen är att flödena på båda sidor av värmeväxlaren ska vara ungefär lika stora. Inmatningspumpen ska arbeta mot ett börvärde på GT4. I det högra systemet, som används framför allt i mindre anläggningar, så ska P2 arbeta mot att hålla en korrekt temperatur på GT4.

Om differenstrycket är relativt stabilt behövs ingen differenstrycksgivare utan pumpen ges ett fast varvtal som garanterar ett inmatningsflöde, men för att säkerställa att det blir en inmatning så kan en differenstrycksmätare installeras. Systemet startar inmatningen när temperaturen i ackumulatortanken blir tillräckligt hög, exempelvis 80°C. Sedan pågår inmatningen så länge som temperaturen vid GT4 är över 75°C. Det blir ett ryckigt system med hög effektinmatning under en kort tid varefter inmatad effekt och flöde blir noll.

Det går bra att använda någon av dessa systemvarianter förutsatt att det fungerar för både fjärrvärmeleverantören och prosumenten att huvuddelen av värmen kan användas sekundärt och när det uppstår överskott så matas detta in på nätet utan sofistikerad reglering.



Figur 38 Bilden visar två varianter av seriekopplade sekundär- och primärkopplade system. För lite större system kan en plattvärmeväxlare användas och mindre system kan invändiga kamflänsrör användas som värmeväxlare.

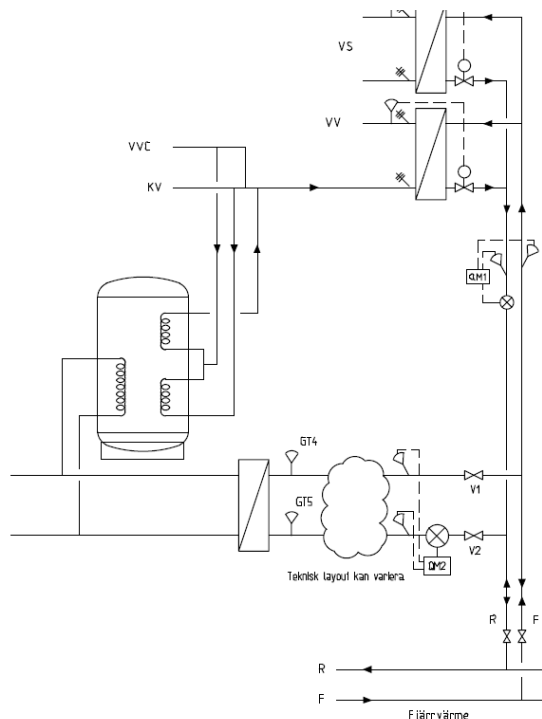
5.1.7 Parallellkopplad inmatning, sekundärt och primärt

Ett lite mer avancerat kombinationssystem är en parallellkoppling mellan sekundär användning och inmatning av värme på fjärrvärmesystemet. När värmelagret för sekundär användning är fullt, så läggs en 3-vägsventil om så att inmatningen blir en vanlig R/F-inkoppling. Systemet kan vara temperaturreglerat eller flödesreglerat.

I ett parallellkopplat system så matas en större andel värme in på fjärrvärmenätet av den totalt producerade värmen. Eftersom det är mindre fördelaktigt för prosumenten att först mata in lokalt producerad värme på fjärrvärmenätet och sedan köpa tillbaka den så kan en större del värme användas sekundärt men det drar då med sig en klart ökad kostnad samt att det behövs större utrymme som också ökar kostnaden.

För en solvärmeanläggning kan man utforma systemet så att under timmar med lägre solinstrålning värms ett värmelager och under timmar med högre solinstrålning används primär koppling. Det kan också vara så att det inte finns plats för ett så stort värmelager som skulle behövas för att kunna lagra all överskottsvärme även om den skulle kunna användas sekundärt. Då kan en parallell inkoppling göras så att värmelagret får den volym som det finns plats för och när lagret är fullt så skickas resten ut på fjärrvärmenätet.

I Figur 39 används invändiga kamflänsrör som värmeväxlare för värmekällan när den ska användas sekundärt. Även varmvattenberedningen görs med kamflänsrör. Om värmeproduktionen överstiger 50-70 kW med relativt liten temperaturdifferens så är det sannolikt kostnadseffektivt att gå över till en utvändig plattvärmeväxlare men det kräver mer reglering och tillsyn. Det är möjligt att värma varmvatten i kamflänsrör upp till ett flöde på cirka 2 l/s utan att tryckfallet och kostnaderna blir för stora.



Figur 39 En variant av parallellkopplade sekundär- och primärkopplade system. För ett lite större system kan en plattvärmeväxlare användas i stället för invändiga kamflänsrör. Systemtypen är inte beroende av vilket inmatningssystem som används.

5.2 OLIKA VÄRMEKÄLLORS KARAKTERISTIK

Skälen till att mata in värme decentraliserat i ett fjärrvärmenät kan variera vilket ger lite olika beskrivningar av hur det kan göras:

- Ett temporärt värmeöverskott som endast ska matas in på fjärrvärmenätet utan särskild hänsyn till effekttillskottets storlek i förhållande till den totala effektleveransen i fjärrvärmenätet.
- Fjärrvärmenätet behöver ett värmetillskott. Anläggningen är en del av fjärrvärmebolagets normala värmeproduktionsutrustning.
- Andra större eller mindre värmeproduktionsanläggningar eller spillvärme som finns inom det geografiska fjärrvärmeområdet men som av olika skäl inte ligger vid den centrala värmeproduktionsanläggningen. Det normala är att värmen tillförs när den produceras men i vissa lägen kan även ett värmelager användas. Värmeeffektproduktion, eller inmatningen, styrs eller regleras normalt inte av fjärrvärmebolaget.

Den första gruppen ovan, användningen av fjärrvärmenätet som överhettningsskydd, är den minst problematiska så länge effekttillskottet är litet. De båda andra grupperna är ur teknisk synvinkel jämförbara men den stora skillnaden är vem som har kontroll över inmatningen. Är det, sett med fjärrvärmeleverantörens ögon, en egen anläggning så borde det finns någon typ av övervakning vilket det i de flesta fall inte gör för den tredje gruppen.

Prosumentanläggningar tillhör i de flesta fall den tredje gruppen. Anläggningen ingår inte i fjärrvärmeleverantörens egen produktionsapparat men kan mycket väl vara en del av den planerade produktionen. Det måste alltid finnas ett avtal mellan en prosument och fjärrvärmeföretaget och i detta avtal bör priser och leveranspremissor vara klargjorda.

5.2.1 Förbränningspannor

Ett exempel i denna kategori är gaspannor för rötgas från avloppsreningsverk och gamla soptippar. I viss mån kan även krematorier räknas till denna grupp. Det finns pannor som håller erforderlig tryckklass för att kunna anslutas till fjärrvärmesystemet utan värmeväxlare men det finns också pannor som har lägre tryckklass och som då ansluts via värmeväxlare. I princip alla pannor kräver en högre returtemperatur än temperaturen i fjärrvärmenätets returledning, vilket gör att det inte finns ett starkt argument att hålla så låg temperatur som möjligt in i värmeväxlaren. Framledningstemperaturen från pannan är också under större delen av året högre än fjärrvärmenätets framledningstemperatur. För att minska temperaturpåfrestningarna i kulverten kan temperaturen shuntas ner till den framledningstemperatur som gäller men anses detta vara ett underordnat problem så kan panntemperaturen matas in direkt i nätet. Den inmatade temperaturen får dock aldrig vara högre än vad fjärrvärmenätet är godkänt för, normalt 120 °C.

Drifttiden och effektagivningen för en panna kan variera väldigt mycket, från att i princip vara i drift hela tiden med relativt hög effektproduktion till att fungera som reservpanna som går in när det exempelvis finns ett gasöverskott. Om det finns ett bränslelager kan man anta att pannan kommer att gå med relativt stabil effektproduktion, för att sedan vara helt avstängd när det inte finns tillräckligt med bränsle.

Eftersom anläggningen sannolikt byggs som en temperaturstyrd anläggning så finns det en kortslutningsledning vilket gör att alla risker för tryckslag och störningar på nätet från en snabb inmatning av "kallproppen" inte behöver uppstå om inmatningen vid låg effekt görs med hänsyn till differenstrycket.

Om pannans möjliga värmeeffekt är stor i förhållande till fjärrvärmenätet så måste förändringarna i inmatad effekt och flöde hanteras så att förändringarna inte stör de övriga värmeproduktionsanläggningarna och framför allt inte primärpumparna i fjärrvärmenätet.

Det finns lågtemperaturgaspannor som eventuellt skulle kunna anslutas med flödesreglering men dessa har inte tagits med i underlaget.

5.2.2 Solvärme

I de flesta svenska primärinkopplade solvärmeanläggningar har flödet i solvärmekretsen varit konstant för att säkerställa turbulent flöde i absorbertorrören i solfångarna för att få bättre verkningsgrad. I de flesta större danska anläggningar är däremot flödet variabelt och syftar oftast till att ge en given temperatur. Flödet beräknas utifrån solfångarnas prestanda, solinstrålningen, utomhustemperaturen samt temperaturen till solfångarna för att då ge önskad temperatur ut från solfångarna.

Generellt gäller att en solfångares verkningsgrad sjunker med stigande arbetstemperatur där arbetstemperaturen definieras som medelvärdet av temperaturen på flödet in i och ut ur solfångaren. Om variabelt flöde används så är medeltemperaturen i princip alltid lägre än om ett fast flöde används.

Värmeproduktionen från en solvärmeanläggning kan variera väldigt snabbt. För att dämpa variationerna i den inmatade effekten och flödet, framför allt vid ökad effekt, kan systemet byggas så att variationerna dämpas vilket kan vara nödvändigt i mindre fjärrvärmenät. Denna dämpning bygger på att värme lagras upp i solvärmekretsen för att matas in vid ett lite senare tillfälle, en enkel form av rampning av effektproduktionen. Detta leder till en högre systemtemperatur vilket resulterar i en sämre verkningsgrad.

För en solvärmeanläggning så infaller den maximala effekten under sommaren men den kan förflyttas lite över sommarhalvåret beroende på solfångarnas lutning. Var solvärmeanläggningen placeras i Sverige spelar också in men om inga andra hänsyn ska tas och solvärmeanläggningen ska ge så mycket värme som möjligt på årsbasis ger solvärmeanläggningen som mest när värmebehovet är som lägst. Detta gör att temperaturerna i fjärrvärmenätet, som solvärmeanläggningen kommer att arbeta mellan, ges av förhållandena "mitt på dagen en solig söndag i juli".

Om solvärmeanläggningen är så stor att all effekt inte kan matas in på nätet måste ett lager användas. Inkopplingen av värmelager diskuterades i avsnitt 4.3.7 och kan göras i serie eller parallellt i enlighet med 5.1.6 och 5.1.7.

En solvärmeanläggning kan starta flera gånger på en dag beroende på solinstrålningen. Detta medför att startförlopp och effektvariationer är viktiga när inmatningssystemet för en solvärmeanläggning projekteras. Inmatningspumpen kommer sannolikt att under en stor del av drifttiden befinna sig långt till vänster i pumpdiagrammet.

De svenska solvärmeanläggningarna som är primäranslutna är relativt små, sett till värmeeffekten. Heleneholmskolan i Malmö är störst och har en solfångararea på drygt

1100 m² och en nominell effekt på drygt 500 kW men flertalet anläggningar har en area på några hundra kvadratmeter. Dessutom uppnås teoretiskt maximal effekt väldigt sällan vilket medför att anläggningarna i princip hela tiden arbetar med en varierande belastning. Den totala drifttiden är cirka 1000 timmar.

Baslösningen är att inmatningssystemet görs flödesreglerat om solvärmekretsen har ett variabelt flöde men temperaturreglerat om solvärmekretsen har ett fast flöde. Men det är tänkbart med varianter av detta.

Det vanligaste, om ett flödesreglerat inmatningssystem används, är att flödena är lika stora på varje sida av värmeväxlaren. Vätskeflödet i solvärmekretsen beräknas, enligt ovan, utifrån solinstrålningen och några andra konstanter och mätbara data. Detta flöde kan användas som börvärde på inmatningskretsen. Flödet ska egentligen vara värmeflödet men det kan man i de flesta fall bortse ifrån. Om värmeväxlaren inte är tillräckligt lång, så att samma temperaturprogram kan användas, så måste inmatningsflödet räknas om. Kontrollen av inmatningstemperaturen blir då sekundärt och blir en mindre kompensation för det inmatade flödet. Vid kompensationen så måste även hänsyn tas till den varma temperaturen i solvärmekretsen, GT2. För att klara regleringen så krävs en bra flödesmätare.

Erfarenhet från installerade system visar att det krävs en relativ hög solinstrålning för att få igång ett system men att det är lättare att hålla systemet igång vid sjunkande solintensitet. Om detta gäller generellt så är det större risk för längre driftperioder med låga flöden vilket kan ge skador på inmatningspumpen om arbetspunkten inte ligger bra till i pumpkurvan.

Om det är svårt att få till ett flödesreglerat system beroende på kraftiga och snabba svängningar i differenstrycket så kan det vara enklare med ett temperaturreglerat system som alltid har ett kortslutningsflöde. Inmatningspumpen behöver då bara ha en högre uppfordringshöjd än differenstrycket. Om ett temperaturreglerat inmatningssystem används så måste börvärdet som systemet styr mot vara kopplat till solfångarnas effektproduktion.

5.2.3 Värmepumpar/kylmaskiner

Teknikutvecklingen för denna kategori av värmekällor går snabbt varför slutsatserna av detta avsnitt kan se annorlunda ut inom en snar framtid.

De företag som säljer värmepumpar för småhus och lite större värmepumpar avsedda för flerbostadshus eller lokalbyggnader kan idag inte leverera värmepumpar som ger 75 °C vilket medför att om R/F-inmatning ska användas så måste inmatningstemperaturen sättas lägre. Värmepumparna är inte heller gjorda för större temperaturlyft på den varma sidan än 10-12 °C vilket gör att ett temperaturstyrt inmatningssystem är att föredra.

Kylmaskiner och värmepumpar upp till ett par hundra kW bör kopplas in med temperaturstyrning om kondensationssteget läggs ut för cirka 10 °C. Om maximal temperatur är cirka 65 °C så måste valet av inmatningskoncept diskuteras noga.

Enstaka leverantörer av större kompressormaskiner från 800 kW till några MW kan ge en varm temperatur på cirka 70 °C. Även dessa har ett maximalt temperaturlyft på 10-12 °C men kan läggas i serie så att hela temperatursteget från retur till framledning kan tas utan shuntning. Detta medför att det sannolikt är bäst med ett flödesreglerat

inmatningssystem. Den inmatade effekten är sannolikt också så stor och jämn att inmatningspumpen hamnar på en lämplig plats i pumpkurvan.

Det kommer nya kompressormaskiner från cirka 300 kW och uppåt som använder köldmedier som är mindre potenta växthusgaser. Dessa maskiner är konstruerade att kunna producera cirka 80 °C och kan kopplas i serie för att klara hela temperaturlyftet. Inkoppling med flödesstyrning med en förenklad uppstarts- och stoppsekvens förordas för att undvika tryckslag och felaktig belastning på inmatningspumpen.

För att slippa extra värmeväxling så är det en fördel om kompressormaskinens kondensor kan kylas direkt av fjärrvärmenätet. Detta innebär att hela kretsen måste vara PN16. Flödet i kylmaskinens kondensor måste vara turbulent vilket innebär att det inte får gå under en given nivå. För att värmen ska gå att mata in på fjärrvärmesystemet måste även temperaturen in i kondensorn styras så att uttemperaturen blir rätt. Om inte några kylmaskiner kan kopplas i serie så att hela temperaturlyftet kan tas måste inkopplingen göras temperaturreglerat.

5.2.4 Värmeåtervinning från processer

Det finns många industrier som levererar spillvärme till fjärrvärmenät men dessa är oftast stora och har långa driftstider vilket gör att de inte inkluderas i denna rapport. Är effekten stor och kontinuerlig så är det lättare att hitta en bra reglering eftersom arbetspunkten för inmatningspumpen blir stabil.

Under denna rubrik kan många värmeåtervinningsmöjligheter rymmas. Det kan vara avkylning av ånga, kondensat, heta produkter, kylvätskesystem och annat. Den viktigaste punkten är om temperaturen är tillräckligt hög för R/F-inkoppling eller om inkopplingen ska göras R/R.

Värmeproduktionen är sannolikt inte kontinuerlig utan kan ha ett dygnsförlopp eller kortare sekvenser som upprepas några gånger per arbetsdag. Det är även sannolikt att effekten varierar. Värmeproduktionen kan i stor utsträckning påminna om hur värmeproduktionen i en solvärmeanläggning ser ut. Samma problemställning om fast eller variabelt flöde finns också även om det förefaller mer naturligt med ett variabelt flöde. De flesta värmeväxlare har dock ett lägsta flöde för att fungera bra. Är detta flöde stort så kan det göra att avkylningsflödet måste göras fast och temperaturen in i systemet, före värmeväxlaren, måste regleras för att få ut en användbar temperatur.

En viktig fråga är om det behövs en mellankrets eller om mediet som ska kylas ska kopplas direkt till fjärrvärmeväxlaren. Eftersom reglerförloppet på fjärrvärmesidan är relativt sofistikerat så kan det vara lämpligt med en mellankrets som varken stör funktionen på den avkylda kretsen eller fjärrvärmekretsen. Nackdelen är att det blir en värmeväxling extra.

Effekten kan mätas med en vanlig värmemängdsmätare eller så mäts ett flöde, om temperaturnivåer är kända för att på så vis få fram en producerad effekt. Ett alternativ kan vara att låta temperaturen ut från den värmeupptagande kretsen visa hur stor effekt som produceras men det medför att temperaturen blir högre än nödvändigt vilket minskar den återvunna värmen.

Är det önskvärt att maximera avkylningen för att ta tillvara så mycket värme som möjligt så bör inkopplingen göras flödesreglerad.

Under projektets gång har ingen anläggning med dessa förutsättningar hittats vilket gör att antagandena ovan är baserade på mer generell kunskap och erfarenhet. För att få en säkrare bedömning skulle några anläggningar behöva studeras noggrannare.

5.2.5 Geotermiskt hetvatten

Det gäller samma krav för geotermisk värme som för de andra värmekällorna att den måste kunna ge tillräckligt hög inmatningstemperatur. "Tillräckligt hög" bedöms från fall till fall. Om det behövs en ytterligare värmekälla för att ge tillräckligt hög temperatur så blir det den kompletterande värmekällan som styr vilket reglerkoncept som bör användas.

Önskemålet är sannolikt att kunna ta tillvara så mycket värme som möjligt vilket innebär att det geotermiska vattnet ska kylas så mycket som möjligt samtidigt som värmeproduktionen ska vara så stor som möjligt. Detta leder till att anläggningen kommer att vara i drift många timmar per år och med en hög effektproduktion. Det blir få start och stopp och kort tid med låg värmeeffektproduktion. Sannolikt är också anläggningen relativt stor vilket gör att arbetspunkten i pumpkurvan ligger på ett lämpligt ställe så att flödet blir reglerbart i förhållande till varvtalet på pumpen.

Med förutsättningarna ovan så bör ett flödesreglerat inmatningssystem användas.

5.3 PÅVERKAN PÅ NÄTET

Alla detaljer i en inmatningscentral ska vara godkända för de tryck och temperaturer som fjärrvärmenätet använder. Normalt är tryckklassen PN16 och maximal temperatur 120 °C. Det kan finnas värmeanläggningar med lägre tryckklass men detta får studeras i det enskilda fallet.

Tre primärinkopplade anläggningar har besökts i Danmark och alla tre har varit avsäkrade med 6 bar, PN6. De har dessutom arbetat mot ett väsentligt lägre differenstryck.

De rekommendationer som finns för annan utrustning i fjärrvärmesystem bör följas även för inmatningscentraler. Pumpar av segjärn eller rostfritt stål är att föredra.

I de första decentraliserade primärinkopplade solfångaranläggningar som byggdes formulerades fyra krav:

- Anläggningen ska förses med en godkänd backventil som minskar risken för att fjärrvärmefflödet kortsluts.
- Reglerventilen för flödesreglering ska ha fjärderåtergång så att flödet stängs vid strömavbrott.
- Alla temperaturgivare ska placeras i dykrör.
- Den värmemängdsmätare som installeras ska vara en godkänd debiteringsmätare.

Inmatningstemperaturen har reglerats i flera fall som en given temperatur eller som en temperatur som inte får underskridas. I många anläggningar så regleras inmatningstemperaturen enligt samma börvärdeskurva som den centrala värmeproduktionsanläggningen. När det gäller solvärmeanläggningar har många fjärrvärmebolag accepterat en konstant inmatningstemperatur över hela året på den nivån som motsvarar fjärrvärmenätets framledningstemperatur på sommaren.

Det är först i samband med solfångaranläggningen Noisun i Lerum som variationer i inmatad effekt och flöde har diskuterats. I framtiden bör nog förändringshastigheten för inmatad effekt och flöde regleras, framför allt i större anläggningar, medan mindre fokus behöver läggas på temperaturnivån.

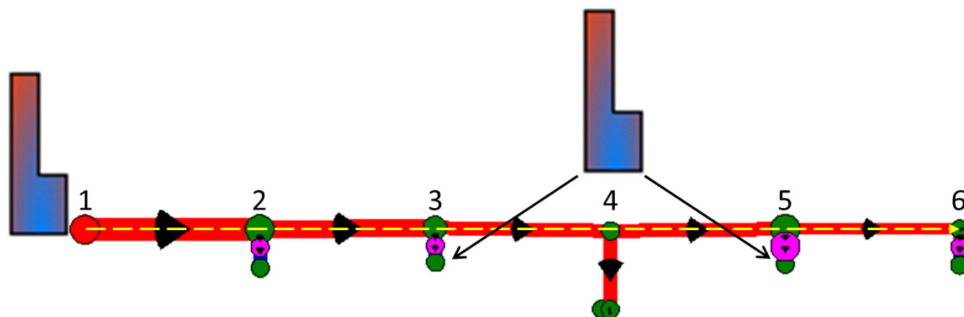
Eftersom en primärinkopplad inkoppling kräver att viss utrustning måste installeras i fjärrvärmenätet är det av stor vikt att installationen diskuteras igenom noga så att risker för läckage och andra driftstörningar minimeras. A-larm bör läggas in på känsliga ställen för låga eller höga temperaturer samt för flöden som inte borde finnas.

Idag finns inga riktlinjer eller rekommendationer mer än de som de enskilda fjärrvärmeföretagen själva har tagit fram. Den erfarenhet som finns från de solvärmeinstallationer som är gjorda är att kraven formuleras väldigt olika från ett fjärrvärmebolag till ett annat samt att incidenter inträffar som borde kunna undvikas. Ett exempel på läckindikering kan vara det som används i Danmark. Där ansluts ibland radiatorer direkt till fjärrvärmesystemet men för att indikera ett eventuellt läckage så installeras flödesgivare i båda ledningarna och om det skulle bli olika flöden så ges ett larm.

Det bör tas fram en enhetlig kravspecifikation för decentraliserade primärinkopplade anläggningar.

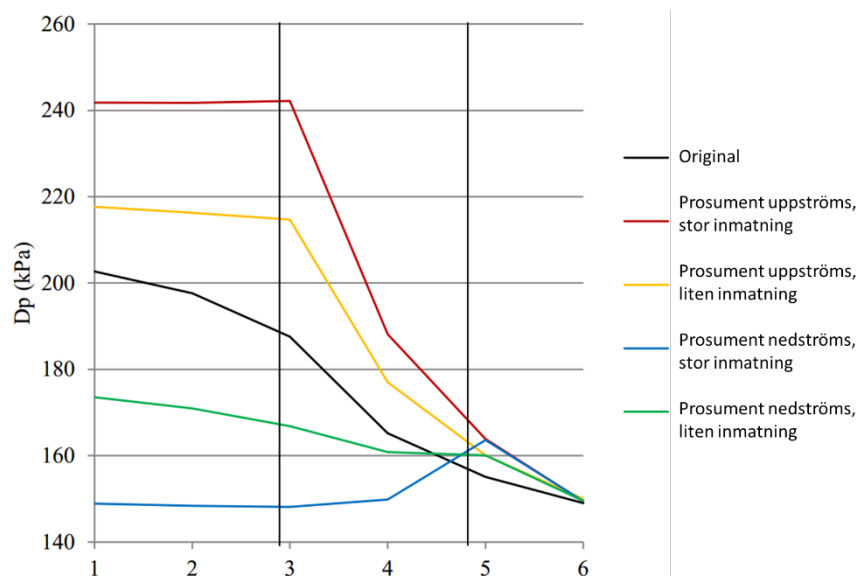
5.3.1 Beräkningsexempel

En relevant fråga beträffande prosumenter är hur dessa kan tänkas påverka tryck- och flödesförhållandena i nätet. Följande avsnitt redovisar ett beräkningsexempel utfört med programvaran Netsim applicerat på ett kraftigt förenklat fjärrvärmesystem enligt Figur 40. Vid 1 finns en produktionsanläggning. En prosument placeras i antingen punkt 3 (uppströms) eller i punkt 5 (nedströms). Övriga punkter är konsumenter i nätet. Konsumenterna (inklusive prosumenten) har ett värmebehov av 200 kW vardera. Förutom placeringen av prosumenten varieras lokaliseringen av tryckhållningen mellan punkten 1 och börvärde 600 kPa respektive punkten 6 och börvärde 150 kPa. För respektive fall ansätts prosumentens bruttoproduktion vara 500 eller 900 kW (300 eller 700 kW netto) vid uppströms placering respektive 300 eller 700 kW (100 eller 500 kW netto) vid nedströms placering. Poängen med att undersöka olika storlekar av inmatning är att, vid de lägre effekterna blandas inmatningsflödena in i fjärrvärmenätet utan att någon lokal differenstrycksökning noteras. Vid de högre effekterna kan en tryckkon ut från prosumenten noteras. I simuleringen har även antagits att prosumenten matar in ett flöde med temperaturen 68 °C jämfört med nätets 85 °C.

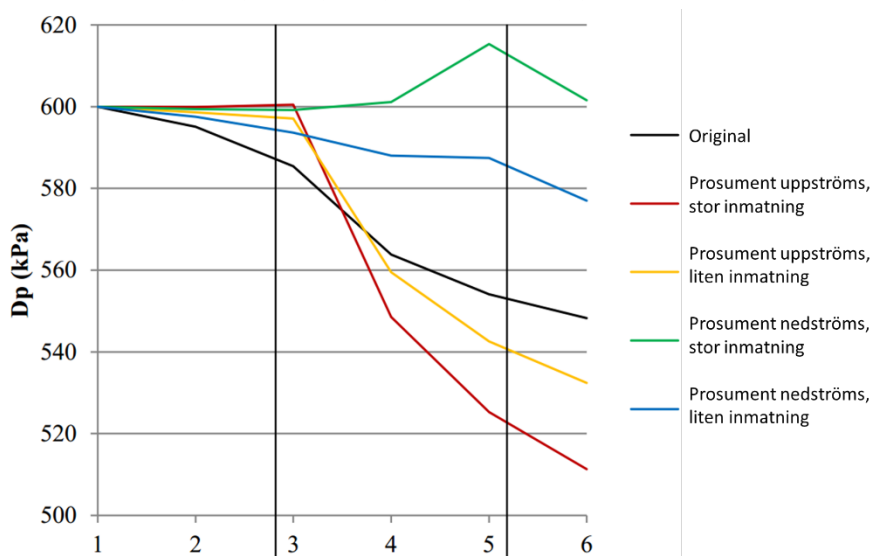


Figur 40 Kraftigt förenklat fjärrvärmenät för beräkningsexempel. Huvudproduktion i 1, prosument i 3 (uppströms) eller 5 (nedströms), övriga punkter är konsumenter.

Differenstrycket längs huvudledningen i Figur 40 (gulstreckad) visas i Figur 41 och Figur 42. X-axeln visar punkterna 1-6. Figur 41 visar fallet med tryckhållning i punkt 6 och Figur 42 fallet med tryckhållning i punkt 1. De resulterande tryckfallen är ett resultat av kombinationer av prosuments placering, storleken på dess inmatning och var tryckhållningen i nätet sker.



Figur 41 Differenstryck längs ledningen i Figur 40. Tryckhållning i punkt 6.



Figur 42 Differenstryck längs ledningen i Figur 40. Tryckhållning i punkt 1.

Tabell 5 visar en sammanställning av utfallen för de olika kombinationerna. Figuren visar principerna för hur differenstrycken förändras och utifrån detta indikeras i tabellen i vilka fall det finns en risk för att det kan uppstå för låga differenstryck i nätet. Detta förenklade exempel ämnar alltså belysa att det kan finnas anledning att undersöka hur tryckförhållandena i nätet påverkas vid introduktion av prosumenter.

Tabell 5 Hur differenstrycket påverkas i olika scenarier.

	Stor inmatning	Liten inmatning
Tryckhållning vid 1	<u>Uppströms prosument:</u> Högre dp hos kunder nära samt uppströms prosumenten. Ingen risk för för låga dp.	<u>Uppströms prosument:</u> Högre dp hos kunder uppströms prosumenten. Ingen risk för för låga dp.
	<u>Nedströms prosument:</u> Lägre eller högre dp hos kunder nedströms prosumenten. Risk för för låga dp.	<u>Nedströms prosument:</u> Lägre eller högre dp hos kunder nedströms prosumenten. Risk för för låga dp.
Tryckhållning vid 6	<u>Uppströms prosument:</u> Lägre eller högre dp hos kunder uppströms prosumenten. Risk för för låga dp.	<u>Uppströms prosument:</u> Lägre eller högre dp hos kunder uppströms prosumenten. Ingen risk för för låga dp.
	<u>Nedströms prosument:</u> Högre dp hos kunder nära samt nedströms prosumenten. Ingen risk för för låga dp.	<u>Nedströms prosument:</u> Högre dp hos kunder nedströms prosumenten. Ingen risk för för låga dp.

6 Rekommendationer och slutsatser

En av fjärrvärmeteknikens främsta fördelar idag är möjligheten att ta tillvara värme som annars inte kommer till nytta, något som görs idag, då handlar det främst om större spillvärmekällor. Fjärrvärmenätet erbjuder en unik möjlighet att effektivt förflytta värme. Runt om oss i samhället finns gott om värmeflöden som skulle kunna matas in i fjärrvärmenäten och komma andra till nytta. En sådan utveckling skulle leda till mer småskalighet och i vissa avseenden kräva mer sofistikerade regelsystem men i gengäld finns stora möjligheter att minska den totala miljöbelastningen och öka resurseffektiviteten. Hur mycket den totala miljöbelastningen minskar eller hur de ekonomiska avtalen för småskalig inmatning utformas ligger utanför denna studie som istället fokuserat på hur kan den småskaliga värmen ska tillföras fjärrvärmenätet på ett ur teknisk synvinkel effektivt och säkert vis. Utgångspunkten har varit kunder som både vill köpa fjärrvärme och sälja värmeöverskott, vilka vi i analogi med utvecklingen i elnäten valt att kalla prosumenter.

Nedan har vi utifrån de samlade erfarenheterna av detta projekt sammanställt rekommendationer för hur personer som är aktiva inom fjärrvärmebranschen kan hantera eventuella prosumenter. Först måste värmekällan identifieras och karakteriseras:

- När finns det ett värmetillskott? (dygns-, vecko- och säsongsbasis)
- Hur stort är möjligt tillskott? (maximal effekt och medel- eller medianeffekt)
- Hur stort är kundens värmebehov i förhållande till värmetillskottet med avseende på effekt och tidpunkt?
- Vilken(-a) temperatur(-er) kan prosumenten ge?

Hur ser det ut i gränssnittet – i själva inmatningspunkten?

- Hur stort är differenstrycket och hur mycket varierar det på dygns-, vecko- och säsongsbasis? Det kan vara lämpligt att mäta differenstrycket för att förbättra precisionen i valet av inmatningspump. Är den möjliga prosumenten redan värmekund bör differenstrycket mätas på servisledningen. Ofta finns avluftnings- och avtappningsventiler som kan användas. Om det är troligt att det blir en primärinkoppling, R/F, så kan avsticken som inmatningscentralen ska ansluta mot användas som uttag för differenstrycksmätningen.
- Kan en lägre inmatningstemperatur än framledningstemperaturen i nätet accepteras? Detta hänger samman med var i nätet prosumenten finns. Att sätta ett strikt, generellt värde är att göra det enkelt för sig. I perifera delar med nyare bebyggelse kanske de fungerar alldeles utmärkt med en lägre temperatur än nätet i övrigt. I många nät råder högre temperaturer än vad kunderna egentligen behöver som ett sätt att öka kapaciteten i näten och minimera flaskhalsar. Observera att inmatningstemperaturens börvärde ska vara ställbart i inmatningsutrustningen vilket gör att frågan till viss del kan diskuteras efter hand och då kan börvärdet ändras.
- Vilken dimension har servisledningen? Vilken är den högsta flödes hastighet som kan accepteras? Detta kan även gälla stamledningar i området om prosumenten kan ge ett större flöde än vad konsumtionen behöver idag.
- Vilket flöde finns i den närmaste stamledningen och hur varierar flödet med prosumentens effektproduktion, framför allt om en R/R-inkoppling diskuteras?
- Tryck- och temperaturkrav, om de avviker från 120 °C och PN16.

Andra tekniska förutsättningar:

- Var placeras anslutningsledningen för värmeinmatningen? Är den så lång att hänsyn behöver tas till frysrisk och kallproppsinmatning?
- Ska värmemängdsmätningen och konteringen göras för en momentan energibalans eller ska en längre tidsperiod användas? Var ska debiteringsmätare placeras?
- Ska det ställas några speciella krav på några tekniska komponenter eller utformningen av inmatningscentralen? Är det ok så länge alla produkter har rätt klassning?
- Ska några speciella krav ställas på larm, läcklarm, låg inmatningstemperatur, för hög inmatad effekt etc.?
- Är det aktuellt och önskvärt att titta på kombinationslösningar, både primär och sekundär eller både R/F och R/R?
- Är det ok att använda fjärrvärmenätet som överhettningsskydd?
- Kan en höjning av returtemperaturen accepteras, antingen under korta tidsperioder eller kontinuerligt?
- Har värmeleverantören själv den kompetens som behövs för att sköta sin värmeproduktionsanläggning? Ska fjärrvärmebolaget erbjuda ett drift- och övervakningsavtal?
- Finns det risk för att trycket i returledningen är för lågt bör det installeras en absoluttrycksgivare i centralen som larmar vid för lågt tryck. Dessutom kan rören anslutas på undersidan av servisledningen för att garantera att det finns vatten att hämta, och det bör då också användas ett filter före värmeväxlaren i inmatningscentralen.

Betalningen för levererad värme spelar självklart in i beslutet om värme ska levereras till fjärrvärmenätet eller inte. En viktig fråga är när värmen byter ägare och ska betraktas som såld. Kan värme som matas in på fjärrvärmenätet via en R/F-anläggning men sedan används direkt, i den vanliga kundcentralen, betraktas som "egen värme"?

6.1 BESLUT 1 – PRIMÄRT ELLER SEKUNDÄRT

Ska anläggningen kopplas primärt, sekundärt eller både och? Här kan det finnas generella rekommendationer (beslut) som är tagna av fjärrvärmebolaget att i princip bara tillåta en typ av anslutning såsom till exempel R/F eller enbart sekundär anslutning. Är det till och med så att en sekundärkopplad anslutning inte är önskvärd? Kan erbjudande om ersättning för värme via en primärinkopplad anläggning göra valet mer självklart?

Om bara primärt accepteras – gå vidare till nästa avsnitt om Beslut 2, se även Figur 43.

Om beslutet huvudsakligen ska utgå från värmemängder så kan en rekommendation se ut enligt nedan:

- Den lokalt producerade värmemängden är mycket större än det lokala värmebehovet – endast primäranslutning.
- Den lokalt producerade värmemängden är bara något större, och framför allt under vissa tider, än det lokala värmebehovet – en dubbel anslutning kan vara tänkbar men mycket är avhängigt hur det ekonomiska avtalet ser ut.
- Den lokalt producerade värmemängden är alltid, eller nästan alltid, mindre än det lokala värmebehovet beräknat inom en tidsrymd på 2-3 dagar – sekundär anslutning med värmelager.

Om den lokalt tillgängliga värmen endast ibland överstiger det lokala behovet så kan det vara lämpligt att använda en sekundär anslutning med en seriekopplad primär anslutning som överhettningsskydd (se Figur 38). För den eventuella prosumenten finns det alternativa överhettningsskydd men att använda R/F, eller kanske till och med F/R, kan ge lite värme ute i nätet till en låg kostnad, eller låg intäkt. I första hand är det kanske inte en fråga om betalning för värmen utan ett, för prosumenten, tryggt sätt att bli av med ett värmeöverskott som annars kan ge stora problem och kosta pengar i tillsyn. (R/R och F/F kan inte skapa ett eget flöde varför dessa varianter inte är lämpliga som överhettningsskydd.)

Ju större värmemängd det blir att mata in på fjärrvärmesystemet desto mer blir alternativet att gå från seriekopplad, sekundär/primär inkoppling till parallellkopplad sekundär/primär anslutning (se Figur 39). Detta gäller också när det finns begränsat utrymme för ett värmelager. Ju mindre värmelager desto lämpligare att använda parallellkoppling. Det finns flera sätt att göra fördelningen mellan att värma värmelagret och att mata in värme på fjärrvärmenätet. Det enklaste är att fylla upp lagret först och sedan mata in resten. Observera att när det gäller solvärmearläggningar så måste man välja mellan att använda ett värmelager eller inmatning.

Om beslutet blir att bygga en parallellkopplad prosumentinstallation så blir nästa beslut att fundera över vilken typ av primärinkopplingssystem som ska användas. Det blir alltid dyrare med dubbla system och en kalkyl bör göras om det är ekonomiskt lämpligt att göra en kombiinstallation.

6.2 BESLUT 2 – TYP AV PRIMÄRINKOPPLING

Baslösningen är inkoppling enligt R/F men R/R är också en möjlig lösning. R/R är mer aktuell framför allt om det är svårt att få till en tillräckligt hög inmatningstemperatur, under hela eller delar av året. Alternativen är då:

- Att acceptera en inkoppling med R/F med en lägre inmatningstemperatur under hela eller delar av året.
- Att enbart använda R/R-inkoppling med de problem och nackdelar som det för med sig.
- Att använda en kombianläggning både R/F och R/R vilket blir dyrare.

Om bara R/F accepteras eller om en kombianläggning R/R+R/F diskuteras – gå vidare till nästa avsnitt om Beslut 3. Se även Figur 43.

Lägre inmatningstemperatur

Om flödet och temperaturen från prosumenten samt flödet i stamledningen, som tar emot det inmatade flödet, är kända, så kan blandningstemperaturen enkelt uppskattas. De kunder som kan påverkas av inmatningen ligger efter prosumentanläggningen i flödesriktningen och har dessa ett lägre temperaturkrav än vad inblandningen ger så borde en lägre inmatningstemperatur kunna accepteras.

Om bara primäranslutningar enligt R/F accepteras kan ett specialfall av lägre inmatningstemperatur tillåtas. När den inmatade effekten är lägre än den som prosumenten själv använder kan inmatningstemperaturen anpassas till prosumentens egna krav. Svårigheten ligger i att ställa om till en högre inmatningstemperatur när flödet i servisledningen vänder så att värme kommer ut på stamledningen, då den producerande effekten är större än den använda.

R/R-inkoppling

En R/R-inkoppling höjer alltid returtemperaturen i fjärrvärmenätet. Beroende på vilken typ av värmeproduktionsanläggning som används ger det inga, små eller stora nackdelar. Dessa nackdelar måste vägas mot fördelarna med att få in värme ute i fjärrvärmenätet.

Det är viktigt att vara observant på en R/R anläggning inte kan skapa sitt eget flöde.

Det finns en gräns för hur stor andel av den aktuella värmelasten i ett nät som en R/F-inkopplad anläggning kan accepteras att ta, innan det blir negativa konsekvenser för styrningen av värmeleveransen i nätet. En anläggning som kopplas in R/R kan tillåtas mata in över 100 % av den aktuella värmelasten under en kortare period. För att kunna bli av med så pass mycket värme så måste inmatningspunkten vara på en stamledning där hela, eller huvuddelen, av returflödet passerar. Den huvudsakliga värmekällan måste i princip ha helt steglös effektereglering, vilket är ovanligt, ner till noll. Det måste också vara möjligt, och lämpligt, att variera (höja) temperaturen i fjärrvärmenätet mer än vad utomhustemperaturkompenseringen ger. Det kan dessutom vara lämpligt att se var högttemperaturskydd och annan reglerutrustning sitter så att inte ett varmt returflöde ger oönskade reglerfenomen. Om dessa förutsättningar är uppfyllda så kan en decentraliserad värmekälla som kopplas in R/R, t ex en solvärmeanläggning, använda framledningen i fjärrvärmesystemet som värmelager, på riktigt. Solvärmeanläggningen kan, under de soligaste dagarna, ge 100 % värmertilskott under nästan halva dygnet utan något extra värmelager.

Kombisystem R/F + R/R

Om ett kombisystem med både R/F och R/R används så blir det alltid mindre värme som matas in enligt principen R/F än om bara R/F-inkopplingen används. Den totala inmatade värmemängden, R/R plus R/F, blir dock större men då måste hänsyn tas till hur värme inmatad enligt R/R värderas i förhållande till värme inmatad enligt R/F. Om ett flertal indata är kända skulle en teoretisk beräkning kunna göras men det är så många variabler så en mer generell bedömning är omöjlig att göra.

På vilka villkor som reglerutrustning ska byta från R/R till R/F måste diskuteras noga och det bör nog även göras ändringsbart i reglerutrustningen.

6.3 BESLUT 3 – VAL AV INMATNINGSSYSTEM FÖR EN R/F-INKOPPLING

Detta avsnitt handlar om huruvida anläggningen ska vara temperaturreglerad, flödesreglerad eller en kombination? Se även Figur 43 samt 5.1.4 och 5.1.5

Skillnaden mellan systemen är att ett flödesreglerat system aldrig använder en kortslutning (bypass, shunt). Hela flödet regleras med inmatningspumpen direkt, eller med hjälp av en ventil. I ett temperaturreglerat system så används alltid ett kortslutningsflöde. Inmatningspumpen ska se till att tryckuppsättningen är tillräckligt hög så att differenstrycket kan övervinnas och inmatning ske. Ventilen i kortslutningsledningen reglerar inmatningsflödet. Ibland kan fler ventiler behövas beroende på andra funktioner i inmatningskretsen.

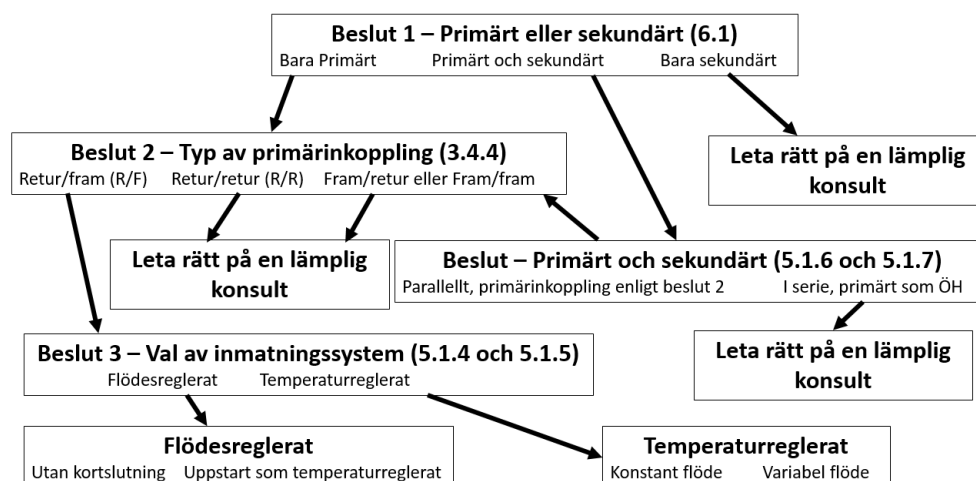
Om värmekällan inte kan ta hela temperaturlyftet från returtemperaturen till lämplig framledningstemperatur eller om den ska ha en högre returtemperatur som till exempel en bränslepanna är det lämpligt att använda ett temperaturreglerat system. En värmekälla som inte kan ta hela temperaturlyftet är t ex en kompressormaskin som inte kan kopplas i serie och som bara kan höja temperaturen 10-12 grader. Om den

maximala avkylningen av ett flöde för värmeåtervinning inte får sänkas till så låg temperatur som till fjärrvärmenätets returtemperatur så kan ett temperaturreglerat system användas.

Om avkylningen av värmekällan ska göras så långt det går utan tekniska begränsningar för avkylningen, så är ett flödesreglerat system lämpligt. Ett flödesreglerat system kan kyla till den lägsta temperaturen, nästan samma som fjärrvärmenätets returtemperatur, eftersom systemet inte använder någon kortslutning. Värmekällor som solvärme, direkt kopplad geotermisk värme, kompressormaskiner i serie samt värmeåtervinning med värmeväxlare kan räknas till denna typ.

Om värmekällan har mycket varierande produktion är det viktigt att hålla koll på hur stor del av driftstiden som pumpen som kan arbeta i ett ogynnsamt arbetsområde. Detta problem blir större ju högre differenstryck som finns i inmatningspunkten och ju lägre den maximalt inmatade effekten är. Det val som då måste göras är att acceptera att pumpen går en längre eller kortare tid i ett område som normalt inte omfattas av produktgarantier eller gå över till konceptet temperaturreglering med kortslutningsflöde vid lägre inmatningsflöden. Även om inmatningsflödet sjunker ända till nästan noll så kan flödet genom pumpen upprätthållas genom att en viss mängd flöde kortsluts.

Grundkravet som alltid måste upprätthållas är att den inmatade effekten ska vara lika stor som den producerade. Den producerade effekten hos en liten värmekälla är i allmänhet inte korrelerad med nätets effektbehov utan av andra funktioner såsom kylbehov, tillgång på bränsle, pannans effekt, solinstrålning eller varma vätske- eller gasflöden.



Figur 43 Schema för hur beslutsgången skulle kunna se ut vid eventuell fjärrvärmeanslutning av en decentraliserad värmekälla.

6.4 ÖVRIGA BESLUT

Det finns en hel räckra med beslut som måste tas när anslutningen av en decentraliserad värmekälla diskuteras, förutom valprocessen ovan. Frågor angående betalning, priser och leveranssäkerhet omfattas inte av denna rapport men är helt centrala för att båda parter ska känna sig nöjda med beslut och eventuell investering.

Läckage

Vilka risker för läckage kan finnas vid inmatningspunkten och hur ska dessa hanteras? En säkerhetsventil måste finnas vid inmatningen eftersom det måste finnas avstängningsventiler mot fjärrvärmenätet men frågan är om denna alltid vara ansluten till fjärrvärmenätet eller endast kopplas in om fjärrvärmenätet kopplas bort.

Enligt Inspecta ska det finnas en högtrycksvakt som stänger av inmatningspumpen om trycket skulle bli för högt.

Är automatavluftare lämpliga? Är det lämpligt med vanliga avluftnings- eller avtappningsventiler som skulle kunna öppnas av en obehörig?

Det finns pannor, kompressormaskiner och solfångare som är klassade PN16 och som kan kopplas direkt till fjärrvärmenätet. Är det ok att använda dessa direkt eller bör det alltid ligga en värmeväxlare mellan värmekällan och fjärrvärmenätet?

I vissa länder, exempelvis Danmark och Tyskland, ansluts radiatorsystem direkt till fjärrvärmenätet. För att minska risken för stora läckor installeras två flödesmätare, en på framledningen och en på returledningen, och om flödet på dessa avviker mot varandra stänger två ventiler så att den eventuella läckan kopplas bort. Finns det anledning att installera denna typ av läckage skydd?

Kortslutning

I ett fjärrvärmenät finns många kortslutningar, såväl kända som okända. En del måste finnas där för att kunna upprätthålla temperaturen i värmeleveransen men många finns där för att de glömdes av när installationen gjordes.

I en inmatningscentral finns det risk att flödet kortsluts och ibland är centralen även byggd för att kunna ge ha ett flöde från framledningen till returen. För att minimera risken för kortslutningsflöde så används alltid en backventil i framledningen. Något bolag har också ställt krav på att ventiler med ställdon ska ha fjäderstängning vid strömbrott.

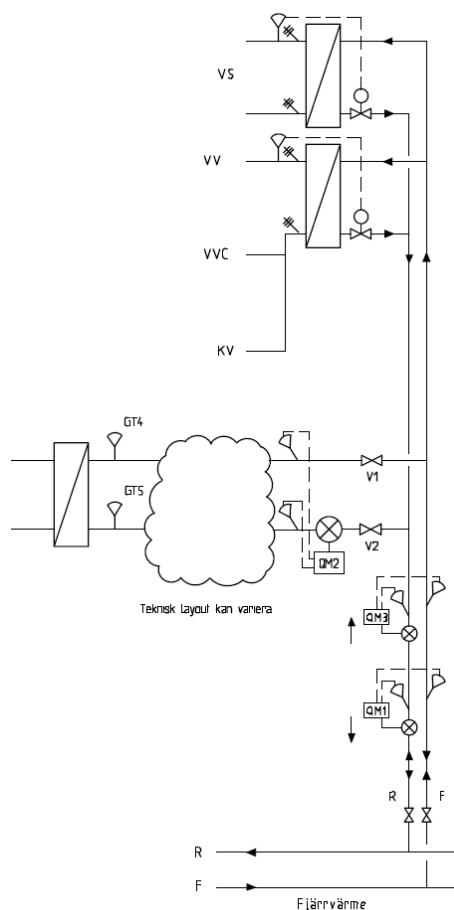
Om inmatningscentralen matas av en lång servisledning och dessa rör ligger utomhus eller i ett utrymme som kan få en temperatur som är lägre än 0°C, så måste rören skyddas mot frysning. Det finns några olika alternativ som kan användas som frysskydd, exempelvis att mata in kallt returvattnet i framledningen men det måste då göras så långsamt så att inte framledningstemperaturen sjunker. Som också påtalats tidigare så kan det vara svårt att mata in ett så litet flöde utan att inmatningspumpen far illa. Det alternativ för frysskydd som används i ett par svenska anläggningar är att släppa framledningstvatten baklänges, alltså att tillåta ett kortslutningsflöde, under en given tid. Anslutningspunkterna för kortslutningen måste göras närmare anslutningen till fjärrvärmenätet än vad backventilen sitter. I Figur 14, längst till höger, finns en ledning som i detta fall har försetts med en givare, GT62, som ska larma om temperaturen blir för hög, så att ett kortslutningsflöde med förhöjd returtemperatur på fjärrvärmenätet inte blir långvarig. Det kan också vara viktigt att påpeka att detta flöde för frysskydd för servisledningen normalt inte mäts, varken av den vanliga debiteringsmätaren eller av värmemängdsmätaren för inmatning av värme, om det byggs enligt Figur 14.

Debitering av värme

De allra flesta solvärmeanläggningar med primärinkoppling i Sverige har en separat inmatningsmätare och en separat debiteringsmätare (mätare för köpt värme). Inmatningsmätaren sitter i inmatningscentralen och mäter alla värme som matas in på

fjärrvärmesystemet. Det finns inte helt klarlagt när värmen som matas in på nätet byter ägare. Värmen kan byta ägare när den hamnar i fjärrvärmenätet, när det passerar ägargränsen för fjärrvärmenätet eller när det lämnar byggnaden eller fastigheten. Detta kan vara en ganska central fråga som inte är prövad juridiskt.

Oftast summeras värmeleveransen per månad, per period med samma pris för köpt värme eller per år. Den ekonomiska regleringen görs sen enligt den överenskommelse som är gjord. I någon anläggning har en inmatningsmätare placerats på servisledningningen för både värmeanvändning och värmeleverans så att egen producerad värme som aldrig lämnar fastigheten inte mäts. Det blir en form av direktkvittning som används för små elprosumenter. Om detta är ett bra sätt eller inte, får avgöras i det enskilda fallet. Men tekniskt sett är det enkelt eftersom ett flöde som går åt "fel" håll i en ultraljudsmätare visar noll och då kan de två flödesmätarna, en för köpt värme och en för lokal värmeleverans, sättas rygg i rygg, se Figur 44.



Figur 44 Inmatningsanläggning med en värmemängdsmätare för köpt värme och en värmemängdsmätare för levererad värme som sitter vid leveransgränsen, utanför anslutningen till inmatningscentralen, "rygg i rygg" så att momentant levererad värme kan mätas.

7 Diskussion

Det är vår förhoppning att det arbete har erbjudit en fördjupning av den teknik som kan användas för att mata in värme från små värmekällor i fjärrvärmenäten. Det är även vår förhoppning att omfattningen av detta kommer att öka framöver. Trots alla de tekniska svårigheter som tagits upp, plus tänkbara svårigheter av ekonomisk, juridisk eller administrativ karaktär som inte tagits upp i detta arbete, så måste den enorma potential som finns i lokal, småskalig förflyttning av värme tas tillvara.

Fjärrvärmetekniken har i Sverige framgångsrikt skiftat från fossil primär energiråvara till primär bioenergiråvara samt till mycket stor del till sekundär bioenergiråvara som kan betraktas som spill i någon mån. Nästa steg i utvecklingen bör vara att i högre grad skifta till ökat omhändertagande av direkt spillvärme och därmed minskad centralt tillförd värme till fjärrvärmesystemen.

Vi hade möjligen önskat detaljstudera ytterligare några anläggningar av typen små värmekällor. Trots efterlysning via Svensk fjärrvärmes kanaler visade det sig svårt att hitta anläggningar där tillräcklig detaljeringsgrad kunde erhållas. En orsak är sannolikt att det är svårt att upptäcka om en anläggning inte matar in värme på ett optimalt vis. Vi har noterat de vanligt förekommande svängningarna på solfångaranläggningarna och vi har stött på en allmänt förekommande uppfattning att svängningarna beror på solfångaranläggningarnas natur – varierande solinstrålning och långa anslutningsledningar (i förhållande till anläggningarnas storlek). Det vi har funnit är emellertid att problemen med svängningar är relaterat till den besvärliga arbetssituationen för inmatningspumpen. Solfångaranläggningar drabbas av svängningar i inmatningen då prestandan reduceras orsakat av förhöjd temperatur i solfångarna. Denna prestandaförsämring drabbar inte andra typer av anläggningar såsom kylmaskiner eller pannor. Det innebär att även om en sådan anläggning är behäftad med samma problem med svängande inmatning så är det inte säkert att det upptäcks. Månadsvis nettodebitering av prosumenten kommer inte att visa på något problem så länge som den inmatade värmemängden är den förväntade. Det är inte säkert att ens timvis driftsdata avslöjar svängande inmatning utan varje prosument bör följas upp i detalj. Ju fler prosumenter det blir i fjärrvärmenäten desto viktigare blir det att dessa kan leverera en jämn inmatning av flöde och effekt. Det kan bli tillräckligt utmanande att balansera den inmatade effektens naturliga variation, som ju i allmänhet inte korrelerar med den totala användningen i nätet.

En önskvärd vidareutveckling på området skulle vara en kartläggning med fortlöpande uppdatering av alla små värmekällor i de svenska fjärrvärmesystemen. Dels för att dessa inom ett antal år kan komma att ”synas” i statistiken över tillförd energi till fjärrvärmen och dels för att underlätta fortsatt utveckling av de tekniska lösningarna för inmatning från små värmekällor.

8 Referenser

- Bauer, D., Marx, R., Nußbicker-Lux, J., Ochs, F., Heidemann, W., & Müller-Steinhagen, H. (2010). German central solar heating plants with seasonal heat storage. *Solar Energy*, 84(4), 612-623.
- Brand, L., Calvén, A., Englund, J., Landersjö, H., & Lauenburg, P. (den 15 September 2014). Smart district heating networks – A simulation study of prosumers' impact on technical parameters in distribution networks. *Applied Energy*, 129, 39-48. doi:doi:10.1016/j.apenergy.2014.04.079
- BREEAM SE. (2013). *English manual for new construction and refurbishment*.
- Broberg Viklund, S., & Johansson, M. T. (2014). Technologies for utilization of industrial excess heat: Potentials for energy recovery and CO2 emission reduction. *Energy Conversion and Management*, 77, 369-379.
- Broberg, S., Backlund, S., Magnus, K., & Thollander, P. (2012). Industrial excess heat deliveries to Swedish district heating networks: Drop it like it's hot. *Energy Policy*, 51, 332-339.
- Carriere, J., Djebbar, R., Kokko, J., McClenhan, D., Sibbitt, B., Thornton, J., & Wong, B. (2012). The performance of a high solar fraction seasonal storage district heating system – five years of operation. *Energy Procedia*, 30, 856-865.
- Dalenbäck, J.-O., Lennermo, G., Andersson-Jessen, P.-E., & Kovacs, P. (2013). *Solvärme i fjärrvärmesystem - Utvärdering av primärkopplade system*. Stockholm: Svensk Fjärrvärme.
- Energistyrelsen, D. (den 18 April 2016). *www.ens.dk*. Hämtat från Energistyrelsen, Danmark: <http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsokonomiske-analysemetoder>
- Frederiksen, S., & Werner, S. (2013). *District Heating and Cooling*. Lund: Studentlitteratur.
- Gävle kommun. (2015). *Förslag till energiplan (Draft energy plan. In Swedish)*. Gävle: Gävle kommun.
- Lindenberger, D., Bruckner, T., Groscurth, H.-M., & Kümmel, R. (2000). Optimization of solar district heating systems: seasonal storage, heat pumps, and cogeneration. *Energy*, 25(7), 591-608.
- Malmö Stad, miljöförvaltningen. (u.d.). *Miljöprogram för Malmö Stad 2009 – 2020*. Malmö.
- Nielsen, J. E. (2012). IEA-SHC Task 45: Large solar heating/cooling systems, . *Energy Procedia*, 30, 849-855.
- Ruester, S., Schwenen, S., Batlle, C., & Pérez-Arriaga, I. (2014). From distribution networks to smart distribution systems: Rethinking the regulation of European electricity DSOs. *Utilities Policy*, 31, 229-237.
- Rylander, E. (den 21 01 2015). *Open District Heating for Data Centers*. Hämtat från <http://www.oppenfjarrvarme.se/media/Heat-Recovery-from-Data-Centers-Rylander-20150121.pdf> den 31 08 2015
- Schleicher-Tappeser, R. (2012). How renewables will change electricity markets in the next five years. *Energy Policy*, 48, 64–75.
- Schäfer, K., Schlegel, F., & Pauschinger, T. (2014). Decentralized feed-in of solar heat into district heating networks - a technical analysis of realized plants. *2nd International Solar District Heating Conference, Book of papers*. Hamburg.
- Svensk fjärrvärme. (2013). *Fjärrsyn Programbeskrivning 2013 till 2017*. Stockholm: Svensk fjärrvärme.

- Svensk fjärrvärme. (2013). *Fjärrsyns programbeskrivning 2013 till 2017*. Stockholm: Svensk fjärrvärme.
- Svensk Fjärrvärme. (2014). *Fjärrvärmecentralen - Utförande och installation, Tekniska bestämmelser F:101*. Stockholm: Svensk Fjärrvärme.
- U.S. Green Building Council. (2008). *LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System*.
- Växjö kommun. (2012). *Energiplan för Växjö kommun (Energy plan for Växjö municipality. In Swedish)*. Växjö: Växjö kommun.

SMÅ VÄRMEKÄLLOR

Mikroproduktion, prosument och smarta nät är begrepp som allt oftare hörs när det gäller elnät. På fjärrvärmesidan går utvecklingen långsammare även om det finns ett mindre antal värmekunder som periodvis levererar värme till nätet – så kallade prosumenter.

Här beskrivs hur inmatningen av värme från en prosument till fjärrvärmenätet görs på bästa sätt. Målet är att varje värmekälla ska vara till nytta både för kunden och för fjärrvärmebolaget, oavsett vilken typ av värmekälla det gäller.

Principen är att den inmatade effekten ska vara lika stor som den tillgängliga. Om inte ett värmelager används kan det lösas antingen med ett flödesreglerat eller med ett temperaturreglerat system. Värmekällor som kräver en given returtemperatur eller som inte kan lyfta hela temperaturssteget kan med fördel anslutas temperaturreglerat medan värmekällor som ska arbeta vid så låg temperatur som möjligt eller kylas så långt det går bör anslutas flödesreglerat, eventuellt med en temperaturreglerad uppstart.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk