

FLÖDESUTJÄMNANDE KÖRSTRATEGI

*Gunnar Larsson
Ola Rossing AB*

FLÖDESUTJÄMNANDE KÖRSTRATEGI

Gunnar Larsson
Ola Rossing AB

ISSN 1402-5191

I rapportserien publicerar projektledaren resultaten från sitt projekt. Publiceringen innebär inte att Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB tagit ställning till slutsatserna och resultaten.

Sammanfattning

En flödesutjämnande körstrategi har provkörts i Karlskogas fjärrvärmesystem. Strategin innebär att framtemperaturen styrs både med avseende på aktuell utetemperatur och klockslag. Denna körstrategi har jämförts med fallet då framtemperaturen enbart styrs med avseende på aktuell utetemperatur.

Resultatet av mätningarna visar att den flödesutjämnande körstrategin ger lägre flödesvariationer än fallet då framtemperaturen enbart styrs med avseende på aktuell utetemperatur. Maxflödet reduceras med ca 7 % och minflödet ökas med ca 12 % med den flödesutjämnande körstrategin. Överföringskapaciteten i nätet ökar alltså med ca 7% utan att den genomsnittliga nivån på framtemperaturen höjs. Körstrategin ger dock ingen utjämning av utmatad effekt.

Den flödesutjämnade körstrategin är tillämpbar i alla nät där produktionen i huvudsak sker från en plats i nätet. Troligtvis är det dock svårare att uppnå flödesutjämning i ett stort nät än i ett mindre. Det behandlade nätet (Karlskoga) är ett medelstort svenskt fjärrvärmesystem med en anslutningseffekt på 117 MW. Metoden ger endast flödesutjämning för driftfall vid utemperaturer kring 0 °C och kallare.

Körstrategin är helt automatiserad och är enkel att tillämpa samt kräver ingen väderleksprognos.

Nyckelord: fjärrvärmesystem, framtemperatur, körstrategi, flödesutjämning

Summary

A control strategy to even out the flow rate has been tested in Karlskoga district heating system. In this strategy the supply temperature is controlled with regard to both the outdoor temperature and the time of day. The strategy has been compared to the case when the supply temperature is controlled with regard to the outdoor temperature only.

The results of the measurements show that the control strategy to even out the flow rate actually reduces the flow rate variations. The maximum flow rate is reduced about 7% and the minimum flow rate is increased about 12%. Thus, the capacity to transfer heat through the pipe network is increased about 7% without to increase the average supply temperature. However, the control strategy gives no equalization of delivered heat power out from the production unit.

The control strategy to even out the flow rate is useful in all district heating system where the main production comes from one place in the system. However, it is probably more difficult to even out the flow rate in a big system than in a small one. The considered case (Karlskoga) is a middle size Swedish district heating system. The method is only able to even out the flow rate in cases when the outdoor temperature is about 0 °C or lower.

The control strategy is absolutely automatic and is easy to apply and demands no weather forecast.

Keywords: district heating system, supply temperature, control strategy, flow equalization

Innehåll

1 Inledning	6
2 Grundläggande teori	7
2.1 Lastmodell	7
2.2 Temperaturdynamik	8
2.3 Körstrategier	10
2.3.1 Styrning av framtemperaturen med avseende på aktuell utetemperatur .	10
2.3.2 Flödesutjämnande körstrategi	13
3 Test av flödesutjämnande körstrategi i Karlskoga fjärrvärmesystem	15
3.1 Kort beskrivning av Karlskogas fjärrvärmesystem	15
3.2 Utförande av mätningarna	17
3.3 Mätresultat	21
3.4 Dygnssimulering	27
4 Diskussion	29
5 Captions	31

Förord

I min doktoravhandling presenterade jag en flödesutjämnande körstrategi. Slutsatserna från detta arbete byggde helt och hållet på resultat från datorsimuleringar. Tack vare Karlskoga Kraftvärmeverk AB har vi nu kunnat testa metoden på ett verkligt fjärrvärmesystem. Kontaktpersonen på Karlskoga Kraftvärmeverk AB har varit Per Sommarin. Jag vill passa på och tacka Per och övrig personal som på ett eller annat sätt har varit inblandat i projektet.

1 Inledning

I vissa fjärrvärmesystem kan det vara svårt att leverera ut den effekt som efterfrågas på grund av hydrauliska begränsningar i nätet. Ett effektivt sätt att avhjälpa detta är att höja framtemperaturen. Förhöjd framtemperatur leder dock till högre värmeförluster och minskad effektivitet i många produktionsenheter. Det är naturligtvis även möjligt att förstärka nätet (bygga större ledningar), men detta är förknippat med höga kostnader. Styrning av produktionsenheter försvåras också ofta av stora flödesvariationer.

Idag är maximal tillåten framtemperatur $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, men det finns förslag på att sänka till $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Om detta blir verklighet kommer hydrauliska begränsningar i svenska fjärrvärmesystem att öka drastiskt och därmed blir det ännu viktigare att minska flödestopparna.

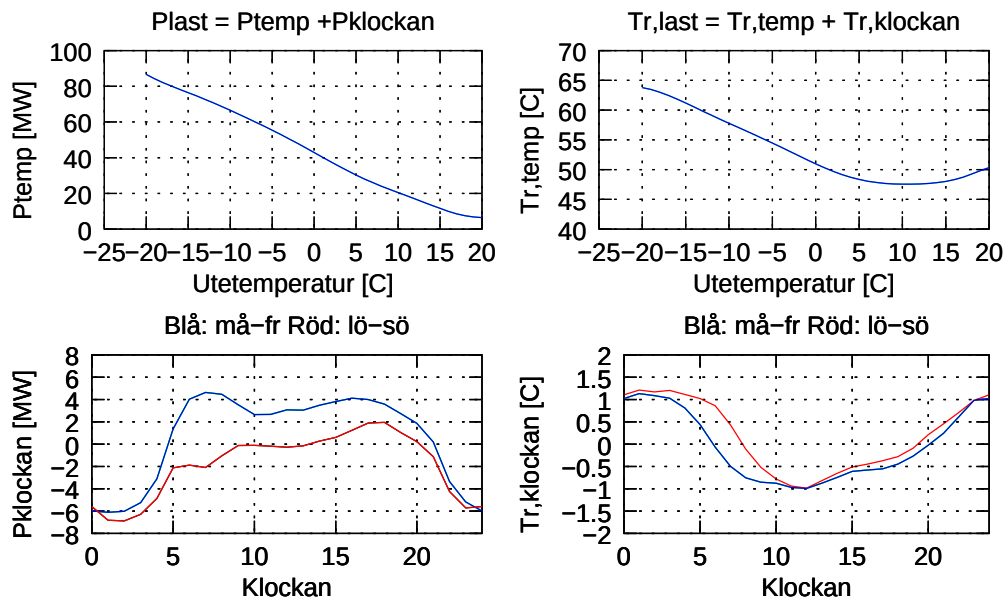
Den vanligaste förekommande körstrategin i svenska fjärrvärmesystem är att styra framtemperaturen enbart med avseende på aktuell utetemperatur. Ett annat sätt är att handköra, dvs att framtemperaturen ställs in manuellt. I doktorsavhandlingen "Dynamik i fjärrvärmesystem" ref [1] (avsnitt 6.4) presenterades en körstrategi som enligt datorsimuleringar leder till små flödesvariationer. Med denna metod styrs framtemperaturen inte enbart med avseende på aktuell utetemperatur utan också med avseende på tidpunkten på dygnet.

Syftet med projektet är att testa den flödesutjämnande körstrategin i ett verkligt nät. Karlskoga Kraftvärmeverk AB har visat intresse av att provköra denna körstrategi. Om försöket faller väl ut, dvs att flödesvariationerna verkligen blir mindre, så har man fått en mycket enkel metod för att öka överföringskapaciteten i ett befintligt nät utan att öka den genomsnittliga nivån på framtemperaturen.

2 Grundläggande teori

2.1 Lastmodell

Värmelastmodell, Karlskoga 2001



Figur 1. Värmelastmodell för Karlskoga fjärrvärmesystem.

Vid alla hydrauliska beräkningar i ett fjärrvärmesystem är det viktigt att veta hur värmelasten och returtemperaturen varierar. I figur 1 visas en lastmodell för Karlskogas fjärrvärmesystem. Lastmodellen är framtagen ur driftstatistik under perioden oktober 2000 till maj 2001. Driftstatistiken består av timvisa värden på utetemperatur, framtemperatur, returtemperatur samt flöde ut från Värmeverket. För detaljer kring hur lastmodellen tas fram hänvisas till kapitel 5 i ref [1].

Översta grafen till vänster i figur 1 illustrerar hur värmelasten varierar med utetemperaturen. Denna del av värmelasten utgörs i första hand av byggnadsuppvärmning och ökar i storlek ganska linjärt med sjunkande utetemperatur.

Värmelasten varierar också med avseende på klockan. Grafen längs ned till vänster i figur 1 visar hur denna sociala last varierar under dygnet. Det finns en dygnsprofil för vardagar och en för

helger. Den sociala värmelasten utgörs till stor del av tappvarmvattenförbrukning. Förbrukningen är låg under natten och ökar sedan ganska snabbt under morgonen för att sedan åter sjunka under kvällen. Under helgerna sker en långsammare lastökning på morgonen och till en lägre nivå.

Summan av den utetemperaturberoende delen av värmelasten (P_{temp}) och den sociala värmelasten ($P_{klockan}$) ger den totala värmelasten i nätet (P_{last}).

$$P_{last} = P_{temp} + P_{klockan} \quad (2.1)$$

Returtemperaturen beskrivs också med hjälp av en funktion som beror på utetemperaturen ($T_{r,temp}$) och en funktion som varierar med klockan ($T_{r,klockan}$). Ju kallare det är ute ju högre blir returtemperaturen. Detta beror till största del på högre temperaturnivåer i kundanläggningarnas uppvärmningssystem (företädesvis radiatorsystem). Då utetemperaturen överstiger ca 15 °C finns inget behov av byggnaduppvärmning, vid dessa driftfall består värmelasten i huvudsak tappvarmvattenförbrukning, VVC-last samt värmeförluster till omgivningen, vilket gör att returtemperaturen stiger. Det kan också finnas kortslutningar mellan fram- och returledning i nätet, vilket också bidrar till att returtemperaturen stiger under sommaren.

Returtemperaturen är lägre under dagen än under natten vid lika utetemperatur, vilket till största del beror på dygnsvariationen av tappvarmvattenförbrukningen.

Summan av $T_{r,temp}$ och $T_{r,klockan}$ ger den totala returtemperaturen ute i nätet ($T_{r,last}$).

$$T_{r,last} = T_{r,temp} + T_{r,klockan} \quad (2.2)$$

2.2 Temperaturdynamik

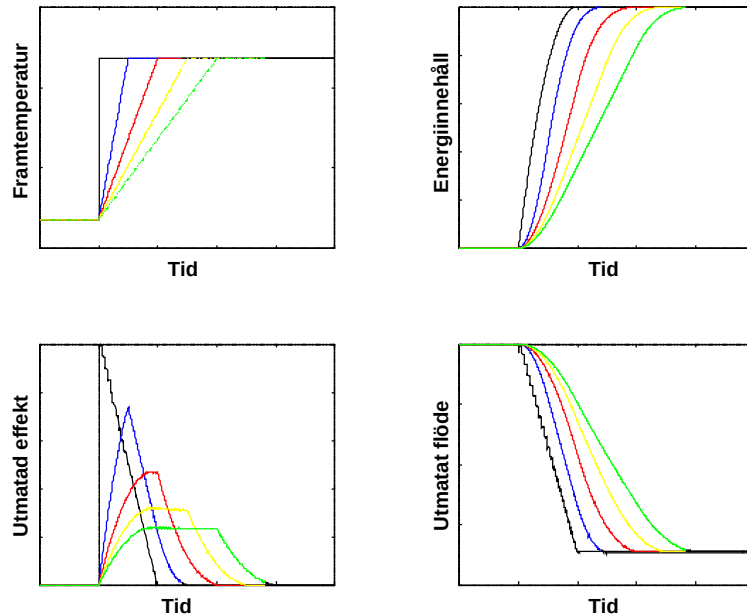
Lastmodellen i figur 1 beskriver alltså hur stor värmelasten ute i nätet är. Den utmatade effekten vid samma tidpunkt behöver dock inte vara den samma. Detta beror på att det hela tiden sker i- och urladdningar av värmeenergi i röret. Om man t ex höjer framtemperaturen ut från verket kommer framledningen att laddas upp, vilket innebär att den utmatade effekten under en tid kommer vara större än värmelasten i nätet. Då framtemperaturen sänks sker istället en urladdning av framledningen.

I figur 2 illustreras resultat från dynamiska simuleringar av ett enkelt fjärrvärmesystem som består av en produktionsenhet samt en stamledning. Simuleringarna är utförda med programmet PFC-TF ref. [2]. På stamledningen finns tjugo lika stora fjärrvärmecentraler anslutna. Fjärrvärmecentralerna är jämnt utspridda längs stamledningen. Under simuleringarna är värmelast och returtemperatur konstant. Figuren visar hur energiinnehållet i nätet, utmatad effekt samt utmatat flöde påverkas av en ändring av framtemperaturen.

Vid en stegartad ökning av framtemperaturen stiger också den utmatade effekten stegartat. Allteftersom den nya förhöjda framtemperaturen når fjärrvärmecentralerna sjunker det utmatade

flödet, vilket medför att den utmatade effekten också sjunker. Då den förhöjda framtemperaturen har nått alla fjärrvärmecentraler är framledningen fulladdad.

Om framtemperaturen höjs successivt under en längre period i form av en ramp blir den maximala laddeffekten lägre. Det tar naturligtvis också längre tid innan framledningen är fullt uppladdad.



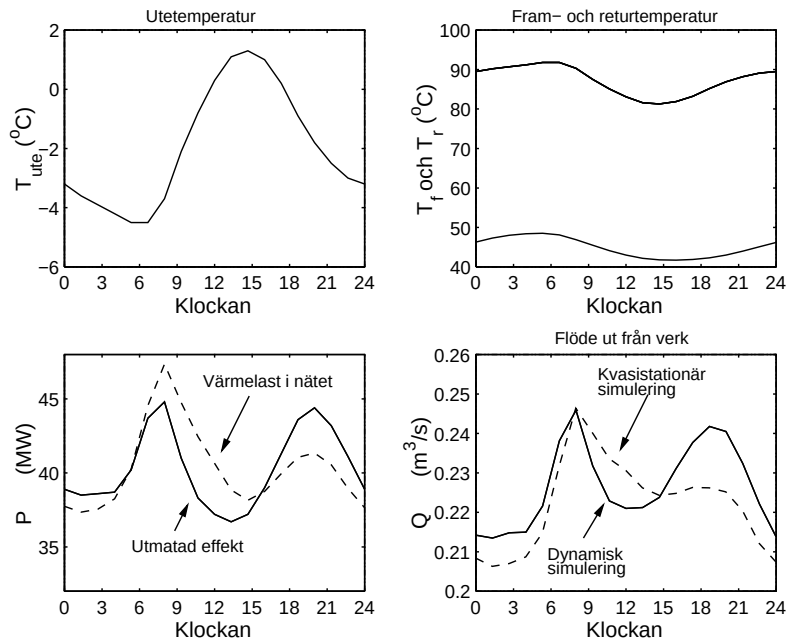
Figur 2. Uppladdning av framledningen vid konstant värmelast och returtemperatur.

Eftersom även returtemperaturen ändrar sig i ett fjärrvärmesystem sker det också i- och urladdningar av returledningen. Det är regleringen av fjärrvärmecentralerna som ger upphov till ändrad returtemperatur. I- och urladdning av returledningen kan alltså inte påverkas från kontrollrummet.

I figur 3 visas resultatet från en dygnsimulering med programmet PFC-TF ref. [2] av ett fjärrvärmesystem med en produktionsenhet. Indata till simuleringen är utetemperaturen (T_{ute}). Värmelast och returtemperatur (T_r) i nätet varierar enligt en värmelastmodell av samma typ som visas i figur 1. Framtemperaturen (T_f) varierar med avseende på aktuell utetemperatur.

Under natten sjunker utetemperaturen och framtemperaturen höjs. Därmed laddas framledningen upp och den utmatade effekten blir då något högre än värmelasten i nätet. Mellan klockan 6 och 15 stiger utetemperaturen och framtemperaturen sänks, vilket medför att framledningen laddas ur. Den utmatade effekten blir alltså lägre än värmelasten under denna period. Under eftermiddagen och kvällen ökas åter framtemperaturen och nätet laddas upp. Dynamiken i nätet påverkar också det utmatade flödet. Den streckade linjen visar hur flödet varierar då temperaturvågorna utbreder sig oändligt fort (kvasistationär simulering). I detta fall förekommer inga i- och urladdningar av nätet utan den utmatade effekten följer hela tiden värmelasten i nätet. Den hel-dragna linjen visar hur flödet varierar under en dynamisk simulering.

Den utmatade effekten och det utmatade flödet bestäms alltså inte enbart av värmelasterna i nätet utan beror också på hur framtemperaturen ut från verket styrs.



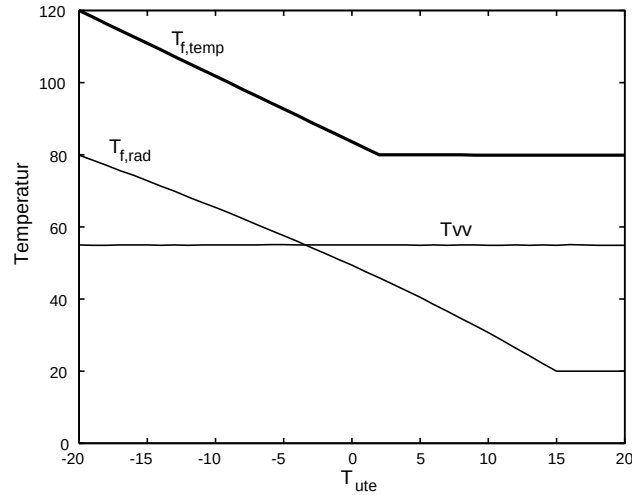
Figur 3. Dygnsimulering av ett fjärrvärmesystem med en produktionsenhet.

2.3 Körstrategier

2.3.1 Styrning av framtemperaturen med avseende på aktuell utetemperatur

Värmelast och returtemperatur i ett fjärrvärmesystem bestäms av dess fjärrvärmecentraler. Det enda sätt som man på kort sikt kan påverka utmatad effekt och utmatat flöde är alltså att ändra framtemperaturen. Fjärrvärmecentralerna kräver dock en viss nivå på framtemperaturen för att klara sina regleruppgifter. I figur 4 visas exempel på typiska temperaturnivåer i ett fjärrvärmesystem. Ett absolut krav är att den utmatade framtemperaturen ($T_{f,temp}$) från produktionsanläggningen alltid måste vara högre än de sekundära temperaturnivåerna i fjärrvärmecentralerna. Vid kall väderlek är det i regel temperaturnivån i fjärrvärmecentralernas uppvärmningssystem som sätter en gräns på hur låg framtemperatur som kan köras ut i nätet. I figuren visas framtemperaturen ($T_{f,rad}$) från ett radiatorsystem som är dimensionerat för temperaturen $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ vid dimensionerande utetemperatur. Under sommaren är det oftast beredningen av varmvatten (T_{vv}) som sätter gränsen på hur låg framtemperatur som kan köras ut i nätet.

Uppåt begränsas framtemperaturen till högsta tillåtna framtemperatur som idag är $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

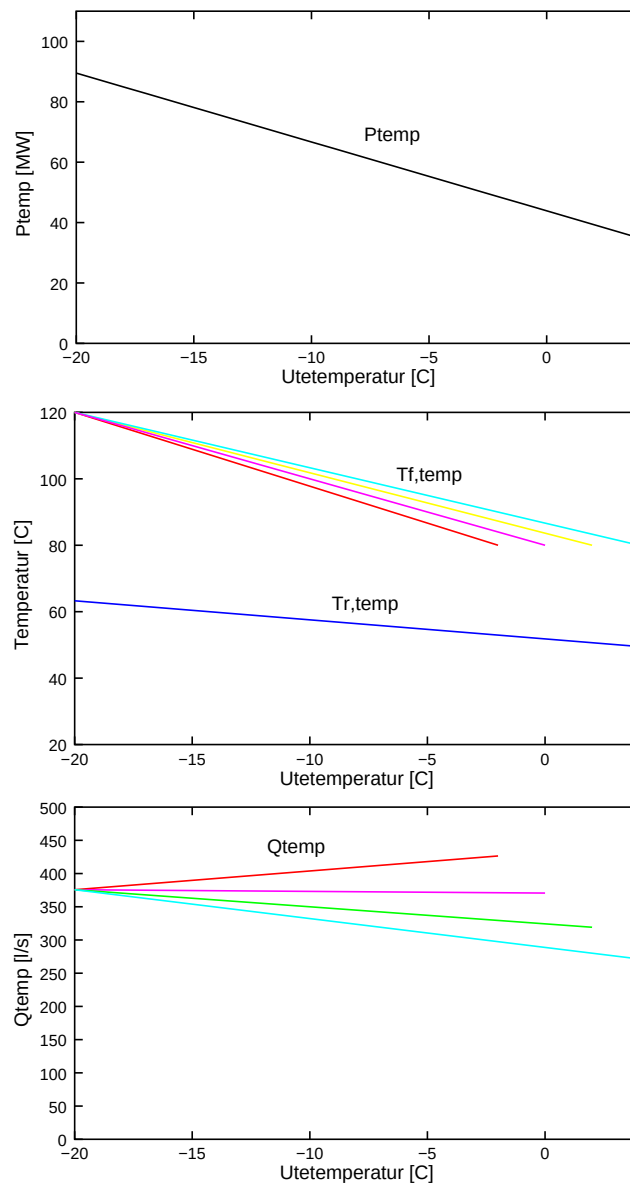


Figur 4. Exempel på typiska temperaturnivåer i ett fjärrvärmesystem.

En vanlig körstrategi är att styra framtemperaturen med avseende på aktuell utetemperatur enligt figur 4. Om man utgår från värmelastmodellen i figur 1 och bortser från den sociala delen av värmelasten och returtemperaturen ($P_{klockan}$ och $T_{r,klockan}$) samt försummar temperaturdynamiken i rörnätet blir det utmatade flödet (Q_{temp}) lika med

$$Q_{temp} = \frac{P_{temp}}{\rho \cdot c_p \cdot (T_{f,temp} - T_{r,temp})} \quad (2.3)$$

I figur 5 illustreras hur olika framtemperaturkurvor ($T_{f,temp}$) påverkar flödet (Q_{temp}). Endast den del av kurvan där framtemperaturen varierar med utetemperaturen redovisas i figuren. Den lila kurvan visar ett fall där framtemperaturen varierar linjärt från 120 °C till 80 °C mellan utetemperaturen -20°C och 0°C . I detta fall blir flödet (Q_{temp}) ganska oberoende av utetemperaturen. Vid svagare lutning på framtemperaturkurvan kommer flödet öka vid sjunkande utetemperatur (gul och ljusblå kurva). Brantare lutning ger lägre flöde vid sjunkande framtemperatur (röd kurva). Detta gäller dock under förutsättning att framtemperaturen är tillräckligt hög för att fjärrvärmecentralerna skall klara sina regleruppgifter.



Figur 5. Illustration av hur framtemperaturen påverkar flödet i ett fjärrvärmesystem.

Om man styr framtemperaturen enligt den lila kurvan i figur 5 skall kan man dock inte förvänta sig ett konstant utmatat flöde, eftersom värmelast och returtemperatur även beror på tidpunkten under dygnet. Genom att även styra framtemperaturen med avseende på tidpunkten under dygnet bör det dock vara möjligt att minska flödesvariationerna. Denna metod beskrivs i kommande avsnitt (2.3.2).

2.3.2 Flödesutjämnande körstrategi

Enligt lastmodellen i figur 1 beror värmelast (P_{last}) och returtemperatur ($T_{r,last}$) som sagt var inte enbart på aktuell utetemperatur (P_{temp} , $T_{r,temp}$) utan även på tidpunkten under dygnet ($P_{klockan}$, $T_{r,klockan}$). Enligt denna körstrategi skall därför även framtemperaturen vara en funktion både utetemperatur och klockslag.

$$T_f = T_{f,temp} + T_{f,klockan} \quad (2.4)$$

Om man bortser från temperaturdynamiken i nätet, men tar hänsyn till den sociala delen av värmelast och returtemperatur så blir det utmatade flödet (Q)

$$Q = \frac{P_{temp} + P_{klockan}}{\rho \cdot c_p \cdot ((T_{f,temp} + T_{f,klockan}) - (T_{r,temp} + T_{r,klockan}))} \quad (2.5)$$

Funktionen $T_{f,klockan}$ är alltså den del av framtemperaturen som beror på tidpunkten på dygnet. Även flödet delas upp i en del som beror på utetemperaturen (Q_{temp}) och en del som beror på klockan ($Q_{klockan}$).

$$Q = Q_{temp} + Q_{klockan} \quad (2.6)$$

Genom att sätta $Q_{klockan} = 0$ och lösa ut ut funktionen $T_{f,klockan}$ ur ekvationerna 2.3, 2.5 och 2.6 får man

$$T_{f,klockan} = \frac{P_{klockan}}{\rho \cdot Q_{temp} \cdot c_p} + T_{r,klockan} \quad (2.7)$$

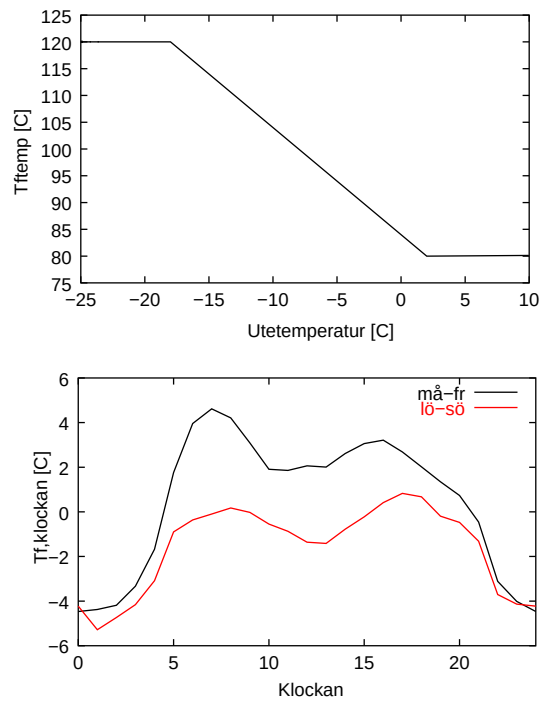
Om funktionen $T_{f,temp}$ väljes så att Q_{temp} blir oberoende av utetemperaturen (lila kurva i figur 5) så blir även funktionen $T_{f,klockan}$ oberoende av utetemperaturen.

I ekvation 2.7 tas ingen hänsyn till temperaturdynamiken i nätet. I verkligheten tar det tid för framtemperaturen att nå ut till fjärrvärmecentralerna. Den tid det tar för framtemperaturen att nå ut till nätets lasttyngdpunkt betecknas Δt . I Karlskogas fjärrvärmesystem är denna transporttid uppskattad till ca 70 minuter. Den tidsberoende delen av framtemperaturen vid tiden t blir då

$$T_{f,klockan}(t) = \frac{P_{klockan}(t + \Delta t)}{\rho \cdot Q_{temp} \cdot c_p} + T_{r,klockan}(t + \Delta t) \quad (2.8)$$

Egentligen bör även hänsyn tas till temperaturvågens transporttid när den utetemperaturberoende delen av framtemperaturen ($T_{f,temp}$) beräknas. För detta krävs dock en prognos på utetemperaturen. Vid testkörningarna har dock ingen prognos på utetemperaturen lagts in. Ett annat sätt att uttrycka detta på är att säga att prognosen har varit att utetemperaturen inte kommer ändra sig de närmaste 70 minuterna. Det känns som en stor nackdel om man är tvungen att ha en prognos på utetemperaturen för att metoden skall fungera.

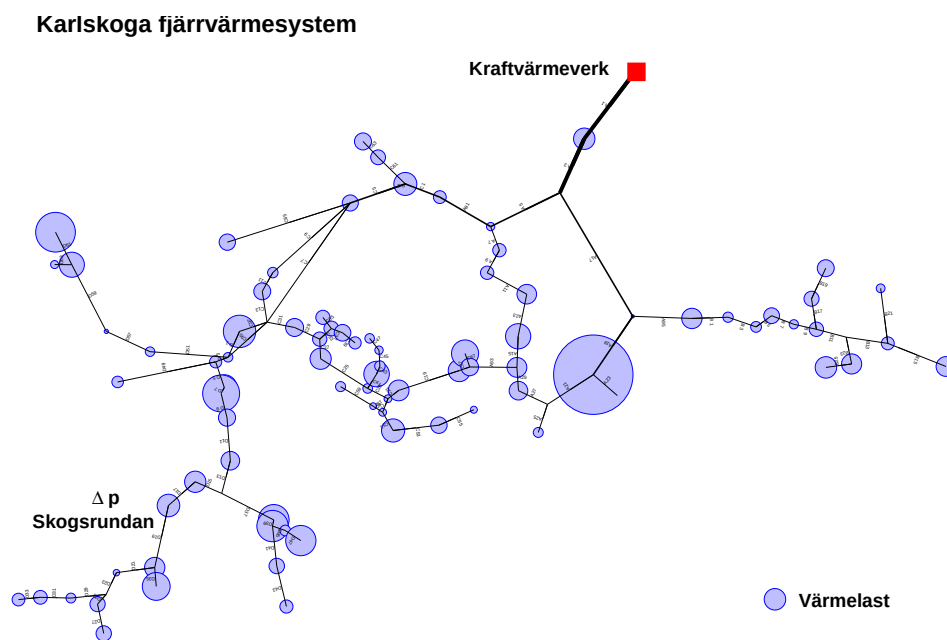
I figur 6 illustreras den flödesutjämnande körstrategin (i detta fall utan hänsynstagande till temperaturvågens transporttid). Jämfört med fallet då man styr framtemperaturen enbart med avseende på aktuell utetemperatur kommer man med denna körstrategin köra ut lägre framtemperatur under natten och högre under dagen. Eftersom värmelasten är lägre under helger kommer även framtemperaturen vara lägre under helger enligt denna körstrategi. I medeltal är framtemperaturen dock lika som i fallet då man enbart styr framtemperaturen med avseende på aktuell utetemperatur.



Figur 6. Flödesutjämnande körstrategi (utan hänsynstagande till temperaturvågens transporttid).

3 Test av flödesutjämnande körstrategi i Karlskoga fjärrvärmesystem

3.1 Kort beskrivning av Karlskogas fjärrvärmesystem

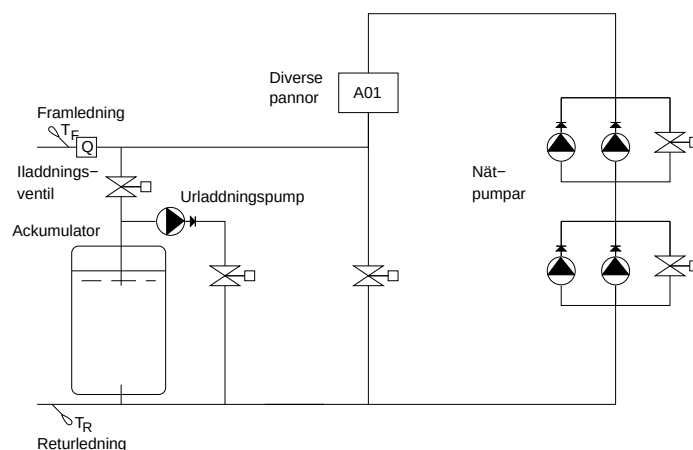


Figur 7. Karlskogas fjärrvärmesystem.

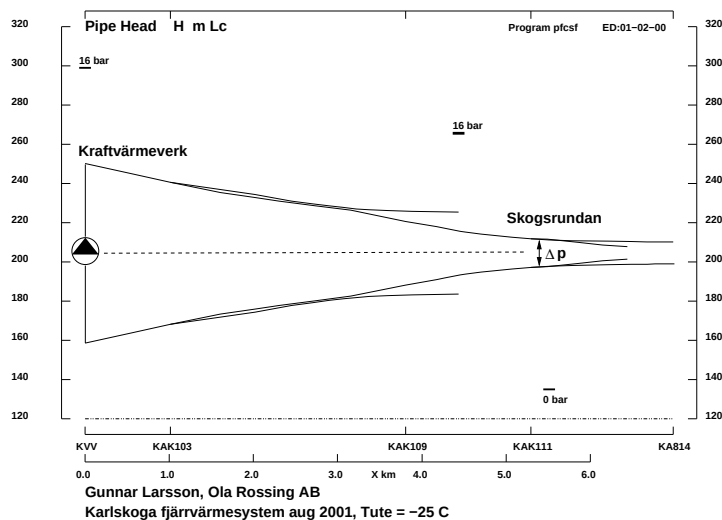
I figur 7 illustreras en beräkningsmodell över Karlskogas fjärrvärmesystem. Anslutningseffekten är 117 MW och nätvolymen är ca 3500 m³. I stort sett all produktion sker vid kraftvärmeverket längst upp i figur 7. Årsproduktionen uppgår till ca 400 MWh. En del av produktionen går dock till processånga till ett närliggande industriområde. Produktionen består av ca 25% avfall, 58% torv, 7% flis, 3% biomal (djuravfall), 5% olja och 3% el. En enkel skiss över kraftvärmeverket visas i figur 8. Nät pumparna styrs på att hålla differensstrycket ute vid Skogsrundan (se figur 7). I anslutning till kraftvärmeverket finns det en atmosfärisk hetvattenackumulator med volymen 7000 m³. Iladdning sker genom att öppna iladdningsventilen. Vid urladdning stängs iladdningsventilen och urladdningspumpen startas. Under mätperioderna har minutvärden på framtemperatur (T_F), returtemperatur (T_R), samt flödet (Q) loggats. Dessutom har utetemperaturen loggats.

I figur 9 visas beräknade stationära tryckhöjdslinjer vid utetemperaturen -25°C . All produktion och pumpning sker från kraftvärmeverket. Nät pumparna styr på differensstryck ute vid Skogsrundan. I figuren finns även några tryckbegränsningar inritade (konstruktionstryck 16 bar samt atmosfärstryck). Samtliga tryck ligger med god marginal innanför tryckbegränsningarna. Där emot råder höga differensstryck (ca 9 bar) närmast kraftvärmeverket. Fjärrvärmecentraler är normalt inte dimensionerande för högre differensstryck än 6 bar. Det finns alltså ett behov av att försöka minska flödestopparna och därmed även minska differensstrycken i nätet.

Karlskoga kraftvärmeverk



Figur 8. Karlskoga kraftvärmeverk.

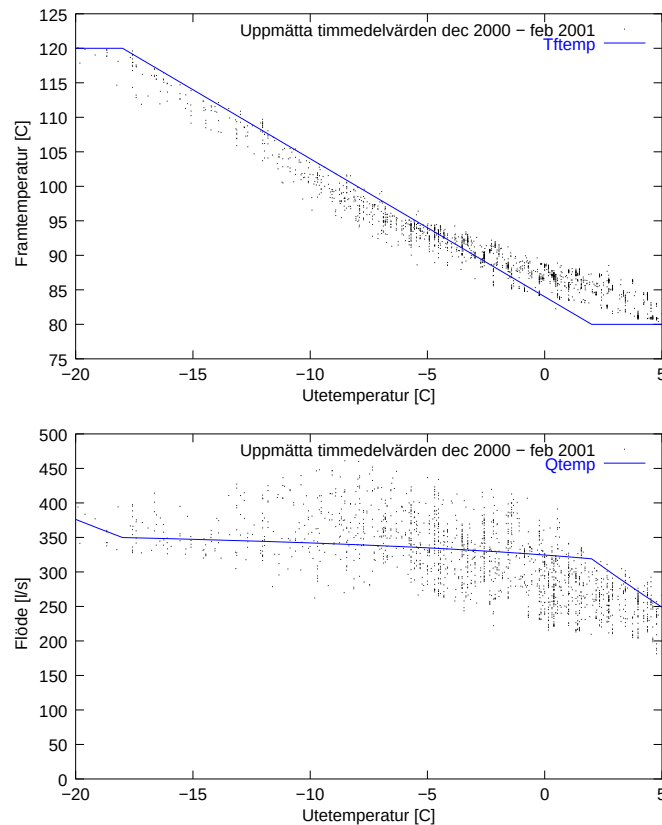


Figur 9. Beräknade stationära tryckhöjdslinjer vid utetemperaturen -25°C .

3.2 Utförande av mätningarna

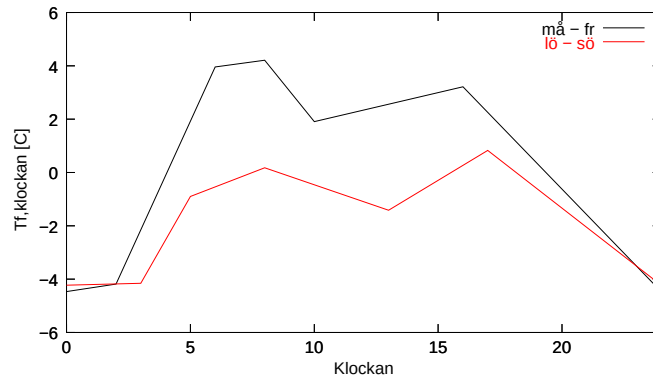
Vid projektstarten (januari 2002) fanns det tillgång till driftstatistik för perioden 2000-10-10 till 2001-05-29. Statistiken bestod av timvisa värden på framtemperatur, returtemperatur, utetemperatur samt utmatat flöde. En lastmodell (se figur 1) togs fram med hjälp av denna statistik. Med ledning av driftstatistiken och lastmodellen togs inledande styrkurvor för framtemperaturen fram.

Prickarna i figur 10 visar uppmätta timmedelvärden på framtemperatur och utmatat flöde i Karlskogas fjärrvärmesystem under vintern 2000/2001. Den blå kurvan är den $T_{f,temp}$ -funktion (se avsnitt 2.3) som har använts under samtliga mätperioder. Med hjälp av ekvation 2.3 har flödet Q_{temp} beräknats. Denna körkurva ger ett ganska konstant Q_{temp} -flöde under utetemperaturintervallet -18 till $+2$ °C. Körkurvan är en kompromiss mellan att åstadkomma ett konstant Q_{temp} -flöde men att samtidigt inte avvika för mycket från hur man har kört innan. Vid utetemperaturer runt 0 °C ligger dock körkurvan något under de gamla uppmätta värdena. Det finns därför en viss risk att framtemperaturen i detta område är lägre än vad vissa fjärrvärmecentraler kräver för att klara regleringen. Denna risk bedöms dock inte vara särskilt stor.



Figur 10. Uppmätta timmedelvärden på framtemperatur och flöde under vintern 2000/2001.

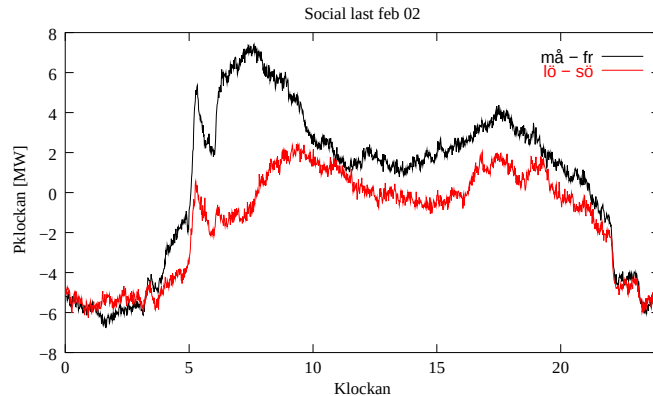
Med hjälp av lastmodellen togs det även fram dygnsprofilkurvor för framtemperaturen ($T_{f,klockan}$). Dessa kurvor redovisas i figur 11. I styrdatorn (Siemens M AS235) finns det en begränsning på att varje funktion endast kan beskrivas med maximalt sju punkter, varav de något “kantiga” kurvformerna. När dessa kurvor togs fram togs ingen hänsyn till transporttiden mellan produktion och last. Framtemperaturfunktionerna i figur 10 och 11 programmerades sedan in i styrdatorn .



Figur 11. Dygnsprofiler för framtemperaturen ($T_{f,klockan}$).

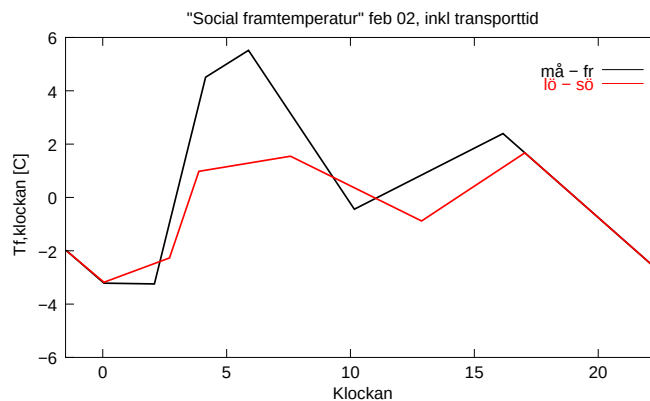
Under projektet har minutvärden på framtemperatur, returtemperatur, utetemperatur samt utmatat flöde samlats in. Efter de inledande mätningarna kunde konstateras att programmeringen av styrdatorn fungerade.

Med hjälp av de inledande mätningarna togs även en ny lastmodell fram, som alltså är baserad på minutvärden istället för timvärden. Den sociala delen av värmelasten ($P_{klockan}$) illustreras i figur 12. Med minutupplösning på mätvärdena kryper det fram detaljer som inte gick att se i timvärdena (jämför figur 1). Av figur 12 framgår det att det sker en snabb lastökning vid kl 5 och ytterligare en lastökning vid ca kl 6. Runt kl 22 samt kl 23 sker lika snabba lastminskningar i nätet. Dessa snabba lastförändringar beror troligtvis på någon form av nattsänkning i en eller flera fjärrvärmecentraler. Eftersom lastförändringen sker så pass snabbt är det nog mest troligt att det är en eller ett par stora fjärrvärmecentraler som är orsaken. Troligtvis är det industrikunden Bofors som skapar dessa snabba lastförändringar. Enligt uppgift så finns det vid Bofors 200 ventilationsaggregat som startas kl 5 på morgonen. Bofors utgör ungefär ca 20% av den totala lasten i nätet. När lasten ändrar sig snabbt ändrar sig flödet lika snabbt. Så snabba flödesändringar är inte möjligt att förhindra genom styrning av framtemperaturen. För att bli av med dessa snabba flödesändringar måste man istället ändra styrningen av de fjärrvärmecentraler som orsakar dem.



Figur 12. Social del av värmelasten baserad på uppmätta minuttvärden under februari år 2002.

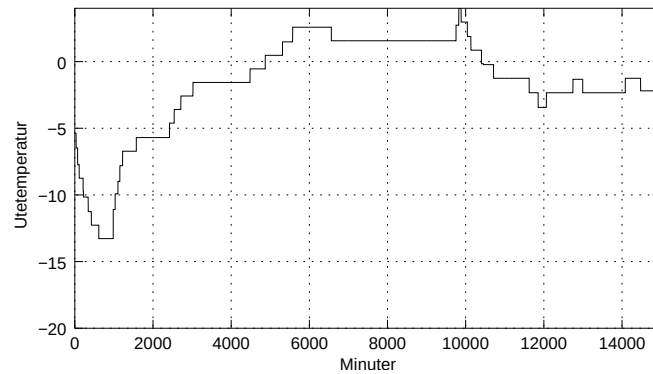
Den nya minutbaserade lastmodellen har även utnyttjats för att ta fram nya dygnsprofiler på framtemperaturen ($T_{f,klockan}$). När kurvorna har beräknats har transporttidsfördröjningen mellan produktion och last denna gång beaktats. Med hjälp av simuleringar med programmet PFC-TF ref. [2] har transporttiden mellan produktionen och lasttyngdpunkten i nätet uppskattats till ca 70 minuter vid flödet 350 l/s. De nya dygnsprofilkurvorna för framtemperaturen illustreras i figur 13.



Figur 13. Dygnsprofil på framtemperaturen.

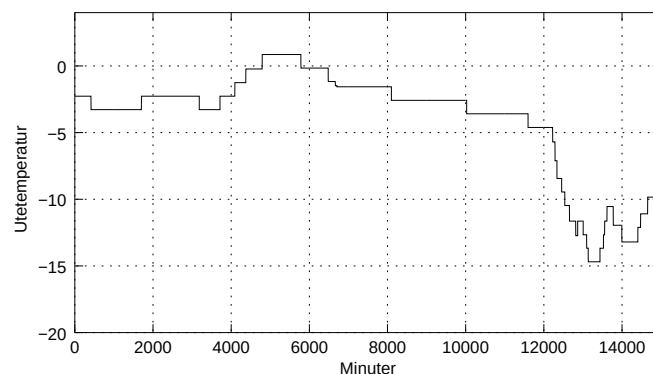
Efter det att de nya styrkurvorna för framtemperaturen hade tagits fram var det tyvärr i stort sett slut på vintern, vilket gjorde att det var svårt att få till några bra mätserier. Efter sommaren återupptogs mätningarna.

För att kunna bedöma hur bra den flödesutjämnande körstrategin fungerar måste man ha ett referensfall att jämföra med. Under en kortare period (11 nov - 22 nov år 2002) styrdes därför framtemperaturen enbart med avseende på aktuell utetemperatur (enligt figur 10). På grund av att driftpersonalen hade svårt att köra strikt efter denna körstrategi var det svårt att genomföra någon längre mätserie med denna körstrategi. Uppmätt utetemperatur under denna period visas i figur 14. Perioden inleds med ett par dagar med ganska kall väderlek. Under resten av perioden ligger utetemperaturen omkring 0°C .



Figur 14. Utetemperaturens variation under referensfallet då framtemperaturen enbart styrdes med avseende på aktuell utetemperatur enligt figur 10.

Den flödesutjämnande körstrategin har tillämpades under ganska lång period därefter (23 nov - 19 dec år 2002). För att få en rättvis jämförelse valdes det ut en ungefär lika lång period som referensfallet (1 - 10 dec). Utetemperaturens variation under denna period illustreras i figur 15. Denna period inleds med en ganska lång period då utemperaturen ligger kring 0 °C eller några grader under för att avslutas med ett par dagar med ganska kall väderlek. Uttemperaturen har alltså varierat på ett likartat sätt för de två fallen.



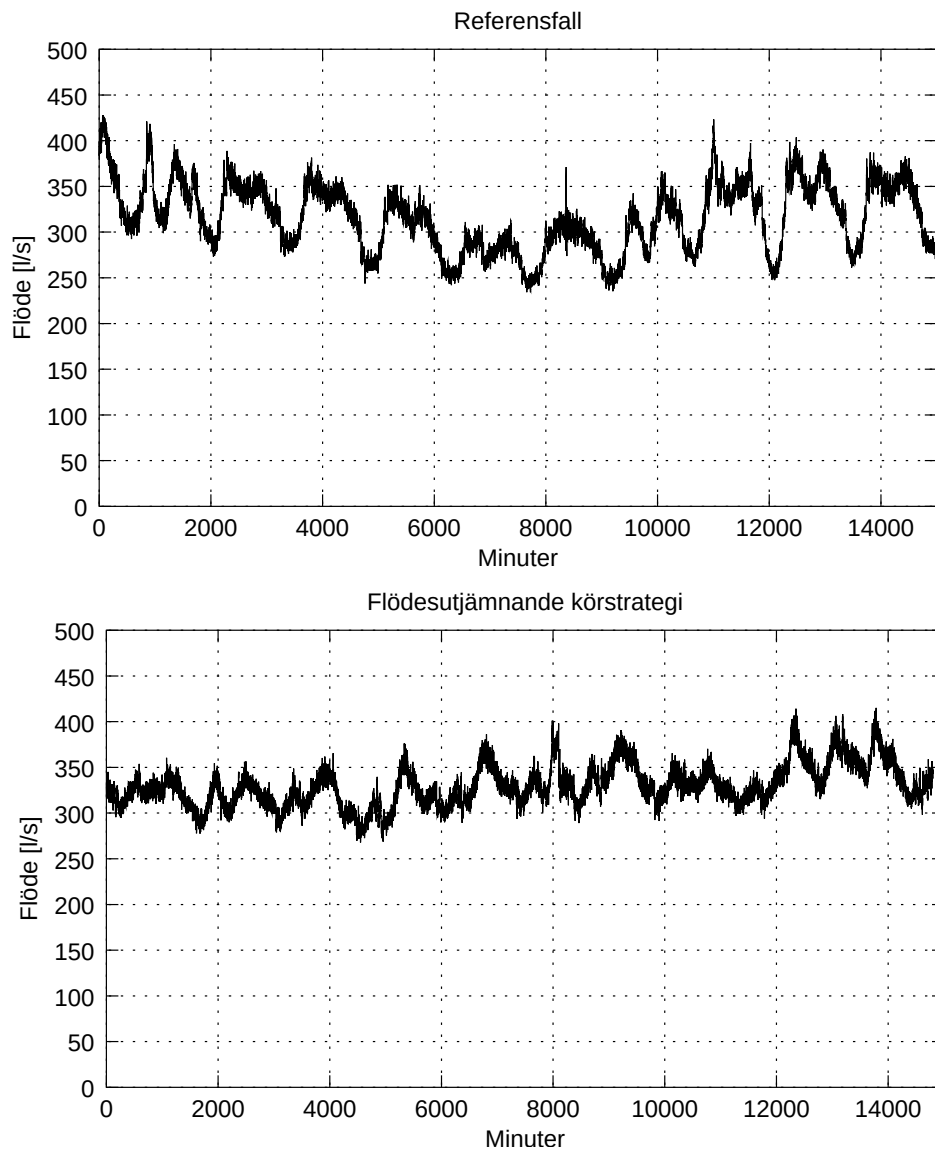
Figur 15. Utetemperaturens variation under en period då framtemperaturen styrdes både med avseende på utetemperatur och klockslag (flödesutjämnande körstrategi).

3.3 Mätresultat

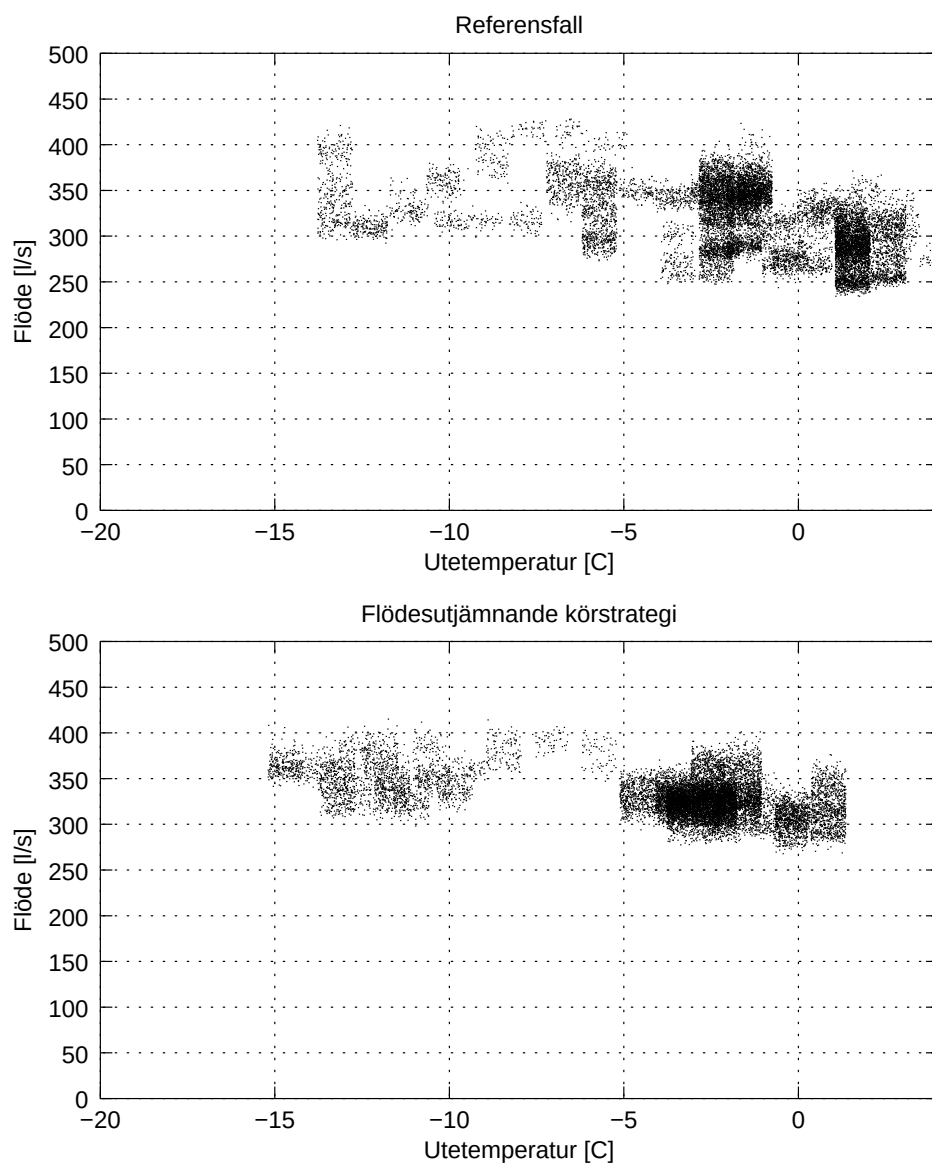
Jämförelse av flödesvariationer mellan referensfallet (framtemperaturen styrs enbart med avseende på utetemperaturen) samt mellan fallet med den flödesutjämnande körstrategin (framtemperaturen styrs både med avseende på utetemperatur och klockslag) illustreras i figur 16. Av figuren framgår det att den flödesutjämnande körstrategin mycket riktigt ger lägre flödesvariationer. I figur 17 visas flödet som funktion av utetemperaturen. På grund av att mätvärdena på utetemperaturen har en noggrannhet på $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ har en slumpvis spridning på $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ av mätvärdena lagts till för att mätvärdena skall synas bättre. Även av denna illustration framgår det att den flödesutjämnande körstrategin leder till lägre flödesvariationer. Flödesvariationerna har reducerats både vid kallare och mildare väderlek. Samma mätvärden fast denna gång sorterade över dygnet visas i figur 18. Med den flödesutjämnade körstrategin blir det i stort sätt ingen flödesökning alls under morgonen. Däremot blir flödet något större mitt under dagen med den flödesutjämnande körstrategin. Slutsatsen av mätningarna är alltså att den flödesutjämnande körstrategin fungerar. Maxflödet är ca 7 % lägre och minflödet ca 12 % högre för den flödesutjämnande körstrategin än för referensfallet.

I figur 19 visas hur framtemperaturen har varierat för de två fallen. Variationerna är betydligt större för den flödesutjämnande körstrategin. Under de två mätperioderna är dygnsvariationerna av utetemperaturen under dygnet små och då varierar inte heller framtemperaturen speciellt mycket i det fall då den styrs med avseende på utetemperaturen. Under dygn då utetemperaturen varierar mycket blir dock variationerna av framtemperaturen av samma storleksordning för de två körstrategierna. Över en hel driftsäsong blir trots allt variationerna av framtemperaturen större med den flödesutjämnande körstrategin. Huruvida temperaturvariationer av denna storleksordning skulle förkorta livslängden av röret har inte kunnat fastställas.

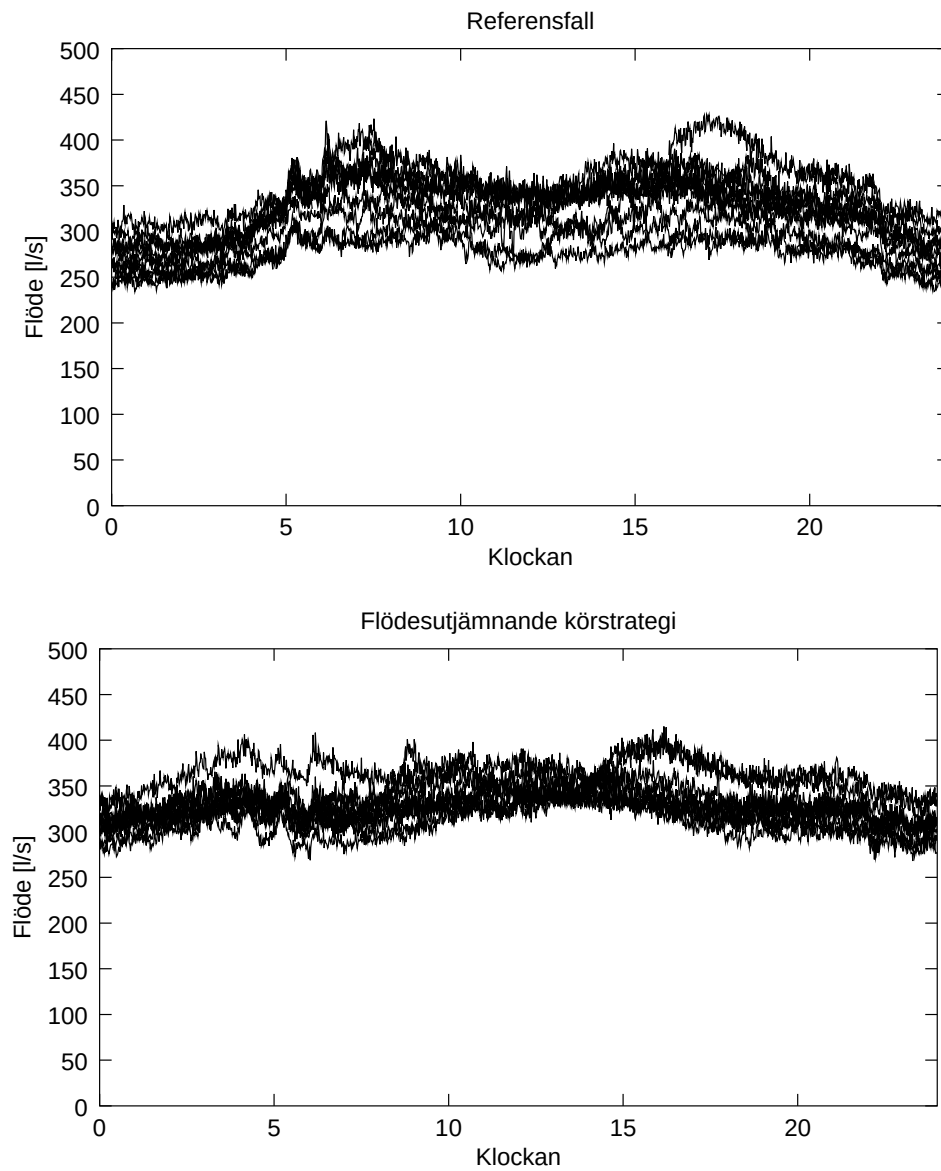
Returtemperaturen som funktion av utetemperaturen för de två fallen illustreras i figur 20. Returtemperaturen verkar inte påverkas något nämnvärt av skillnaden i körstrategi. Detta överensstämmer med tidigare utredningar om hur returtemperaturen i ett fjärrvärmesystem påverkas av ändrad framtemperatur ref [1]. Så länge som framtemperaturen är tillräckligt hög så att fjärrvärmecentralerna kan klara sina regleruppgifter så påverkas inte returtemperaturen något nämnvärt av ändrad framtemperatur.



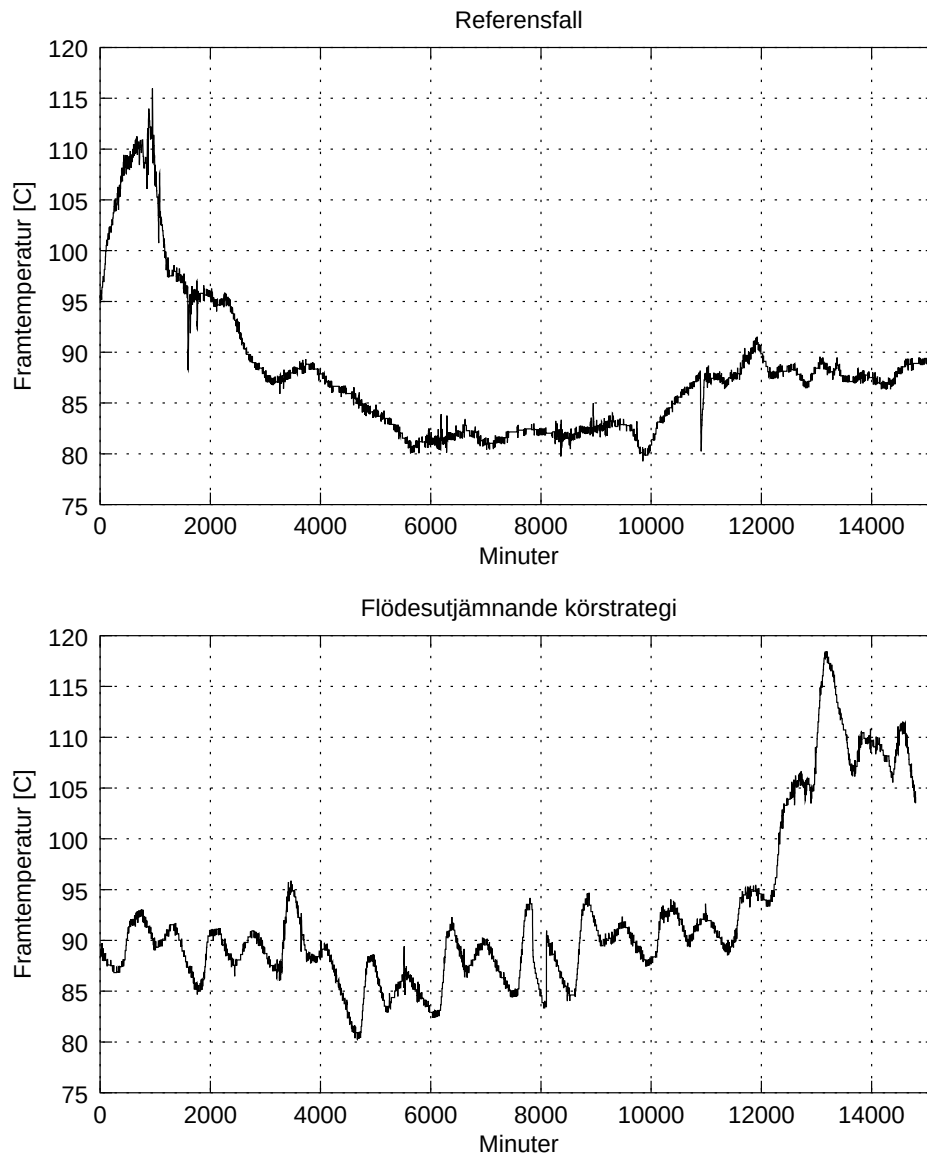
Figur 16. Jämförelse av flödesvariationer mellan referensfallet och den flödesutjämnande körstrategin.



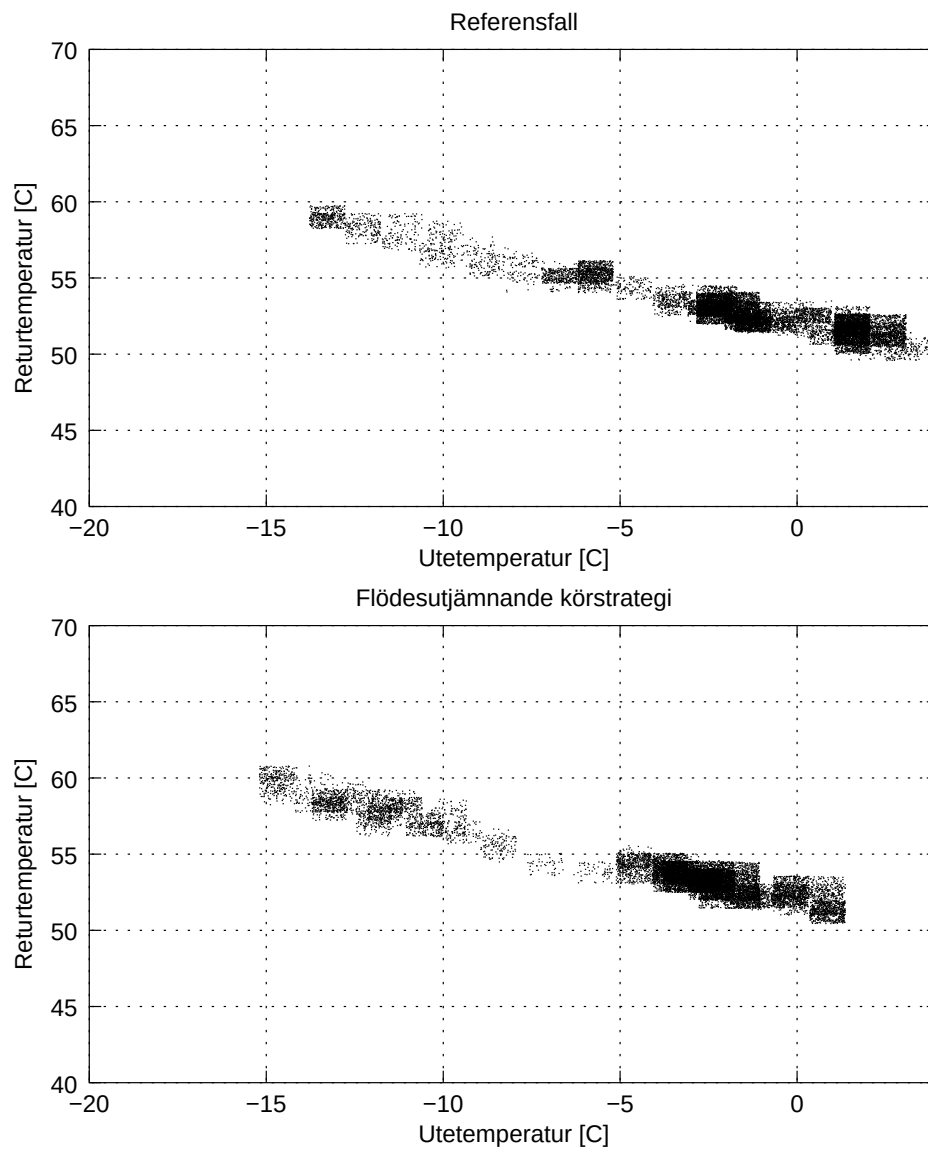
Figur 17. Flödet som funktion av utetemperaturen för referensfallet samt för den flödesutjämnande körstrategin.



Figur 18. Flödets variation över dygnet för referensfallet samt för den flödesutjämnande körstrategin.



Figur 19. Framtemperaturen för referensfallet samt för den flödesutjämnande körstrategin.



Figur 20. Returtemperaturen som funktion av utetemperaturen för referensfallet samt för den flödesutjämnande körstrategin.

3.4 Dygnssimulering

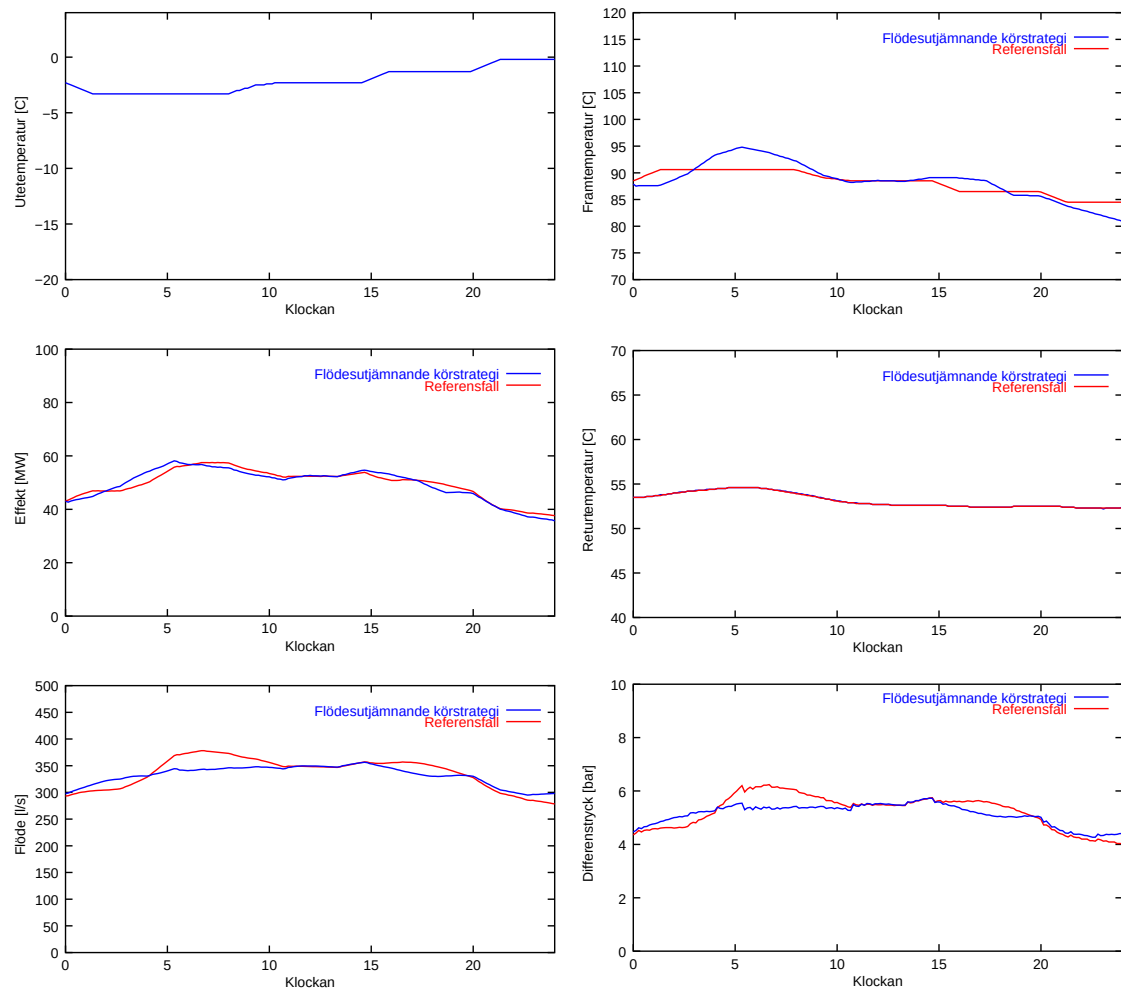
Ett stort problem med fältmätningar är att det är svårt att jämföra två olika fall under likartade förutsättningar. Med hjälp av datorsimuleringar är det dock möjligt att jämföra olika körstrategier under exakt lika förutsättningar. En nackdel med datorsimuleringar i sin tur är att en simuleringsmodell av ett så komplext system som ett fjärrvärmesystem aldrig kan bli en exakt avbild av ett verkligt system.

Simuleringarna är genomförda med programmet PFC-TF ref [2]. Med detta program är det möjligt att genomföra dynamiska beräkningar med avseende på flöde, tryck och temperatur. Beräkningsmodellen för Karlskogas fjärrvärmesystem illustreras i figurerna 7 och 8. Indata till simuleringarna är uppmätt utetemperaturen under ett dygn (2 dec 2002). Värmelast och returtemperatur styrs av en värmelastmodell av samma typ som i figur 1.

I figur 21 visas resultatet från två dygnssimuleringar. I det ena fallet har framtemperaturen styrts med avseende på aktuell utetemperatur (referensfall) och i det andra fallet har den flödesutjämnande körstrategin tillämpats. Enligt lastmodellen finns det inget samband mellan framtemperatur och returtemperatur. Därför blir returtemperaturen lika i de två fallen.

Med den flödesutjämnande körstrategin blir således det utmatade flödet jämnare jämfört med referensfallet. Pumparna styrs på att hålla ett konstant differenstryck ute i nätet (jämför figur 9). Ett jämnare flöde innebär därmed också ett jämnare differenstryck vid verket.

Den utmatade effekten skiljer sig något åt mellan de två fallen. Detta beror på temperaturdynamiken i nätet. Mellan kl 2 och 5 ökas framtemperaturen i fallet med den flödesutjämnande körstrategin. Detta innebär att framledningen laddas upp och den utmatade effekten blir då högre än för referensfallet. Effekttoppen på morgonen inträffar därmed lite tidigare än i referensfallet. Maxeffekten under morgonen blir dock ungefär lika stor för båda fallen. Den flödesutjämnande körstrategin ger alltså ingen utjämning av den utmatade effekten utan jämnar endast ut flödet.



Figur 21. Resultat från dygnsimuleringarna.

4 Diskussion

Fältmätningarna i Karlskogas fjärrvärmesystem visar alltså på att den flödesutjämnande körstrategin fungerar. Den ger dock inte någon fullständig utjämning av flödet, men flödesvariationerna blir däremot betydligt mindre än när framtemperaturen enbart styrs med avseende på aktuell utetemperatur. Sambandet mellan framtemperatur och utetemperatur som använts under mätningarna är anpassad för att ge så små flödesvariationer som möjligt. Med en annan lutning på körkurvan kan därför större flödesvariationer förväntas.

Den flödesutjämnande körstrategin ger ingen utjämning av den utmatade effekten. För att uppnå en utjämning av effekten krävs en annan typ av körstrategi. En sådan körstrategi kräver dock en pålitlig prognos på utetemperaturen. Tidigare studier ref [1] visar dock att en körstrategi som utjämnar effekten ofta leder till större flödesvariationer.

Den flödesutjämnade körstrategin är tänkt att tillämpas i nät där produktionen i huvudsak sker från en plats i nätet. Om produktionen sker från olika platser i nätet brukar det eftersträvas att producera så mycket som möjligt från de anläggningar med lägst produktionskostnad. Dessa anläggningar körs då med ganska konstant effekt medan de dyrare få ta hand om större delen av lastvariationen i nätet. För att konstanthålla flödet ut från en anläggning som levererar ut en konstant effekt skall differensen mellan fram- och returtemperatur vara konstant. Effektvariationen ut från en spetslastanläggning, som skall ta hela nätets lastvariation, blir procentuellt sett väldigt stor. Det är därför i princip omöjligt att utjämna flödet ut från en sådan anläggning.

Metoden ger endast flödesutjämning för driftfall till höger om brytpunkten på den utetemperaturberoende delen av framtemperaturen. Vid mätningarna har brytpunkten legat vid $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. På grund av fjärrvärmecentralernas temperaturkrav (t ex för varmvattenberedning) kan man inte sänka framtemperaturen ytterligare vid varmare väderlek, vilket innebär att flödet minskar när lasten minskar.

Den flödesutjämnande körstrategin har endast provkörts i Karlskogas fjärrvärmesystem. Eftersom alla fjärrvärmesystem uppför sig på likartat sätt borde metoden fungera i alla system där produktionen i huvudsak sker från en produktionsanläggning. Det är troligtvis svårare att åstadkomma flödesutjämning i ett stort system än i ett mindre. Detta beror på att temperaturvägens transporttid är längre i ett stort nät än i ett mindre. Karlskogas fjärrvärmesystem kan betecknas som ett medelstort svenskt fjärrvärmesystem med en anslutningseffekt på 117 MW.

Innan detta projekt påbörjades har man i Karlskoga styrt framtemperaturen med avseende på aktuell utetemperatur. Driftpersonalen har dock haft möjlighet avvika $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ från körkurvan. Denna "trimfunktion" har främst utnyttjats till att manuellt höja framtemperaturen under tidig

morgon för att på sätt lindra flödestoppen under morgonen. Största problemet med flödestopparna är att pumparna har svårt att upprätthålla erforderligt differenstryck ute i nätet.

Driftpersonalen i Karlskoga ställer sig i huvudsak positiva till den flödesutjämnande körstrategin. De kan dock se vissa nackdelar. Nackdelar som har framförts om den flödesutjämnande körstrategin är:

- Kan förvärra situationen vid vissa driftstörningar. Det är t ex inte önskvärt att framtemperaturen höjs efter det att en panna har fallit ur.
- Ett visst ökat effektbehov under morgonen. Det sker en uppladdning av framledningen under tidig morgon med den flödesutjämnande körstrategin, vilket då leder till ökat effektbehov.
- Förutsättningarna för att ladda ackumulatören med hög framtemperatur försämrats. Ackumulatören laddas med aktuell framtemperatur. För att få i så mycket energi som möjligt i ackumulatören vill man ladda med så hög framtemperatur som möjligt. Ofta är det önskvärt att kunna ladda upp ackumulatören under natten och då är framtemperaturen som lägst med den flödesutjämnande körstrategin.

Framförda fördelar om den flödesutjämnande körstrategin är:

- Flödesutjämning.
- Automatik. Det är en fördel att slippa passa framtemperaturen manuellt, när den övriga anläggningen kräver uppmärksamhet.

Driftpersonalen var som sagt i huvudsak positiva. I dagsläget har man dock inte ännu beslutat huruvida man skall fortsätta att köra med den flödesutjämnande körstrategin eller om man skall återgå till "trimmetoden". Det lutar dock åt att man kommer tillämpa, och kanske även vidareutveckla, den flödesutjämnande körstrategin. Det talas bland annat om att det kanske skall vara olika styrkurvor vid olika tillfällen. Under midvinter (december, januari) har t ex solen väldigt liten inverkan på värmelastens storlek. Under soliga vår och höstdagar däremot sjunker värmelasten mitt på dagen på grund av solinstrålning. Av denna anledning kanske man bör ha en speciell kurva för soliga vår och höstdagar.

5 Captions

Figure 1. Heat load model for Karlskoga district heating system.

Figure 2. Charging of the supply line at constant heat load and constant return temperature.

Figure 3. Simulation of 24 hours of a district heating system which include one production unit.

Figure 4. Example of typical temperature levels in a Swedish district heating system.

Figure 5. Illustration how the supply temperature affect the flow rate in a district heating system.

Figure 6. The control strategy to even out the flow rate. The time delay of the temperature wave is not take into account.

Figure 7. Karlskoga district heating system.

Figure 8. The main production unit in Karlskoga district heating system.

Figure 9. Simulated steady state pressure head diagram at the outdoor temperature $-25^{\circ}C$.

Figure 10. Measured hourly values of supply temperature and flow rate during the winter 2000/2001.

Figure 11. Functions for time dependent part of the supply temperature ($T_{f,klockan}$).

Figure 12. Social part of the heat load based on minute values during february 2002.

Figure 13. Functions for time dependent part of the supply temperature ($T_{f,klockan}$).

Figure 14. The outdoor temperature in the reference case when the supply temperature is controlled with regards to the outdoor temperature only (according to figure 10).

Figure 15. The outdoor temperature in the case when the supply temperature is controlled with regards to both the outdoor temperature and the time of day (the strategy to even out the flow rate).

Figure 16. Comparison of the variations of the flow rate between the reference case and between the case with the strategy to even out the flow rate.

Figure 17. The flow rate as function of the outdoor temperature for the reference case and for the case with the strategy to even out the flow rate.

Figure 18. The variation of the flow rate around the clock for the reference case and for the case with the strategy to even out the flow rate.

Figure 19. The supply temperature for the reference case and for the case with the strategy to even out the flow rate.

Figure 20. The return temperature as function of the outdoor temperature for the reference case and for the case with the strategy to even out the flow rate.

Figure 21. Results from the 24 hours simulations.

Litteraturförteckning

[1] Larsson, G., "Dynamik i fjärrvärmesystem", Institutionen för termo- och fluiddynamik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1999, ISBN: 91-7197-814-3, ISSN: 0346-718X, Avhandlingsnummer: 1513.

[2] Gustafson, B-A, "Pipe flow calculation - Transient Flow (PFC-TF)", Manual, Institutionen för termo- och fluiddynamik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1995.

Rapportförteckning

Samtliga rapporter kan beställas hos Fjärrvärmeföreningens Förlagsservice.
Telefon: 026 – 24 90 24, Telefax: 026 - 24 90 10, www.fjarrvarme.org

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
FORSKNING OCH UTVECKLING - RAPPORTER			
1	Inventering av skador på befintliga skarvar med CFC-blåsta respektive CFC-fria fogskum	Hans Torstensson	maj-96
2	Tryckväxlare - Status hösten 1995	Bror-Arne Gustafson Lena Olsson	maj-96
3	Bevakning av internationell fjärrvärmeforskning	Sture Andersson Gunnar Nilsson	maj-96
4	Epoxirelining av fjärrvärmerör	Jarl Nilsson	sep-96
5	Effektivisering av konventionella fjärrvärmecentraler (abonnentcentraler)	Lena Råberger Håkan Walletun	okt-96
6	Auktorisation av montörer för montage av skarvhylsor och isolering Former och utvärdering	Lars-Åke Cronholm	okt-96
7	Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledningar	Jan Molin Gunnar Bergström	dec-96
8	Medierör av plast i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun Heimo Zinko	dec-96
9	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	dec-96
10	Dynamiska värmelaster från fiktiva värmebehov	Sven Werner	mars-97
11	Torkning av tvätt i fastighetstvättstugor med fjärrvärme	H. Andersson J. Ahlgren	maj-99
12	Omgivningsförhållandenas betydelse vid val av strategi för ombyggnad och underhåll av fjärrvärmenät. Insamlingsfasen	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-97
13	Svensk statlig fjärrvärmeforskning 1981-1996	Mikael Henriksson Sven Werner	dec-97
14	Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesystem - en litteraturstudie	Peeter Tarkpea	dec-97
15	Värme- och masstransport i mantelrör till ledningar för fjärrkyla och fjärrvärme	Daniel Eriksson Bengt Sundén	dec-97
16	Utvärdering av fuktinträngning och gasdiffusion hos gamla kulvertrör "Hisings-Backa"	Ulf Jarfelt	dec-97
17	Kulvertförläggning med befintliga massor	Jan Molin Gunnar Bergström Stefan Nilsson	dec-97
18	Värmeåtervinning och produktion av frikyla - två sätt att öka marknaden för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner	Peter Margen	dec-97
19	Projekt och Resultat 1994-1997	Anders Tvärne	mars-98

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
20	Analys av befintliga fjärrkylakunders kylbehov	Stefan Aronsson Per-Erik Nilsson	mars-98
21	Statusrapport Trycklösa Hetvattenackumulatorer	Mats Lindberg Leif Breitholtz	maj-98
22	Round Robin test av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ulf Jarfelt	maj-98
23	Mätvärdesinsamling från inspektionsbrunnar i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun	juni-98
24	Fjärrvärmerörens isolertekniska långtidsegenskaper	Ulf Jarfelt Olle Ramnäs	juni-98
25	Termisk undersökning av koppling av köldbärarkretsar till fjärrkylanät	Erik Jonson	juni-98
26	Reparation utan uppgrävning av skarvar på fjärrvärmerör	Jarl Nilsson Tommy Gudmundson	juni-98
27	Effektivisering av fjärrvärmecentraler – metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem	Håkan Walletun	apr-99
28	Fjärrkyla. Teknik och kunskapsläge 1998	Paul Westin	juli-98
29	Fjärrkyla – systemstudie	Martin Forsén Per-Åke Franck Mari Gustafsson Per-Erik Nilsson	juli-98
30	Nya material för fjärrvärmerör. Förstudie/litteraturstudie	Jan Ahlgren Linda Berlin Morgan Fröling Magdalena Svanström	dec-98
31	Optimalt val av värmemätarens flödesgivare	Janusz Wollerstrand	maj-99
32	Miljöanpassning/återanvändning av polyuretanisolerade fjärrvärmerör	Morgan Fröling	dec-98
33	Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik	Marja Englund	maj-99
34	Undersökning av golvvärmesystem med PEX-rör	Lars Ehrlén	apr-99
35	Undersökning av funktionen hos tillsatser för fjärrvärmevatten	Tuija Kaunisto Leena Carpén	maj-99
36	Kartläggning av utvecklingsläget för ultraljudsflödesmätare	Jerker Delsing	nov-99
37	Förbättring av fjärrvärmecentraler med sekundärnät	Lennart Eriksson Håkan Walletun	maj-99
38	Ändgavlar på fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	sept-99
39	Användning av lågtemperaturfjärrvärme	Lennart Eriksson Jochen Dahm Heimo Zinko	sept-99
40	Tätning av skarvar i fjärrvärmerör med hjälp av material som sväller i kontakt med vatten	Rolf Sjöblom Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm	nov-99

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
41	Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-99
42	Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder. Tillämpning på två fastigheter i Borås.	Stefan Petersson	mars-00
43	Vidhäftning mellan PUR-isolering och medierör. Har blåstring av medieröret någon effekt?	Ulf Jarfelt	juni-00
44	Mindre lokala produktionscentraler för kyla med optimal värmeåtervinningsgrad i fjärrvärmesystemen	Peter Margen	juni-00
45	Fullskaleförsök med friktionsminskande additiv i Herning, Danmark	Flemming Hammer Martin Hellsten	feb-01
46	Nedbrytningen av syrereducerande medel i fjärrvärmenät	Henrik Bjurström	okt-00
47	Energimarknad i förändring Utveckling, aktörer och strategier	Fredrik Lagergren	nov-00
48	Strömförsörjning till värmemätare	Henrik Bjurström	nov-00
49	Tensider i fjärrkylanät - Förstudie	Marcus Lager	nov-00
50	Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport ”Neuartige Wärmeverteilung”	Heimo Zinko	jan-01
51	Vattenläckage genom otät mantelrörsskarv	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	jan-01
52	Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar Påkänningar och skadegränser	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
53	Korrosionsmätningar i PEX-system i Landskrona och Enköping	Anders Thorén	feb-01
54	Sammanlagring och värmeförluster i närvärmenät	Jochen Dahm Jan-Olof Dalenbäck	feb-01
55	Tryckväxlare för fjärrkyla	Lars Eliasson	mars-01
56	Beslutsunderlag i svenska energiföretag	Peter Svahn	sept-01
57	Skarvtätning baserad på svällande material	Henrik Bjurström Pal Kalbantner Lars-Åke Cronholm	okt-01
58	Täthet hos skarvar vid återfyllning med befintliga massor	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	okt-01
59	Analys av trerörssystem för kombinerad distribution av fjärrvärme och fjärrkyla	Guaxiao Yao	dec-01
60	Miljöbelastning från läggning av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Magdalena Svanström	jan-02
61	Korrosionsskydd av en trycklös varmvattenackumulator med kvävgasteknik – fjärrvärmeverket i Falkenberg	Leif Nilsson	jan-02
62	Tappvarmvattenreglering i P-märkta fjärrvärmecentraler för villor – Utvärdering och förslag till förbättring	Tommy Persson	jan-02

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
63	Experimentell undersökning av böjar vid kallförläggning av fjärrvärmerör	Sture Andersson Nils Olsson	jan-02
64	Förändring av fjärrvärmenäts flödesbehov	Håkan Walletun Daniel Lundh	jan-02
65	Framtemperatur vid värmegles fjärrvärme	Tord Sivertsson Sven Werner	mars-02
66	Fjärravläsning med signaler genom rörnät – förstudie	Lars Ljung Rolf Sjöblom	mars-02
67	Fukttransport i skarvskum	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	april-02
68	Round Robin test II av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ture Nordenswan	april-02
69	EkoDim – beräkningsprogram	Ulf Jarfelt	juni-02
70	Felidentifiering i FC med ”flygfoton” – Förstudie	Patrik Selinder Håkan Walletun	juni-02
71	Digitala läckdetekteringssystem	Jan Andersson	aug-02
72	Utvändigt skydd hos fjärrvärmerörsskarvar	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	sept-02
73	Fuktdiffusion i plaströrssystem	Heimo Zinko Gunnar Bergström Stefan Nilsson Ulf Jarfelt	sept-02
74	Nuläge värmegles fjärrvärme	Lennart Larsson Sofie Andersson Sven Werner	sept-02
75	Tappvarmvattensystem – egenskaper, dimensionering och komfort	Janusz Wollerstrand	sept-02
76	Teknisk och ekonomisk jämförelse mellan 1- och 2-stegskopplade fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun	okt-02
77	Isocyanatexponering vid svetsning av fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Lisa Lindqvist Stefan Nilsson	okt-02
78	Förbättringspotential i sekundärnät	Lennart Eriksson Stefan Petersson Håkan Walletun	okt-02
79	Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör	Ulf Jarfelt	dec-02
80	Utvändig korrosion på fjärrvärmerör	Göran Sund	dec-02
81	Varmvattenkomfort sommartid i småhus	Tommy Persson	dec-02
82	Miljöbelastning från produktion av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Camilla Holmgren	dec-02
83	Samverkande produktions- och distributionsmodeller	John Johnsson Ola Rossing	feb-03
84	Användning av aska vid förläggning av fjärrvärmeledningar - förstudie	Rolf Sjöblom	feb-03
85	Marginaler i fjärrvärmesystem	Patrik Selinder Heimo Zinko	mars-03
86	Flödesutjämnande körstrategi	Gunnar Larsson	april-03

FORSKNING OCH UTVECKLING – ORIENTERING

1	Fjärrkyla: Behov av forskning och utveckling	Sven Werner	jan-98
2	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för perioden 23/5 – 30/9 1996.	Lars Lindgren Conny Nikolaisen	jan-98
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wårdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-98
4	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för period 2. 1/1 – 31/12 1997.	Conny Nikolaisen	juli-98
5	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	sept-99
6	Optimering av fjärrvärmevattens framledningstemperatur i mindre fjärrvärmesystem	Ilkka Keppo Pekka Ahtila	jan-03

Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB och Statens Energi-
myndighet bedriver forskningsprogram inom området fjärrvärme
hetvattenteknik och fjärrkyla.

SVENSKA FJÄRRVÄRMEFÖRENINGENS SERVICE AB

101 53 STOCKHOLM

Besöksadress: Olof Palmes Gata 31, 6 tr

Telefon 08 - 677 25 50, Telefax 08 - 677 25 55

Förlagsservice, beställning av trycksaker:

Telefon 026 - 24 90 24, Telefax 026 - 24 90 10