

Hög Temperaturnivå är Ineffektiv Fjärrvärme

*Peter Gummérus, tekn. dr. Inst för energiteknik, Chalmers
Sven Werner, marknadschef, Borås Energi*

Inledning

För att upprätthålla och förstärka fjärrvärmens konkurrenskraft krävs att man alltid strävar mot en högre effektivitet och produktivitet inom svensk fjärrvärme. I denna strävan måste alla tillgängliga kunskaper utnyttjas för att nå framgång.

Inom det svenska energiforskningsprogrammet har det sedan 1985 satsats mer än 50 miljoner kronor på fjärrvärmerelaterad forskning vid våra högskolor. Vi upplever många gånger att den kunskap som tas fram vid våra högskolor inte utnyttjas av värmeverken. Det finns ett gap mellan högskolans teoretiska värld och värmeverkens tillämpade och praktiska värld. Många gånger har man hört uttryck som: "I teorin kanske det gäller, men i praktiken gäller något annat" eller "Forskarna använder så konstiga formler och ord, så jag förstår ingenting". Är skillnaden mellan teori och praktik så stor att man kan ifrågasätta teorins användbarhet? Är det möjligt att skapa en dialog mellan högskoleforskarna och den tillämpade teknikens utövare ?

Vi är övertygade om att värmeverken har mycket att vinna, om detta gap kan överbryggas. Vi vill med denna artikel ge ett exempel på hur kunskap från högskolevärlden kan utnyttjas till ekonomisk nytta i värmeverkens praktiska värld. Som exempel har vi valt temperaturnivån i ett fjärrvärmenät. För att påvisa skillnader mellan teoretiska möjligheter och praktisk verklighet använder vi resultat från Peter Gummérus fleråriga forskning om abonnentcentralers funktion och verkliga data från Borås Energis fjärrvärmenät.

Temperaturnivå

I ett fjärrvärmenät cirkulerar ständigt ett vattenflöde som värmer kundernas värmesystem. Det bör vara en strävan i varje fjärrvärmesystem att hålla en så låg temperaturnivå som möjligt i fjärrvärmenätet. En låg temperaturnivå ger ju lägre distributionsförluster i fjärrvärmenätet, högre elutbyte i ångkraftvärmeverk, högre värmefaktorer i värmepumpar. Vidare ges möjlighet till ökat värmeutbyte vid direkt rökgaskondensering om man har fuktiga rökgaser vid användning av biobränslen i produktionsanläggningen. Vid kapacitetsproblem i nätet kan de hydrauliska begränsningar reduceras genom sänkt returtemperatur, så att fler anslutningar kan göras utan ombyggnad, osv.

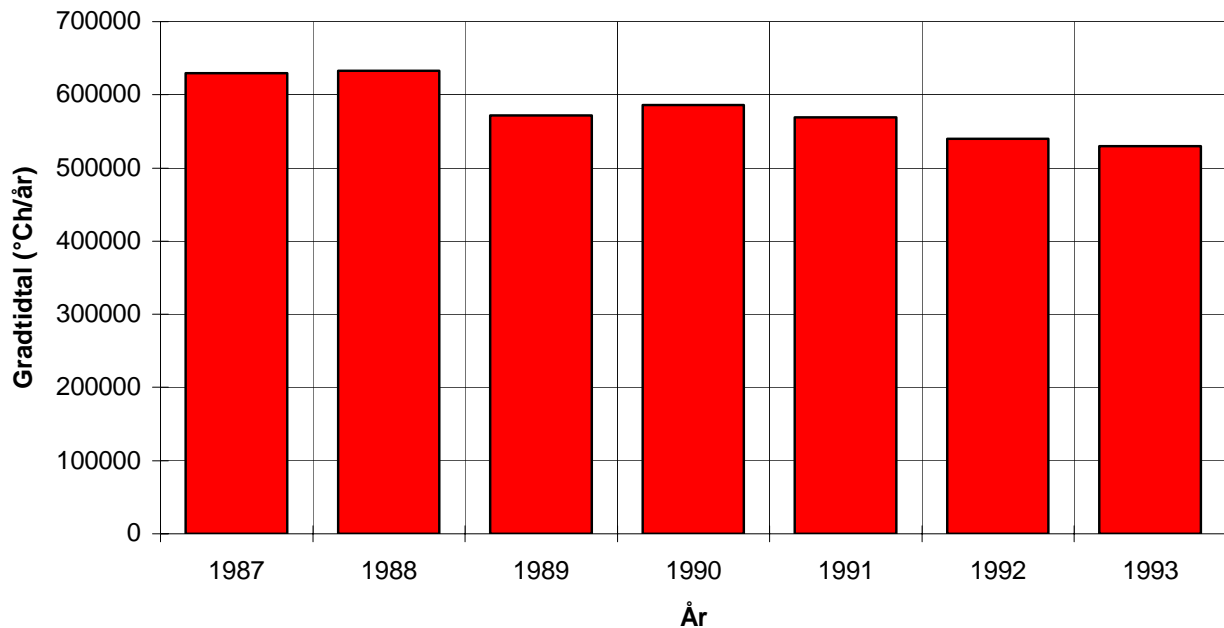
Som mått på temperaturnivån i ett fjärrvärmenät använder vi gradtidtalet för fjärrvärmedistribution. Detta mått kan enkelt beräknas som antalet timmar på ett år gånger skillnaden i temperatur mellan fjärrvärmeledningens vatten och omgivningen:

$$G = 8760 \cdot \left[\frac{(t_f + t_r)}{2} - t_o \right]$$

G = gradtidtal för fjärrvärmedistribution, mäts i gradtimmar (°Ch)
 t_f = framledningstemperatur, årsmedelvärde
 t_r = returledningstemperatur, årsmedelvärde
 t_o = omgivningstemperatur, årsmedelvärde

På forskarspråket säger vi att gradtidtalet utgörs av tidsintegralen av temperaturskillnaden mellan fjärrvärmevattnet och omgivningen. I sin enkelhet är gradtidtalet för fjärrvärmedistribution besläktat med graddagsmetoden, som kan sägas vara gradtidtalet för önskad innetemperatur.

Hur stort är nu gradtidtalet för fjärrvärmedistribution i ett verkligt fjärrvärmesystem? I figur 1 visas utvecklingen av detta mått för Borås Energis fjärrvärmenät under åren 1987 - 1993.



Figur 1. Temperaturnivå i Borås Energis fjärrvärmenät 1987 - 1993.

Utgångsläget för temperaturnivån i Borås var att den var extremt hög 1987, men att den genom olika åtgärder har sänkts genom åren. Skillnaden i temperaturnivå mellan 1987 och 1993 motsvarar en sänkning i medeltal med 12°C. Dagsläget är att Borås Energi har en temperaturnivå på 530000 gradtimmar och att returtemperaturens årsmedelvärde sjunker med 4°C per år.

Borås Energi har dock ambitionen att inom ett par år ha sänkt temperaturnivån ytterligare med 9°C ner till 450000 gradtimmar. Är denna nivå möjlig att nå eller finns det naturliga hinder som begränsar en sänkning från dagens nivå? Detta är en frågeställning som Borås Energi delar med många andra fjärrvärmesystem. Man kan uppskatta att en typisk temperaturnivå för ett svenskt fjärrvärmenät är omkring 500000-550000 gradtimmar.

Temperaturnivån i ett fjärrvärmenät bestäms av hur väl fjärrvärmevattnet kyls i abonnentcentralerna. Om många abonnentcentraler kyler dåligt blir returtemperaturen i fjärrvärmenätet hög. Då måste framledningstemperaturen också hållas hög för att man ska kunna överföra önskad värmemängd i befintliga fjärrvärmeledningar. Kunskap om abonnentcentralens funktion är således väsentlig om man vill uppskatta möjligheterna till en lägre temperaturnivå.

Ideala abonnentcentraler

Sedan 1986 har forskning om abonnentcentralens funktion bedrivits vid Institutionen för Energiteknik på Chalmers tekniska högskola med stöd från Statens Energiverk och NUTEK. Ett flertal olika projekt har genomförts och dessa har behandlat de i Sverige vanligast förekommande kopplingsprinciperna med avseende att ta fram och kvantifiera de viktigaste faktorer som gör att abonnentcentraler kyler bra eller dåligt.

Det första steget gick ut på att ta fram en metodik för att kunna studera abonnentcentralerna utgående från de värderingar som energiverken anser som viktiga, den termodynamiska prestandan eller kylförmågan. Metodiken som valdes var modellerings- och simuleringsförfarandet framför mätning då metodiken har många fördelar samt att resultaten kan generaliseras. Anledningarna till valet av denna metodik är många. Här är några av anledningarna:

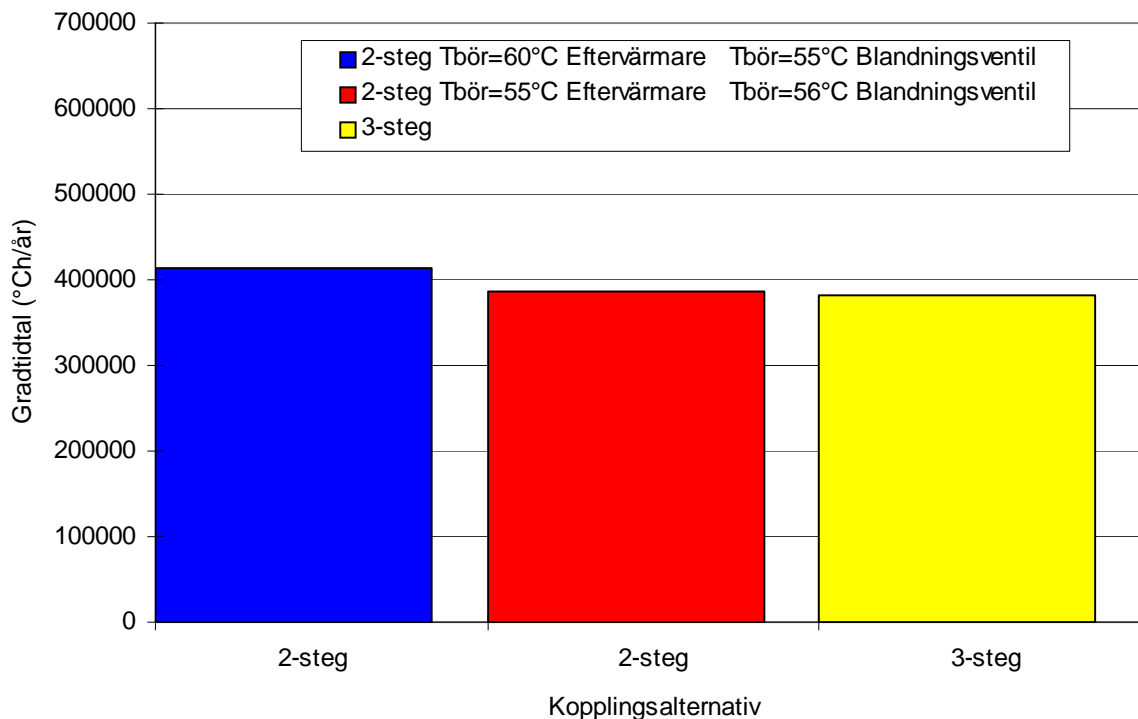
- Antalet parametrar i och kring abonnentcentraler som påverkar prestandan är många.
- Ett flertal kopplingsalternativ föreligger.
- Abonnentcentralen arbetar inom ett brett lastområde. Hela området måste studeras.
- Simulering ger möjlighet till att repetera försök under identiska förhållanden.
- Tillgängligheten av snabba datorer och programvara har ökat kraftigt sedan 1985.

Nästa steg omfattade framtagande av matematiska modeller som beskriver de vanligaste komponenterna som ingår i svenska abonnentcentraler. Modellerna jämfördes sedan mot mätningar på de aktuella komponenterna under fjärrvärmeförhållande (validering). Modellerna kopplades samman till kompletta system (1-, 2- och 3-stegskoppling). En av systemmodellerna, 2-stegskopplingen, jämfördes mot mätningar på ett system i drift (Tegnérsgatan, Göteborg) under sommar, vår, höst och vinterförhållanden. En mycket god överensstämmelse erhöles mellan verkligt system och modell. Metodiken finns beskriven i *Gummérus 1989*. Resultat från det första projektet blev:

- en metodik för att göra tekniska bedömningar av abonnentcentraler
- godhetstal som beskriver abonnentcentralernas prestanda
- simuleringsmodeller för de vanligaste kopplingsalternativen
- en bedömning av vilka storheter som påverkar den ideala abonnentcentralens prestanda.

Därefter har ett flertal projekt genomförts och genomförs med inriktning på att bestämma och förbättra abonnentcentralens prestanda. Dagens kunskapsläge är att abonnentcentralens funktion kan testas i analysprogram som kan köras i en modern PC486, ISAC (Interaktiv Simulering av AbonnentCentraler).

I den arbetsmetodik som använts för att studera abonnentcentraler ges olika prestandamått som utresultat. Ett av dessa prestandamått beskriver just temperaturnivån i ett fjärrvärmenät. Från de arbeten som bedrivits om abonnentcentralens funktion har vi hämtat information om vilken temperaturnivå som olika konventionella abonnentcentraler idealt ger, i figur 2 redovisas dessa.



Figur 2. Beräknade temperaturnivåer för olika konventionella abonnentcentraler (2-steg felaktigt ställda börvärden, 2-steg maximal kylning och 3-steg). Resultat från arbeten utförda vid institutionen för Energiteknik, CTH.

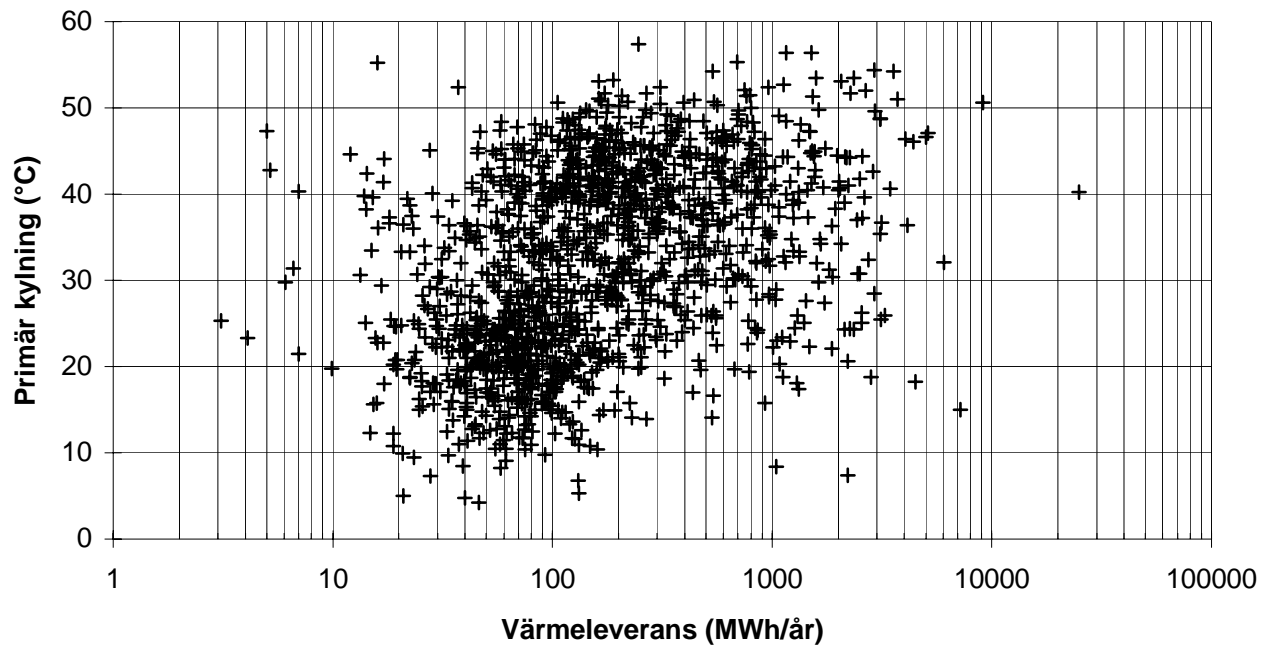
Använda förutsättningar för beräkningarna är; idealt injusterade radiatorsystem och regulatorer, värmväxlarna är dimensionerade utan försmutsningspålägg. Temperaturnivåerna och tappvarmvattenförbrukningen gäller för fastigheter med ca 30 normallägenheter, rumstemperatur 20°C. Beräkningarna är genomförda för ett uteklimat motsvarande Göteborgs. Skillnaderna mellan de 2-stegskopplade abonnentcentralerna är att vänstra alternativet är utrustad med trevägsventil som tillåter inblandning av kallvatten i tappvarmvattensystemet. Detta reducerar den möjliga kylförmågan om börvärdena är felaktigt inställda. Genom att ställa börvärdet hos regulatorn som bestämmer temperaturen ut från eftervärmaren högre än börvärdet för tappvarmvattnets temperatur kan kylförmågan förbättras. Allt kallvatten kyler då fjärrvärmvattnet. Prestandan blir då i stort sett lika som i fallet med 3-stegkopplingen. Parallellkopplingen är något sämre än de övriga alternativen under givna förutsättningar.

Det är en stor skillnad mellan de teoretiska ideala abonnentcentralerna i figur 2 och verklighetens temperaturnivåer i figur 1. Vad är orsaken? Kan inte forskarna räkna rätt eller fungerar verklighetens abonnentcentraler så dåligt?

Verkliga abonnentcentraler

Borås Energi har sedan ett par år tillbaka en kontinuerlig bevakning av varje abonnentcentralers funktion. Vid varje avläsningstillfälle läses såväl försäld värmemängd som cirkulerad vattenmängd för varje leveranspunkt. Med hjälp av kvoten mellan dessa uppgifter beräknas den genomsnittliga

kylningen för varje leveranspunkt. I figur 3 redovisas den genomsnittliga kylningen under 1993 för alla kunder i huvudnätet.



Figur 3: Genomsnittlig skillnad mellan fram- och returtemperatur under 1993 för varje leveranspunkt i Borås Energis huvudnät.

Graddtidtal för bra och dåliga abonnentcentraler

Enligt figur 3 har de bästa abonnentcentralerna en årsmedelkylning på 50-55°C, medan de sämsta endast har en kylning på 5-10°C. Större abonnentcentraler kyler faktiskt bättre än mindre, som i stor utsträckning utgörs av enhetsaggregat med enkla returtemperaturbegränsare.

Årsmedelkylningarna i figur 3 kan översättas till olika temperaturnivåer. De sämsta abonnentcentralerna ger en temperaturnivå på 620000-640000 gradtimmar, medan de bästa ger nivån 420000-440000 gradtimmar. Om alla abonnentcentraler var lika bra som de bästa, så skulle framledningstemperaturen kunna sänkas något. En temperaturnivå på 400000 gradtimmar skulle då vara möjlig.

De bästa kundcentralerna hos Borås Energi ger således samma låga temperaturnivåer som de teoretiska studierna har visat enligt figur 2. Därför måste de teoretiska studierna av abonnentcentraler vara trovärdiga och lämpliga att följa, om man önskar att sänka temperaturnivån i sitt fjärrvärmenät.

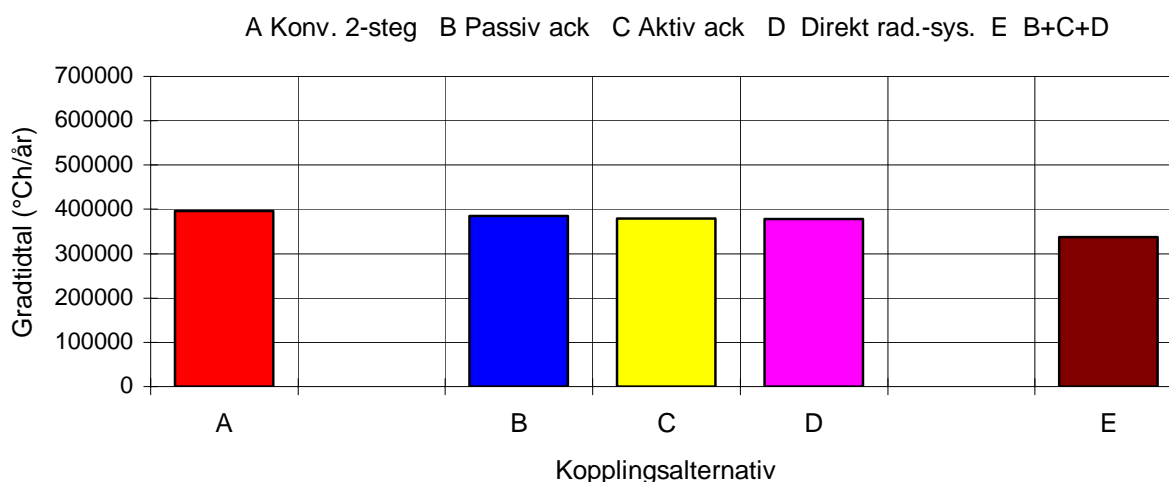
Som ett led i arbetet med en lägre temperaturnivå genomförde Borås Energi hösten 1992 en inventering av uppenbara orsaker till dålig kylning i abonnentcentraler. Exempel på orsaker var felaktiga kopplingsprinciper, montagefel, bristfällig reglering och trasiga komponenter. Den dominerande

orsaken till dålig kylning är dock höga sekundära börvärden, dvs kunder har förväntningar på högre sekundära temperaturer än vad leverantören har för avsikt att leverera. I de allra flesta fall saknade dessa förväntningar en saklig grund.

Tänkbara abonnentcentraler

Med kännedom om vilka storheter som har stor betydelse för abonnentcentralens prestanda (*Gumméus 1989*) kan nya konfigurationer sättas samman med optimal prestanda. Denna studie genomfördes inom ramen för Värmeverksföreningens dimensioneringsrekommendationer, *Gumméus 1992*.

Genom olika systemförändringar kan abonnentcentralens funktion med avseende på god kylning ytterligare förbättras. Ett antal åtgärder för förbättring av abonnentcentralens kylförmåga är möjliga. Om obegränsade radiatorytor vore tillgängliga skulle primära returtemperatur kunna sänkas avsevärt. Med större radiatorer kan fram och returtemperaturen i radiatorsystemet sänkas vilket medför att primära returtemperaturen, alternativt temperaturnivån kan sänkas motsvarande grad. Nu är detta ett otänkbart alternativ. Om man begränsar växlarytoras storlek till vad Värmeverksföreningen rekommenderar blir möjligheterna reducerade till ett fåtal ändringar i systemuppbyggnaden enbart. Det första tänkbare alternativet gäller modifikation av radiatorsystemet. Detta delsystem har den längsta varaktigheten under året. Genom att direktkoppla nätet till radiatorerna kan kylförmågan ökas. Denna åtgärd förutsätter att kunden kan skyddas mot tryckslag med stora vattensador som följd. Ett sådant system har utarbetats av *Gustafsson 1993*. Det andra alternativet går ut på att värma tappvarmvatten under gynnsammare förutsättningar - passiv eller aktiv ackumulering. Vid passiv ackumulering värms en volym kallvatten med den primära returen från radiatorsystemet i en tvåstegskopplad centrals förvärmare. Uppvärmningen sker vid tidpunkter då låg tappfrekvens förekommer. Det uppvärmda kallvattnet i den passiva ackumulatören är skiktat, vilket ger lägre primära returtemperaturer. I fallet med den aktiva ackumulatören uppvärms allt tappvarmvatten under gynnsamma förutsättningar till förbrukningstemperatur. Genom kombination av dessa åtgärder kan ett gradtidtal på 340000 °Ch erhållas enligt figur 4. En något annorlunda tappvarmvattenlast har använts jämfört med figur 2.



Figur 4. Beräknade temperaturnivåer för olika okonventionella abonnentcentraler (2-steps). Resultat från arbeten utförda vid institutionen för Energiteknik, CTH.

Dimensioneringen av abonnentcentralerna är utförd enligt Värmeverksföreningens rekommendationer för nybyggnation. Nätets temperaturprogram är 100°C vid lägsta utetemperaaur och 65°C vid brytpunkten. Klimatområdet motsvarar västra Sverige. En möjlighet att sänka gradtidtalet ytterligare för den konventionella 2-stegskopplade abonnentcentralen i figur 4 är att sätta börvärdet hos regulatorn för blandningsventilen är högre än börvärdet hos regulatorn som styr primärventilen i tappvarmvattenkretsen. Allt tappvarmvatten kommer då att passera förvärmaren, vilket ger upphov till bättre kylning av primära värmebäraren - fjärrvärmevattnet.

Den goda abonnentcentralen

Vad kännetecknar den goda abonnentcentralen ? Endast två saker, förutsatt att värmeväxlarna och radiatorytorna är dimensionerade för den avsedda belastningen, och att inga komponenter är felfungerade eller felinkopplade nämligen att

1. radiatorsystemet är balanserat
2. regulator -börvärdena och -parametrarna är rätt injusterade

Detta ger god lastföljsamhet och god avkylning av den primära värmebäraren. Det förekommer dock ofta avvikelser mot samtliga ovan nämnda orsaker till dåligt fungerande (kylande) abonnentcentraler.

Uppenbara fel är felaktigt ställda börvärden hos regulatorer i såväl radiator- som tappvarmvatten-system. Exempelvis kan börvärdet hos regulatorn som reglerar uttemperaturen på tappvarmvattnet från värmeväxlaren i tappvarmvattensystemet vara ställd på 65-80 °C och börvärdet till regulatorn som styr blandningsventilen efter växlaren vara ställt på 50 °C. Detta ger upphov till förhöjd returtemperatur. Fel som inte är uppenbara men utan tvekan orsakar den största förhöjningen av primära temperaturnivån är exempelvis obalanserade radiatorsystem. Det kommer mer information om denna typen av fel från ett projekt som är pågående "Effektivisering av konventionella abonnentcentraler".

Ekonomisk nytta

Vår bedömning är att den genomsnittliga temperaturnivån i svenska fjärrvärmesystem bör kunna sänkas med omkring 20 %, om man konsekvent utnyttjar tillgänglig kunskap om abonnentcentralers funktion. På lite längre sikt bör en temperaturnivå på 400000 gradtimmar vara möjlig.

Den ekonomiska nyttan av beror av de individuella förutsättningarna för varje fjärrvärmenät. Olika förekomst av ångkraftvärmeverk med olika ångdata, värmepumpar och rökgaskondensering betyder att ingen generell ekonomisk nytta för en sänkt temperaturnivå kan anges för svenska fjärrvärmenät. Ett exempel på beräkning av den ekonomiska nyttan av en sänkt temperaturnivå återfinns i **Werner & Winberg 1987**.

Distributionsförlusten är dock en förändrad kostnad som är gemensam för alla fjärrvärmesystem. Värmeförlusten i ett fjärrvärmenät är direkt proportionell mot gradtidtalet för fjärrvärmedistribution. Genom att multiplicera gradtidtalet med nätets genomsnittliga värmegenomgångstal och den totala mantelytan för alla fjärrvärmeledningar, så erhålls den värmemängd som läcker ut från fjärrvärmenädet. Därför är gradtidtalet ett bra nyckeltal för att beskriva distributionsförlusternas utveckling från år till år. Sjunker antalet gradtimmar med 13%, så sjunker även distributionsförlusterna med 13%.

Exempelvis kostar distributionsförlusten i Borås Energis fjärrvärmenät omkring 10 miljoner kronor per år att producera. En sänkning med 100000 gradtimmar eller 19 % ger en årlig kostnadsbesparing på 1,9 miljoner kronor per år.

Slutsats

Efter att ha jämfört teoretiska erfarenheter från CTH:s forskning om abonnentcentraler med verkliga erfarenheter från Borås Energi drar vi följande slutsats:

Alla returtemperaturer över 40°C vid 0°C utetemperatur beror på felaktiga abonnentcentraler i fjärrvärmesystemet eller ej injusterade radiatorsystem hos kunden.

Detta betyder att alla svenska fjärrvärmesystem som har en temperaturnivå över 450000 gradtimmar kan öka sin produktivitet med ökad konkurrenskraft som följd.

Utmaning

Med vilken temperaturnivå driver du ditt fjärrvärmenät? Naturligtvis utgör svaret på denna fråga första steget i en effektivisering av temperaturnivån i ditt fjärrvärmenät.

Vi utmanar härmed alla svenska värmeverk på att försöka bestämma vilken temperaturnivå som varje svenskt fjärrvärmesystem drivs med. Skriv antal gradtimmar på ett vykort. Bifoga även namnet på ditt fjärrvärmenät och ditt eget namn och skicka det till:

Peter Gumméus
Institutionen för Energiteknik
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Vi blir inte ledsna om vi får flera svar från samma värmeverk. Senast den 1 oktober vill vi ha ditt svar. Vi kommer att tolka antalet svar som ett mått på intresset för att öka svensk fjärrvärmes effektivitet och produktivitet.

Litteratur:

Werner S., 1982, Graddtidtal för fjärrvärmedistribution, VVS 53(1982):2,63-64.

Gumméus, P., 1989, Analys av konventionella abonnentcentraler i fjärrvärmesystem, doktorsavhandling, Inst. f. Energiteknik, Chalmers, Göteborg.

Werner, S., Winberg, A., 1987, Avkylning av fjärrvärmevatten i befintliga abonnentcentraler, Stiftelsen för Värmeteknisk forskning, Rapport 272.

Gustafsson, B.-A., 1993, Tryckväxlare - en anordning för effektivisering av fjärrvärmesystem, Stiftelsen för Värmeteknisk forskning, Rapport 481.

Gumméus, P., 1992, Analys av Okonventionella Abonnentcentraler i Fjärrvärmesystem, Institutionen för Energiteknik, Chalmers, Göteborg, Rapport A92-201.