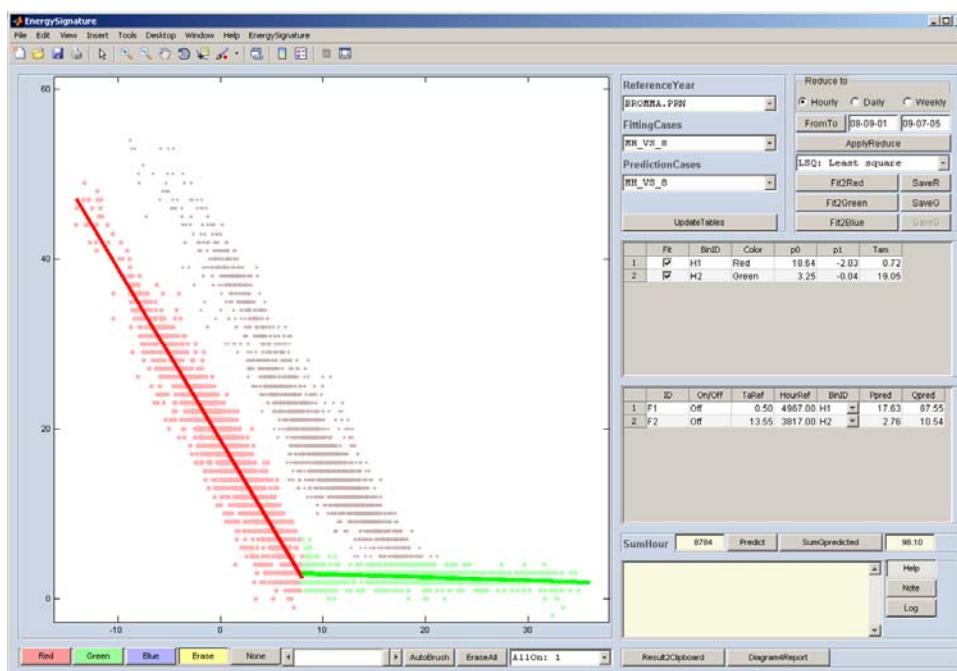


Metodik för uppföljning av VVS-tekniska system och energiförbrukning i flerbostadshus

Slutrapport, oktober 2009

Pär Carling, Skanska Sverige
Per Isakson, KTH, Installationsteknik



Förord

Projektet har finansierats av SBUF och Skanska Sverige AB. Projektledare har Pär Carling (Skanska Sverige, Teknik och Projekteringsledning) varit. I arbetsgruppen har dessutom Per Isakson (KTH, Bygghälsa, Installationsteknik) och Sonny Myrefelt (Skanska Sverige, Teknik och Projekteringsledning) deltagit. Referensgruppen har bestått av Rolf Kling (VVS Företagen), Bengt Wånggren (Fastighetsägarna) och Sofia Skoglösa (Skanska Sverige, Miljöstaben).

Stockholm 2009-10-29

Pär Carling

Sammanfattning

Byggföretag möter skärpta krav på att leverera energisnåla byggnader – snåla i praktisk drift och inte bara i teorin. BBR 2008 kräver verifiering genom mätningar i tolv månader.

Det är mycket som måste göras rätt för att ett flerfamiljshus ska bli verkligt energisnålt. Systemval, projektering, produktion och drifttagning är alla viktiga. Idag är det vanligt att sista länken i kedjan brister och att en rad triviala fel och misstag förstör aktörernas goda avsikter att åstadkomma en energisnål byggnad. Projektet arbetar med metoder för

- att säkerställa att avsedd funktion uppnås,
- att ytterligare trimma funktionerna och
- att dokumentera uppnådda resultat.

Projektet har tillämpat och vidareutvecklat Pia-metoden, som stödjer uppföljning av mediaförbrukning och funktioner hos vvs-installationerna genom intensiv trendloggning och interaktiv analys. Två prototyper till nya Pia-verktyg har utvecklats

- EnergySignature som gör det möjligt att uppskatta energianvändningen under ett normalår baserat på en liten mängd mätdata
- PiaFDD som använder expertregler för automatisk felsökning

Projektets viktigaste slutsatser är

- att energianvändningen i de två aktuella flerfamiljshusen var hög på grund av en rad enkla fel,
- att detaljerad kunskap om byggnadens energitekniska funktion ger fördelar i det egna arbetet och i kontakten med kunder och myndigheter,
- att uppföljning baserad på intensiv trendloggning och interaktiv analys av mätdata är ekonomiskt möjligt i flerfamiljshus med hjälp av lämpliga datorprogram,
- att EnergySignature är mycket värdefullt i arbetet för att trimma in byggnadens vvs-anläggning
- att PiaFDD kan utvecklas till ett effektivt stöd för funktionsbesiktning
- att hela kedjan från mätning till felavhjälpande åtgärd måste fungera

Styrleverantörernas oförmåga att på ett pålitligt sätt leverera insamling och överföring av historiska data är ett betydande hinder för metodiken.

Innehållsförteckning

1 Inledning	3
1.1 Bakgrund	3
1.2 Vår vision	5
1.3 Syfte.....	7
2 Genomförande.....	8
2.1 Metodutveckling.....	8
2.2 Tillämpning i två flerfamiljshus	10
3 Resultat	12
3.1 Metoden.....	12
3.2 Byggnaderna.....	13
4 Diskussion	16
4.1 Metoden.....	16
5 Slutsatser.....	20
5.1 Fortsatt arbete	20
6 Källor	23
Bilaga 1 - Beskrivning av byggnader och mätning	27
Bilaga 2 - Ett expertregelpaket för flerbostadshus	31
Bilaga 3 - Utvärdering av expertregler med mätdata från två byggnader	65
Bilaga 4 - En simuleringsmodell för att testa energisignaturen	89
Bilaga 5 - Normalisering och prognos med energisignaturen	93
Bilaga 6 - Förfrågningsunderlag styr och övervakning.	111

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Byggföretag möter idag skarpa krav på att producera energieffektiva byggnader. Det finns flera skäl att anta att dessa krav kommer att skärpas och bestå under lång tid. På sikt kommer energipriserna att stiga på grund av knappheten på fossila bränslen och bristen på billiga alternativ. Strävan att begränsa den globala uppvärmningen kommer att medföra omfattande politisk styrning bort från fossila bränslen.

Energianvändning ska vara låg i praktiken och inte bara i teorin. Energi-kraven i BBR 2008 avser byggnaden i drift till skillnad från tidigare regler som avsåg projekterade värden. Beställare kommer rimligen att kräva energisnåla byggnader och ställa juridiskt bindande krav beträffande "normalårskorrigerad" energianvändning. Byggföretag bör vara förberedda på skärpningar av reglerna beträffande sättet att bestämma faktisk uppnådda energiprestanda.

Det är mycket som måste göras rätt för att en byggnad ska bli verkligt energisnål och det gäller även nya energismarta lösningar. Det är mer regel än undantag att en byggnads energiprestanda p.g.a av fel och brister inte uppnår avsedda värden. "Building commissioning" är en process för kvalitetssäkring, som bevakar energiaspekten genom hela byggprocessen. Mills (2009) har genomfört en metastudie, som omfattar rapporter från flera hundra byggnader i USA. Den fastslår att processen verkligen fordras för att nå låg energi-användning och att den är lönsam.

Pia-metoden, som vi arbetat med i tidigare projekt (Isakson, Carling & Wetterström 2006), omfattar analys av mediaförbrukning och funktion hos de klimatstyrande tekniska installationernas i lokalbyggnader. Den bygger på intensiv trendloggning med det befintliga styrsystemet samt interaktiv granskning med stöd av effektiv visualisering, automatisk felsökning, och detaljerad simulering. Metoden är lovande.

De klimatstyrande tekniska installationerna i ett bostadshus är enklare än de i stora kontorshus och risken för att det smyger sig in fel borde vara betydligt mindre. Men å andra sidan avsätts mindre resurser för projektering, installation, driftsättning, kontroll och drift, vilket leder till "suboptimala" lösningar samt fler misstag och förbiseenden.

1.1.1 Flerbostadshus

Kan Pia-metoden användas för uppföljning i flerbostadshus? Några speciella egenskaper hos nya flerbostadshus i jämförelse med lokalbyggnader är

- enklare klimatstyrande tekniska installationer

- ingen driftpersonal på plats
- saknar lokal datorhuvudcentral (DHC) men har datoriserade styrsystem, som kan kommunicera via Internet och mobiltelefonnätet
- felfunktioner, som inte allvarligt påverkar komforten, kan passera upptäckta under lång tid

1.1.2 Krav på en metod för flerbostadshus

Några viktiga krav:

- Övervakningen ska ske på distans.
- Systemet ska vara centraliserat – data från "alla" byggnaderna lagras i en central databas.
- Grafik ska visa sammanfattande resultat för "alla" byggnader
- Verktyg för att prognostisera energianvändningen under ett "normalår"
- Effektiv övervakning av funktionen under BBR's 12-månadersperiod
- Metoden ska inbjuda till användning – vara rolig att använda

1.1.3 Automatisk felsökning

Det är en attraktiv tanke att alla typer av fel och avvikelser skulle upptäckas och diagnostiseras automatisk¹. Konkreta idéer har funnits i den akademiska världen sedan tio kanske femton år (se t.ex. IEA ECBCS Annex 25, 34, 40, och 47). Det finns tillämpningar för kylmaskiner och andra enheter, som tillverkas på fabrik i serier. Men det finns knappast några tillämpningar i praktisk drift för hela byggnader med deras klimatstyrande tekniska installationer.

Vi fortsätter (Carling 2002) experimentera med expertregler med House (2001) som förebild. De är en vidareutveckling av vanliga larm, men skiljer sig från vanliga larm på flera sätt. De tar i första hand sikte på fel och avvikelser, som påverkar mediaförbrukningen, samt fel som kommer smygande. Resultatet presenteras på ett diskretare sätt. Syftet är att tala om för operatören att här finns något som borde kontrolleras; att avlasta operatören från att granska data.

Två stora problem med automatisk felsökning är missade avvikelser och falska larm. Dessa försöker vi hantera genom att dels presentera resultatet på ett diskret sätt, dels låta operatören kunna trimma reglerna.

Arbetskostnaderna för konfigurering och driftsättning samt för åtgärder då automatiken indikerar för fel är nog helt dominerande. Vi tror att det skulle kosta för mycket att implementera och testa regler på nytt för varje byggnad. Färdiga uppsättningar regler måste kunna återanvändas.

1.1.4 Normalisera och prognostisera

Kraven på att normalisera energianvändningen kommer att öka. Historiskt har normalisering, t.ex. normalårskorrigerig med graddagsmetoden, främst använts för att skapa tidsserier av energianvändningen för uppvärmning för

¹ Engelska: Fault Detection and Diagnosis, FDD

statistiska ändamål. Nu ska byggnader ha ett gränsvärde för energi-användningen med juridisk innebörd. Detta gränsvärde kan vara inskrivet i ett avtal med kunden, vara ett myndighetskrav (BBR 2008) eller vara ett frivilligt åtagande för att certifiera byggnaden. Det värde för den aktuella byggnadens energianvändning, som ska jämföras med gränsvärdet, ska vara grundat på uppmätta värden och vara normaliserat med hänsyn till klimat och hur byggnaden används. Det behövs alltså metoder och verktyg för att normalisera energianvändningen baserat på kompletta mätserier.

SMHI erbjuder två tjänster för normalårskorrigerings nämligen Graddagar (SMHI 2009a) och Energi-Index (SMHI 2009b), som bägge är baserade på mätdata från SMHI:s stationsnät. Energi-Index bygger på en enkel simuleringsmodell, som tar hänsyn till utetemperatur, solinstrålning och vind samt byggnadens energitekniska egenskaper och användningsätt. Lokal- och mikroklimat för en speciell byggnad avviker från de vid SMHI:s närmaste station. SMHI:s metoder bygger på antagandet att förhållandet mellan "normalåret" och det aktuella året är ungefär detsamma vid byggnaden som vid SMHI:s station. På SMHI:s hemsida finns varken uppgift om eller referenser beträffande metodernas träffsäkerhet.

Energisignatur föreslås som ett alternativ för att normalårskorrigera energi-användningen (Elmroth 2006, SS-EN 15603:2008, Schulz 2003, Hammarsten 1987).

När byggnaden är färdig vill projektledningen veta hur mycket energi byggnaden drar. Klarar den kravet eller måste de hitta sätt att minska energi-användningen? Här behövs metoder och verktyg för att göra prognoser baserade på korta mätserier. När åtgärder sedan satts in behövs en känslig metod och ett lättanvänt verktyg för att avgöra hur energianvändningen påverkats. Sådana verktyg saknas.

1.2 Vår vision

Energianvändning och funktionen hos de klimatstyrande installationerna i flerbostadshus ska övervakas på distans med hjälp av historiska data och effektivt datorstöd. För oss är det nästintill självklart att detta skulle kunna göras till rimlig kostnad med en metodik baserat på intensiv trendloggning, automatisk felsökning och interaktiv analys med stöd av effektiv visualisering. Det fordras dock att arbetet fungerar effektivt. Det finns inget ekonomiskt utrymme för datorstrul. Det finns knappast utrymme för att skriva rapporter. Det ställer stora krav på verktygen.

Vår vision av den infrastruktur, som ska stödja Pia-metoden, skissas i Figur 1. Den bygger på vårt arbete med stora kontorshus. Vi har förebilder i system för Business Intelligence med funktioner för Data Integration, Data Mining, etc.; se t.ex Pentaho (2009) och funktioner såsom "Map of the Market" på SmartMoneys (2009) webbplats för aktiehandel.

Styrsystemet levererar automatiskt historiska data från "alla" punkter till en central databas. De finns redan idag i minst ett litet styrsystem, som loggar "allt", och bara fordrar att användaren skriver in en e-post-adress för att data ska skickas dagligen (Kabona, 2009).

En central databas tar emot dygnspaket av historiska data från många byggnader. Det ska ske en automatisk kontroll av att data anländer och har rimliga värden. I databasen ska samlas all information, som behövs för att analysera både mediaanvändningen och funktionen hos de klimatstyrande tekniska installationerna. Den ska också innehålla resultat från de analyser, som Pia-användare utför.

Effektiv och snabb visualisering är en central funktion i Pia-metoden. Verktygen ska låta användaren koncentrera sig helt på analysen av data. Datorprogrammen får inte störa användarens fokus på byggnadens funktion.

Automatisk felsökning ingår i Pia-metoden främst för att hjälpa användaren att prioritera sina insatser. Den ska peka ut perioder och system där brister i funktionen sannolikt föreligger. På sikt tror vi att det blir möjligt att låta automatiken ta hand om vissa typer av avvikelser.

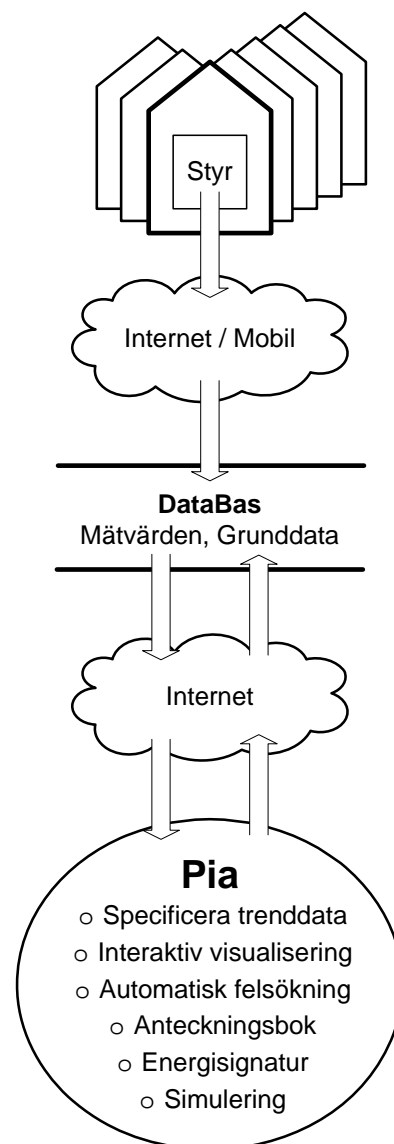
Systemet ska innehålla en funktion för att prediktera en byggnads energibehov under ett "normalår". Denna kan baseras på en energisignatur eller simulering. Krav på att detta värde ska underskrida ett visst gränsvärde finns i nybyggnadsreglerna.

1.2.1 Kostnaden är det stora hindret

Varför övervakas inte byggnader systematiskt med stöd av intensiv insamling av historiska data? Tillräckliga ICT-resurser har funnits i tio år eller längre. Forsknings- och demonstrationsprojekt har genomförts med lokalbyggnader (LBNL 2009, PECCI 2009). Monitoring Commissioning (MBCx) uppvisar god ekonomi för ett antal projekt i nya stora lokalbyggnader (Mills 2009).

Vi tror att nyttan av intensiv driftövervakning vore stor även i flerbostadshus. Detta åtminstone i nya hus eftersom vinsten av grundliga kontroller innan byggnaden lämnas över till driftorganisationen är stor. Brister, som inte uppmärksammas då, kan lätt bli permanenta. Det gäller alltså att snabbt få igång mätning och analys.

Kostnaden är det avgörande hindret. Vår slutsats från tidigare projekt är att kostnaden är hög därför att både vi och styrleverantörerna saknar tillräckligt effektiva rutiner och verktyg. Kostnaden är låg när alla bitar är på plats och allt fungerar. Vad krävs och hur åstadkommer vi detta? Hur skulle ett bra projekt gestalta sig steg för steg?



Figur 1. Dataflödet i systemet.

Upphandlingen måste vara enkel. Pia-ingenjören ansvarar för att extra givare och mätare med rätt prestanda ritas in och kommer med i ordinarie upphandling. Pia-ingenjören prickar för punkterna, som ska loggas, i en lista, som styrleverantören tillhandahåller. Styrleverantören erbjuder en beprövad metod för export av historiska data. Improvisationer straffar sig.

Kontrollen av insamling och export av data måste vara noggrann och avhjälpandet av brister ska ske snabbt. Det får definitivt inte ta månader att få systemet att fungera. Kostnaderna drar iväg och kontrollen av vvs-funktionerna försenas.

Konfigureringen av Pia-verktygen för den specifika byggnaden måste också ske med liten arbetsinsats och bli rätt från början. Att improvisera innan konfigurering är färdig är inte effektivt.

När byggnaden och Pia-systemet väl är i drift så ska systemet användas. Inledningsvis ska Pia-ingenjören interaktivt inspektera funktionen hos byggnadens "alla" system. En Pia-ingenjör ska ansvara för många flerbostadshus och arbeta på en lämplig kontorsarbetsplats. Till sist måste det finnas någon som tar över stafettpipen från analysen och ser till att bristerna åtgärdas.

1.3 Syfte

På sikt vill vi förverkliga vår vision. Detta projekts syfte är att anpassa Pia-metoden till nybyggda bostadshus och demonstrera att metoden fungerar på ett kostnadseffektivt sätt. Vi ska

- testa befintliga Pia-verktyg i projekt med flerbostadshus
- upphandla insamling och export av mätdata
- stödja uppföljning och dokumentation av mediaförbrukning och funktioner under garantitiden
- utveckla och testa expertregler för kontroll av vvs-funktioner i flerbostadshus
- utveckla verktyg för prediktering av årlig mediaförbrukning

1.3.1 Nytt

Den föreslagna metoden ger möjligheter till

- god kännedom om mediaförbrukning och den verkliga funktionen hos de klimatstyrande tekniska installationerna
- erfarenhetsåterföring till beställare, konsulter och entreprenörer för att stödja utvecklingen av bättre byggnader
- erfarenhetsåterföring för att stödja utvecklingen av simuleringsberäkningar
- stöd för att snabbt åstadkomma ett "energioptimerat" system
- snabbt göra prognoser för energianvändning under normalår
- övervaka driften under "garantitiden"
- utbildning genom att studera hur anläggningen fungerar i detalj

2 Genomförande

Projektet består av metodutveckling samt tillämpning i två nybyggda flerfamiljshus. Vi har delat upp arbetet mellan oss. Pär Carling, Skanska Teknik, har svarat kontakten med byggare, fastighetsägare och styrentreprenörerna, samt analyserat mätdata och värderat verktygen. Per Isakson, KTH, har svarat för utvecklingen av verktyg och drift av databasen.

2.1 Metodutveckling

2.1.1 Insamling, export och lagring av mätdata

Insamling och export av mätdata upphandlades från respektive styrleverantör. För Hus1 skedde det som ett tillägg efter att styrsystemet hade installerats och för Hus2 ingick det i upphandlingen av styr. Vi använde i bägge fallen ett speciellt förfrågningsunderlag (se bilaga 6), som vi tog fram i detta projekt. Bägge leverantörerna driver servrar med tjänster, som baseras på mätdata från styrsystem, och bägge valde att överföra data till sin server och därifrån till vårt system via daglig e-post. Ingen av leverantörerna kunde erbjuda en färdig utprovad lösning utan improviserade för dessa speciella projekt. I bägge fallen har styrföretagen låtit oss utföra mycket av kontrollen av datapaketet.

Vi lagrar data i en databas (MySQL 2009) och använder ett ETL-system (Pentaho 2009) för att ta emot, packa upp och skriva in dygnspaketet av data. Detta system körs på en server. Användaren hämtar data över Internet. Vi använder databasen, men det återstår en del arbete.

2.1.2 Interaktiv granskning

För att visualisera trenddata har Pia tre snabba interaktiva verktyg:

- **DataBrowser** visar ett antal linjediagram som funktion av tiden. Diagrammen är synkroniserade; de har gemensam horisontell tidsaxel. Ett hårkors når över alla diagram.
- **StatX**:s gränssnitt domineras av en lista med en rad per mätstorhet. Den har funktioner för att söka rader med jokertecken (d.v.s. visa rader som matchar sökvillkoret), sortera rader, välja rader och skriva notering till valda rader. Till sist finns det funktioner för att visa valda storheter i olika typer av diagram.
- **pmBrush** visar en grupp av punktdiagram var och en med valfri storhet, som funktion av valfri storhet.

StatX är har blivit vårt första val när vi granskar data interaktivt. Vi har kompletterat det med ett diagram för "medelvecka" (se bilaga 2, figur 8).

2.1.3 PiaFDD

Vi har konstruerat ett interaktivt verktyg, PiaFDD, som kör ett system av expertregler samt implementerat drygt fyrtio regler (se bilaga 2). Några krav som styr utformningen:

- Reglerna och koden ska kunna återanvändas i andra byggnader med liknande vvs-installationer.
- Resultatet av körningarna ska presenteras på ett överskådligt och diskret sätt
- Det ska vara enkelt och snabbt att från en översikt hitta detaljerna, som visar den brutna regeln i ett meningsfullt sammanhang.

Återanvändningen försöker vi åstadkomma genom att använda neutrala "rollnamn" i reglerna, koppla byggnadens punktnamn till rollnamnen i en databastabell och till sist tillhandahålla ett effektivt verktyg för att konfigurera, d.v.s. skriva in punktnamnen i databastabellen. Ett paket regler ska kunna köras även när vissa mätdata saknas. För regler som påverkas av saknade data ska detta bara rapporteras.

Resultatet av den automatiska felsökningen ska indikeras i en bild (t.ex. en "treemap") och ett musklick på en röd fläck i bilden ska ge ett väl valt diagram, som i sin tur ger mer information om vad som är fel. Sedan ska det vara lätt gräva ned sig i detaljerna.

2.1.4 EnergySignature

Vi har konstruerat en första version av ett interaktivt verktyg, EnergySignature, för att experimentera med energisignaturer (se bilaga 5). Verktylet stödjer anpassning av en styckevis linjär funktion av utomhustemperaturen till en tidsserie samt skattning av en årssumma för denna tidsserie. Några viktiga tankar bakom verktyget är:

- Användaren ser rådata innan anpassningen görs
- Användaren kan interaktivt "sudda" punkter (outliers)
- Användarens indata sparas mellan körningar

Metoden och verktyget testades preliminärt med ett års simulerade data (se bilaga 5). Först skapades tidsserier av 15-minuters-data för effekter och utomhustemperatur samt årssummor av energierna med simuleringsprogrammet, IDA ICE 4.0, en detaljerad byggnadsmodell (se bilaga 4) och en väderfil från Bromma 1977. Energisignaturen anpassades till tim-, dygns- och veckovärden av hela tidsserien, dels med minsta kvadratmetoden, dels genom att minimera absoluta avvikelser. Därefter användes de anpassade energisignaturerna i kombination med utomhustemperaturen från väderfilen för att prediktera årssummorna av energierna. Till sist jämfördes dessa årssummor med de från simuleringen.

Sedan var frågan hur mycket mätdata fordras för att anpassa en energisignatur och göra en pålitlig prediktion. Energisignaturen anpassades till drygt tjugo olika sekvenser av timmedelvärden, vars längd och starttid varierade. Detta gav drygt tjugo modeller och i kombination med utomhustemperaturen från väderfilen drygt tjugo prediktioner, som jämfördes med den simulerade årssumman.

2.2 Tillämpning i två flerfamiljshus

Vi har arbetat i Stockholm och har inte besökt någon av fastigheterna.

2.2.1 Byggnaderna

Vi har provat vårt angreppssätt i två nybyggda flerbostadshus. Hus 1 är ett sex våningar högt punkthus med 24 stycken två- och trerumslägenheter. Dess uppvärmda area, A_{temp} , är 1956 m². Hus 2 är ett fem våningar högt lamellhus med 30 stycken två- och trerumslägenheter. Dess uppvärmda area, A_{temp} , är 2570 m². Hus 1 ägs av ett privat fastighetsbolag, som har en egen driftsorganisation. Hus 2 ägs av Skanska och sköts av en fastighetsskötare. Det är enbart hyresrätter i bägge husen.

Byggnaderna är byggda med prefabricerade element. De har betongstomme, samt är välisolerade och täta. De har prefabricerat fläktrum placerat på vinden.

Byggnaderna är frånluftventilerade och luft tillförs genom väggventiler i sov- och vardagsrum. Undertrycket i frånluftkanaler upprätthålls med en varvtalsstyrd frånluftfläkt. Ventilationen i kök kan forceras av de boende.

Byggnaderna är ansluta till fjärrvärme och har en frånluftvärmepump, som matar värme till en radiatorkrets. Värmepumpen och fjärrvärmeventilen regleras i sekvens så att framledningstemperaturen till radiatorkretsen upprätthålls. När framledningstemperaturen underskrider börvärdet med mer än 5°C startas värmepumpen och när den överskrider börvärdet med mer än 5°C stängs värmepumpen av. Tillförsel av fjärrvärme fördröjs med två timmar, d.v.s. när framledningstemperaturen underskrider börvärdet med 5°C i två timmar börjar fjärrvärmeventilen reglera. Fjärrvärmeventilen slutar reglera då börvärdet nås. Börvärdet beror av utomhustemperaturen.

Om returtemperaturen in i värmepumpen överstiger +48°C stängs värmepumpen av och återstartas då temperaturen underskrider +47°C. Cirkulationspumpen för radiatorkretsen stoppas om utomhustemperaturen överstiger +17°C i mer än två timmar och startar om den understiger +15°C i mer än fem timmar eller direkt om den underskrider +5°C.

Tappvattnet bereds av fjärrvärme och det finns en vvc-slinga. Börvärdet för framledningstemperaturen till varmvattenssystemet upprätthålls genom att primärsidans ventil reglerar.

Byggnaderna är i klimat-zon 1 och har ganska fritt läge. Fler detaljer om byggnaderna finns i bilagorna 1 och 4.

2.2.2 Mätningar

I vardera byggnaden loggas 15-min-värden för några tiotal punkter med hjälp av byggnadens styrsystem (se bilaga 1). Mätprogrammet omfattar alla de punkter i styrprogrammet, som är relevanta för mediaförbrukning och funktionen hos de klimatstyrande tekniska installationerna. Det är signaler från givare och energimätare, utsignaler till ställdon, samt beräknade börvärden. Vi har inte genomfört någon speciell kalibrering av givare.

Data skickas till en server hos respektive styrleverantör. Den ene använder Internet och den andre gsm-nätet. Från serverna skickas dygnspaket av data med e-post till en speciell e-post-adress hos oss.

Mätningarna fungerade i bägge husen från september 2008. För denna rapport används data t.o.m. juni 2009.

2.2.3 Granskning av vvs-funktioner

Interaktiv kontroll av kvaliteten hos data och granskning av funktionerna hos de klimatstyrande tekniska installationerna utförde vi samtidigt. Genom nästan hela projektet förekom stora brister i data. Verkyget, StatX, är mest använt och pmBrush minst.

2.2.4 Automatisk felsökning

Experiment med automatisk felsökning gjordes under projektets slutskede när mycket historiska data var tillgängliga och vi redan upptäckt de flesta av anläggningarnas brister genom interaktiv granskning av data.

Uppsättningen av regler applicerades på samtliga historiska data från bägge byggnaderna (se bilaga 2 och 3) och resultatet granskades interaktivt med verkyget, DataBrowser.

2.2.5 Uppskattning av mediaförbrukning

Ett antal försök gjordes att anpassa energisignaturer till eleffekten till värmepumpens kompressor och till uppvärmningseffekten. Detta gjordes i projektets slutskede och alla historiska data användes.

3 Resultat

Drifttagningen och kontroller av insamling och export av historiska data har vållat problem genom hela projektet. Vi och styrföretagen har lagt ned orimligt mycket tid på hanteringen av data och projektet har blivit lidande.

Resultaten avser själva metoden och de speciella byggnadernas funktion.

3.1 Metoden

3.1.1 Insamling, export och lagring av mätdata

Insamling, export och lagring av mätdata fungerar väl. Det fordrades dock en lång inkörningsperiod i bägge byggnaderna för att nå dit. Det fanns olika orsaker:

- styrentreprenören levererade inte dokumentation av formatet hos datafilen
- en osannolikt lång rad missförstånd och misstag
- att det i praktiken var vi, som upptäckte och dokumenterade bristerna
- att styrentreprenören hade avslutat entreprenaden och inte hade personal på plats

Det tog lång tid mellan uppkomsten av en brist eller problem och bekräftelse på att den var avhjälpt. Styr gjorde typiskt en åtgärd och väntade på vår reaktion. Vi granskade, dokumenterade och rapporterade tillbaka till styr. Här är en ofullständig lista med problem, som projektet drabbades av:

- datafilens format avviker avsevärt från överenskommet format
- felaktig tidsangivelse i filhuvudet
- tusentalsseparatorn, som förekom i ett filformat, vållades oss problem
- dygnspaketet av mätdata innehöll data endast för dygnets första tre timmar.
- dygnspaketet innehöll inte data för alla punkter
- dygnspaketet saknade värden för trettio hyresgästelmätare
- anslutning till styrsystemet "tappades bort" vid byte av nätoperatör, vilket gav ett avbrott om nästan två månader
- upplösningen hos en energimätare var för låg och skulle höjas, vilket vid första försöket gav ännu lägre upplösning
- ett tidigare fel uppträdde igen och efter lite felsökning visade det sig att "fixen" hade körts under ett personligt konto, som hade tagits bort när en medarbetare slutat hos styrleverantören

Det fordrades många mejl och telefonsamtal för att beta av alla punkter.

3.1.2 Automatisk felsökning

Vi körde PiaFDD i ett sent skede av projektet när redan många fel var upptäckta. De viktigaste resultaten är:

- PiaFDD fångar in flertalet av de fel, som vi upptäckt i byggnaderna.
- PiaFDD kan inte kontrollera styrregler, som innehåller fördröjningar, t.ex. fjärrvärmens ska inte gå in förrän börvärdet underskridits i två timmar.
- Användaren kan inte skapa och modifiera regler på ett smidigt och säkert sätt.

Den första uppsättningen expertregler hade brister. Vi modifierade regler, lade till nya och tog bort några, vilket tog en del tid eftersom vi bägge var involverade.

3.1.3 Prediktering av mediaförbrukning

Verktyget, EnergySignature, användes flitigt i projektet för att kontrollera om åtgärder medförde förbättringar. Det går snabbt att uppskatta hur det slår på byggnadens normalårsförbrukning. Verktyget är roligt att använda och det belönar goda åtgärder.

Simuleringsstudien (se bilaga 5) pekar dock på ett antal problem:

- Felet i den predikterade årssumman ökar med tidssteget i medelvärdesbildning av mätdata. Veckomedelvärden av mätdata ger större fel i årssumman än dygnsmedelvärden, som i sin tur ger större fel än timmedelvärden (se bilaga 5, tabellerna 6 och 7). Det borde vara tvärtom (Hammarsten 1987).
- Den predikterade årssumman beror av årstiden på ett systematiskt sätt. En prediktion baserad på mätdata från hösten ger en för hög årssumma och en baserad på mätdata från våren en för låg årssumma (se bilaga 5, tabellerna 8 och 9).

3.1.4 Analys av avvikelser från projekterat brukande

Den nya diagramtypen, medelveck, har vi använt i bedömningar av avvikelser från "projekterat brukande"². Diagrammet ger en snabb och tydlig indikation på om en närmare granskning är motiverad. Diagrammet ger vidare bra stöd för att välja indataprofiler för simuleringsberäkningar.

3.2 Byggnaderna

Vi har regelbundet granskat data och analyserat vvs-funktioner. Det fanns flera brister i byggnaderna. Vi har upptäckt följande avvikelser i Hus 1

- För hög inkommande kallvattentemperatur. Regeln bröts endast kortvarigt under några varma sommarnätter då tappvattenuttaget var obefintligt.

² BBR 2008 säger "eventuell korrigerig för avvikelse från projekterat brukande av byggnaden bör redovisas i en särskild utredning"

- Dålig avkylning på fjärrvärmevattnets primärsida. Regeln bröts nattetid då värmepumpen var i drift och då utomhustemperaturen var omkring $+10^{\circ}\text{C}$.
- Framledningstemperaturen till radiatorkretsen håller inte sitt börvärde. Styrfunktionen följer inte bygghandlingarna utan använder börvärdet som ett maxvärde. Framledningstemperaturen ligger därför ofta några grader lägre än börvärdet.
- Ingen fjärrvärme tillförs i huset trots att det med hänsyn till utomhustemperaturen borde finnas ett behov. Problemet inträffade några timmar vid ett tillfälle och av okänd anledning.
- Fjärrvärmes tillförs till radiatorsystemet trots att värmepumpen inte är i drift. Den brutna regeln avslöjar en felaktig styrfunktion som allvarligt påverkar energianvändningen.

och följande avvikelser i Hus 2

- Framledningstemperaturen på tappvarmvattnet håller inte rätt temperatur under några timmar då fjärrvärmenätets framledningstemperatur är låg.
- Luftfiltret innan frånluftsbatteriet i frånluftskanalen är kraftigt försmutsat.
- En trasig temperaturgivare. Problemet indikerades av två regler; en som testade att temperaturen ligger i ett rimligt intervall och en som jämför två temperaturgivare.
- För hög temperatur i lägenheter. Regeln bröts kortvarigt under en kraftig värmebölja.
- Dålig avkylning på fjärrvärmevattnets primärsida. Regeln bröts nattetid då värmepumpen var i drift och då utomhustemperaturen var omkring $+10^{\circ}\text{C}$.
- En trasig frånluftfläkt i undercentralen och höga rörförluster i undercentralen.
- Brister i styrningen av värmepumpen. Värmepumpen slår inte av trots att framledningstemperaturen överstiger börvärdet, istället löser den ut då trycket blir för högt och måste återställas manuellt.
- Olika vätskegivare i undercentralen antar inte samma temperatur då värmepumpen är avstängd och radiatorventilen är stängd. Det är okänt om detta beror på att ventilen läcker eller att givarna sitter för nära värmewäxlarpaketet och värms p.g.a. värmeledning i rör och stillastående vätska.

3.2.1 Automatiskt felsökning

I hus 1 tillämpades 35 av de totalt 45 regler som vi formulerat. Övriga regler gick inte att utvärdera eftersom signaler som ingick i reglerna saknades i huset. Av de 35 reglerna bröts 9 stycken periodvis under mätperioden. Av dessa berodde 4 på mätproblem; i samtliga fall för låg upplösning hos energi- eller volymmätare.

I hus 2 tillämpades 39 av de totalt 45 reglerna. Övriga regler gick inte att utvärdera eftersom signaler som ingick i reglerna saknades i huset. Av de 39 reglerna bröts 18 stycken periodvis under mätperioden. Av dessa berodde 2 på mätproblem; en elmätare gav ifrån sig ”spikar” och en annan visade kortvarigt noll.

Expertreglerna indikerade samtliga avvikelser, som vi upptäckt genom interaktiv granskning. Fem av avvikelserna, som är listade i avsnittet ovan, missade vi i den interaktiva granskningen. Utmärkande för dessa fem är att de uppträdde under ganska kort tid och inte hör till mest allvarliga.

4 Diskussion

I projektbeskrivningen formulerades målet:

Projektet syftar till att ta fram och testa en metodik som gör det möjligt att på ett enkelt sätt följa upp de VVS-tekniska systemen i bostadshus i syfte att upprätthålla en låg energianvändning med bibehållen komfort.

Projektet har fått en lite annorlunda inriktning än planerat. Praktiska insatser för att få insamlingen av historiska data att fungera har tagit avsevärt mer tid än planerat. Vi hade allvarligt underskattat problemen i samband med datainsamling.

4.1 Metoden

4.1.1 Insamling, export och lagring av mätdata

Insamling och export av mätdata har inte fungerat bra i projektet. Det krävde alldeles för mycket arbete och det tog oacceptabelt lång tid innan det fungerade. Varför är det så svårt? Vi tror det är svårt därför att personalen, som utför arbetet hos styrentreprenören, varken har adekvata verktyg eller rutin för uppgiften. De tvingas improvisera och det blir väldigt personberoende. Vi känner igen situationen från driften av vår egen databas.

Den grundläggande tekniken finns i form av Internet, epost, servrar och databassystem. Det är svårt att acceptera att insamling, export och lagring av historiska data ska fordra så mycket felavhjälpare arbete att hela vårt angreppssätt blir ekonomiskt tveksamt.

På kort sikt tror vi att beställaren i upphandlingen måste begära att anbudsgivaren demonstrerar en fungerande lösning av insamling och export av historiska data. Det är nödvändigt att vara mycket tydlig beträffande upplösningen hos mätare av media. Föreskriv MBUS och registrera effekter parallellt med energi när det är möjligt. Dessutom måste import, lagring och uttag av data testas. Hela vägen från givare till diagram måste testas.

På lite längre sikt så tror vi att det behövs en standard för datafiler och filerna med metadata, d.v.s. beskrivningarna av datafilerna. Först med en sådan standard kan styrföretagen ta fram en produkt och räkna med att inte behöva göra olika anpassningar för varje beställare. Dessutom blir det möjligt att utveckla system för import och lagring, som inte behöver anpassas till olika styrfabrikat.

4.1.2 Automatisk felsökning

Automatisk felsökning med PiaFDD tillför värde till metoden. Den avlastar granskaren och gör dennes arbete effektivare. Det är mentalt krävande att granska diagram i jakt på avvikelser. Det är lätt att tappa koncentrationen och göra misstag. Det hjälper granskaren att reglerna pekar ut misstänkta förlopp och enstaka falska utpekanden är i detta sammanhang inte så allvarliga. Reglerna vi använde fångade nästan alla avvikelser. Jo, vi fuskade kanske lite genom att trimma reglerna med ledning av de aktuella historiska data.

Ett paket av regler till stöd för besiktning av funktioner tror vi skulle ge bättre anläggningar. Det är svårt att inom ramen för en konventionell besiktning göra en systematisk kontroll av att alla styrregler är korrekt implementerade. Det finns stor potential till förbättringar – i bägge våra hus missade besiktningarna allvarliga fel i styrningen av värmepumparna. Dessa fel bröt regler i vårt regelpaket och skulle alltså ha uppmärksammats. Hur skulle ett sådant besiktningstöd vara utformat? Kanske ginge det att hämta idéer från modern utveckling av datorprogram. Där skrivs tester som kontrollerar att vissa typer av skallkrav är uppfyllda. För att göra denna provning kraftfullare vore det naturligt att driva systemet så att det genomgår sekvenser av tillstånd på beställning. Exempelvis ginge det att ersätta utetemperturgivaren med en anordning som simulerar en varierande temperatur. Sådana prov måste naturligtvis utföras vid lämpligt tillfälle och styras av kunnig personal.

Uppsättningen av expertregler får inte vara statisk. Operatören ska kunna komplettera och modifiera reglerna. När en ny avvikelse uppträder i anläggningen ska det vara möjligt att komplettera med regler, som fångar denna avvikelse nästa gång den uppträder. Regler, som ger falska larm ska kunna modifieras eller tas bort. Successivt ska en grupp effektiva regler växa fram.

Reglerna måste vara korrekta och väl dokumenterade för att vara till verklig hjälp. Många av de tumregler som ges för konstruktion av tester för programvara gäller även här. När en regel bryts får det inte vara någon tvekan om orsaken eller vad detta indikerar beträffande funktionen. Vi har funnit att det är lättare att formulera och arbeta med regler (villkor) om de är uppfyllda vid felfri drift.

4.1.3 Uppskattning av mediaförbrukning

Klarar byggnaden kraven? Den frågan ställer ansvariga så fort data börjar komma in från en ny byggnad. Energiprestanda är en viktig aspekt inför överlämnandet och frågan är berättigad, men inte alldeles lätt att besvara. De vill ju snabbt ha besked om de behöver vidta åtgärder. Det finns alltså ett akut behov av ett användarvänligt och robust verktyg för att uppskatta mediaförbrukning. Våra erfarenheter från detta projekt understryker detta behov.

Energisignaturen har egenskaper, som är värdefulla för skattning av års-summor för nya byggnader. Viktigast är kanske att den kan baseras på en ofullständig tidsserie om bara utomhustemperaturens spridning är tillräckligt

stor. Bortfall av data, som ju inte är ovanligt i nya byggnader, går att hantera. Det går att välja bort data då anläggningen inte fungerat på avsett vis eller välja perioder då byggnaden fungerat speciellt bra. Det går dela upp data och göra energisignaturer för olika driftfall. Det är möjligt att använda skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperatur som oberoende variabel i stället för utomhustemperaturen. Detta är värdefullt om inomhustemperaturen inte är konstant.

Energisignaturen är inte helt okomplicerad att använda. I litteraturen anges ofta att energisignaturen bestäms med linjär regression utan att kommentera hur brytpunkterna ska hanteras. Energisignaturen är ju en styckevis linjär funktion vars linjära segment möts i brytpunkter och linjär regression kan alltså bara användas för att anpassa ett segment i taget. Schulz (2003) föreslår att brytpunkterna tas fram manuellt genom passning, vilket om inte annat tar tid. Linjär regression förutsätter att modellen, består av en deterministisk del, som i vårt fall är en rät linje, plus en stokastisk del, som representerar felet. Felet, $e(\text{tid})$, ska ha medelvärdet noll, konstant standardavvikelse och felet i olika observationer (olika tidpunkter) får inte vara korrelerade. I vårt fall bidrar byggnadens dynamik, inomhustemperatur, solinstrålning, vindhastighet, "interlaster" samt mätfel till felet, $e(t)$. Korta tidssteg ger stor korrelation mellan påföljande observationer. Hammarsten (1987) rekommenderar minst dygnsdata.

Långa tidssteg i kombination med brytpunkter skapar ett problem, som vi inte var riktigt förberedda på. Ett medelvärde, som bildas av observationer vars utomhustemperaturer ligger på bägge sidor om brytpunkten ger ett felaktigt värde. Ju längre tidsperiod, som medelvärdet avser, desto större blir effekten (se bilaga 5, tabell 5 och 6).

Energisignaturen tar inte hänsyn till skillnaden mellan vår och höst såsom graddagsmetoden gör med hjälp av olika eldningsgränser för olika månader. Vårt experiment med EnergySignature och simulerade data (se bilaga 5, tabell 8 och 9) tyder på att det vore värt att försöka förbättra uppskattningarna av årsförbrukningar med en årstidsberoende korrektion.

Valet av källa för utomhustemperatur fordrar viss eftertanke. I Stockholms-trakten kan årsmedeltemperaturen skilja ett par grader mellan två fastigheter och mer om man letar upp extrema lägen (Ångström 1973, SLB 2009). Det betyder ungefär 10% för energi till uppvärmning. En god och välplacerad givare invid byggnaden är lämplig för att analysera effekter av åtgärder i anläggningen. Men för att avgöra om byggnaden uppfyller ställda krav kan den lokala temperaturen vara missvisande. Vilken temperatur hänvisar kravet till?

Det behövs ett verktyg för att följa upp hur åtgärder påverkar mediaförbrukningen och att uppskatta normalårsförbrukningar av media.

EnergySignature saknar dock några viktiga funktioner:

- indikation av osäkerheten i uppskattningen
- diagram för presentation av skillnaden mellan värdet enligt den anpassade energisignaturen och mätvärdet (residualen)
- sätt att ta hänsyn till skillnaden i utomhustemperatur mellan den aktuella fastigheten och mätstation på vilken kraven baseras.

Kanske ska verktyget baseras på någon annan beräkningsmetod än energisignaturen. En metod som tar hänsyn till fler variabler än utetemperaturen.

4.1.4 Normalisering av mediaförbrukning

Normalårskorrigerings osäkerhet har hitintills inte varit något större problem. Den har använts för att korrigera för att vädret varierar mellan åren och därmed skapa jämförbara tidsserier av årsförbrukning. Den har främst använts för energiuppföljning och beskrivande statistik.

I en nära framtid kommer normalårskorrigerad årsförbrukning att användas i juridiskt bindande avtal och myndighetskrav. Brister i energiprestanda ska kunna medföra ekonomiska konsekvenser. I den situationen är det önskvärt

- att metoderna för normalårskorrigerings är entydigt definierade – det är så dags att diskutera den saken när byggnaden bara nästan uppfyller kraven.
- att normalårskorrigerings inte beror av temperaturmätning invid fastigheten – vem skulle ansvara för tillgänglighet och noggrannhet?
- att de olika metodernas träffsäkerhet är känd för olika typer av byggnader – det underlättar valet av metod vid upphandlingen.

En rad frågor är relevanta. Hur god träffsäkerhet fordras? Hur stor får risken vara att en byggnad, som faktiskt uppfyller kraven, underkänns på grund av dålig träffsäkerhet. Och hur stor får risken vara att en byggnad godkänns trots att den i verkligheten inte uppfyller kraven. Vi anser att osäkerheten just nu är för stor.

SMHI:s Energi Index, att döma av informationen på deras hemsida, är en sund metod, men dess träffsäkerhet är svårt att bilda sig en uppfattning om. Ju bättre den aktuella byggnaden simuleras³ desto högre träffsäkerhet uppnås med normaliseringen. Så måste det rimligtvis vara. I många fall finns en bra simuleringsmodell för den aktuella byggnaden, nämligen den som utvecklats för att stödja utformning och dimensionering av byggnaden. Denna modell borde alltså användas för normaliseringen. Det är bara en hake. Modellen ägs av den ena parten och därav följer ett antal krav:

- Sättet att utföra normaliseringen ska vara entydigt specificerat och helst automatiserat. Utfallet får inte bero av vem som utför normaliseringen.
- Bägge parter ska ha tillgång till modellen.
- I samband med slutbesiktningen ska det fastställas vilken version av modellen, som ska användas för normaliseringen. Därefter ska inte ett enda parametervärde ändras. Det ger möjlighet att ta hänsyn till ändringar, som tillkommit under byggskedet, och det förhindrar att hänsyn tas till mätdata.

³ En simuleringsberäkning spelar en central roll i Energi Index.

5 Slutsatser

Vi har vidareutvecklat en metodik för uppföljning av vvs-tekniska funktioner i bostadshus och parallellt stött trimningen av driften i två nya hus. Vårt angreppssätt bygger på intensiv trendloggning med byggnadens styrsystem i kombinationen med kraftfull visualisering. Våra viktigaste slutsatser är:

- De aktuella var byggnaderna var i behov av översyn av driften. Det fanns en ansevärd potential att spara energi genom trimmad och felfri drift.
- Besiktningen av styrfunktionerna bör vara mer ingående. Nu hade allvarliga fel passerat.
- Detaljerad kunskap om byggnadens funktion och prestanda ger många fördelar. Det ger möjlighet till bättre driftoptimering inför funktionsproven. Det underlättar i kontakten med myndigheter och kunder. Det ger underlag för utredningar med anledning av energikraven i BBR.
- "Energisignaturen" är inte lämplig för normalårsanpassning. Det saknas anvisningar för hur beräkning ska utföras och beräkningsresultatet blir därför personberoende.
- Vårt angreppssätt fungerar. En kunnig vvs-ingenjör kan med stöd av intensiv trendloggning och effektiv visualisering på ett kostnadseffektivt sätt ta fram bra underlag för att köra vvs-anläggningar mer energisnålt.
- Problem med insamling och överföring av historiska data är ett avgörande hinder för vårt angreppssätt. Kraven i upphandlingen måste skärpas. Kräv att styrentreprenören antingen ger referenser till eller demonstrerar system med insamling och överföring av historiska data, som är i drift.

5.1 Fortsatt arbete

Detta projekt har visat att historiska data ger på stora möjligheter att analysera vvs-funktioner och mediaförbrukning. Samtidigt har projektet tydligt visat att det fordras effektiva, robusta och användarvänliga verktyg för att arbeta rutinmässigt enligt vårt angreppssätt.

5.1.1 Standard för överföring av historiska data

Verka för att en standard, som föreskriver filformat och transport av historiska data, tas fram.

5.1.2 Verktyg för uppskattning av energianvändning

Det är angeläget att vidareutveckla verktyget, EnergySignature, så att det kan användas rutinmässigt för att analysera mediaförbrukning och uppskatta

årssummor. Det ska vara interaktivt och användaren ska förstå och styra analysen. Jämfört med EnergySignature så ska det

- vara enklare och snabbare att använda
- ha bättre träffsäkerhet
- ge en tydlig indikation beträffande osäkerheten
- avlasta användaren från svåra bedömningar såsom att välja brytpunkter på energisignaturen

Detta verktyg kommer att göra det roligare att jaga energitjuvar.

5.1.3 Verktyg för automatisk felsökning

Utveckla interaktivt verktyg för att definiera och köra expertregler. Det ska bygga på erfarenheterna av PiaFDD. Reglerna ska kunna skrivas in och testas interaktivt av användaren. Verktyget ska kunna hantera fler typer av regler, t.ex. regler med fördröjningar. Detta projekt har visat att det både är önskvärt och möjligt att använda expertregler för att först stödja besiktningen och sedan övervakningen under drift.

En expertregel ska bestå av ett namn, ett logiskt uttryck, en kort beskrivning, en hjälptext och några nyckelord. Det logiska uttrycket ska vara formulerat med neutrala signalnamn för att kunna användas i alla byggnader av en viss typ. Regler ska sparas i en sökbar databas.

Redan i projekteringsskedet ska en uppsättning regler tas fram med stöd av styrhandlingen och simuleringsmodellen (om en sådan finns). Många regler kommer att finnas i databasen och några nya behöver konstrueras. Reglerna kan eventuellt testas med simulerade data. En handling genereras automatiskt och bifogas förfrågningsunderlaget i styrupphandlingen. Denna handling ska motivera styrentreprenören att anstränga sig lite extra.

Före inflyttningen i samband med slutbesiktningen ska reglerna köras i anläggningen. Denna provning ska omfatta så många sekvenser och funktioner som möjligt. Detta kan åstadkommas genom att aktivt driva anläggningen genom olika sekvenser av tillstånd.

Under driftskedet ska reglerna köras automatiskt och resultatet styra utseendet hos en ikon. Denna kan se ut som ett trafikljus som växlar färg eller en mer eller mindre glad stuga. Med ikonerna som ingång ska det vara möjligt att interaktivt gräva ned sig i detaljerna, som förorsakade ikonerna att indikera ett problem.

5.1.4 Normalårskorrigerig

Det saknas säkra uppgifter om träffsäkerheten hos metoder för normalårskorrigerig. En systematisk simuleringsstudie borde kunna kvantifiera träffsäkerheten tillräckligt väl. Studien kan gärna baseras på befintliga byggnader för vilka det finns detaljerade simuleringsmodeller samt åtminstone ett års data från problemfri drift i kombination med ett tiotal väderfiler från vardera av

några olika av SMHI:s väderstationer. I första hand ska SMHI:s två metoder provas.

Om den inledande simuleringsstudien inte visar tillräckligt god träffsäkerhet är det önskvärt att undersöka om bättre träffsäkerhet kan uppnås med en metod, som använder en detaljerad simuleringsmodell av den aktuella byggnaden.

6 Källor

- BBR 2008, *Regelsamling för byggande, BBR 2008, Supplement februari 2009, 9 Energihushållning*, <http://www.boverket.se/bbr> (2009-10-27)
- Carling Pär. 2002. Comparison of three fault detection methods based on field data of an air handling unit. *ASHRAE Transactions* 108(1).
- Elmroth A. 2006. *Energihushållning och värmeisolering. Byggvägledning 8. En handbok i anslutning till Boverkets byggregler.*
- Hammarsten, S, 1987, *A Critical Appraisal of Energy-Signature Models, Applied Energy*, 26 pp. 97-110
- House J M, Vaezi-Nejad H och Whitcomb J M. 2001. *An expert rule set for fault detection in air-handling units.* *ASHRAE Transactions* 106(1).
- IEA ECBCS, <http://www.ecbcs.org/annexes/index.htm>, (2009-10-28)
- IDA 2009, <http://www.equa.se>, (2009-08-27)
- Isakson P, Carling P och Wetterström P. *Analysmetoder för mediaförbrukning och installationers funktion i kommersiella byggnader.* Slutrapport oktober 2006. Installationsteknik, Bygghälsa, KTH. Energimyndigheten Dnr 5316-2003-08646.
- Kabona 2009, <http://www.kabona.com/pdf/wdc.pdf> (2009-08-27)
- LBL 2009, *BUILDING COMMISSIONING -A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse-Gas Emissions*, <http://cx.lbl.gov/cx.html> (2009-08-27)
- LVF 2009:1, *Luftkvalitet i Stockholms och Uppsala län samt Gävle och Sandviken kommun*, Miljöförvaltningen i Stockholm, http://slb.nu/slb/rapporter/pdf6/lvf2009_001.pdf (2009-08-27)
- Mills, E. and P. Mathew. 2009. *Monitoring-Based Commissioning: Benchmarking Analysis of 24 UC/CSU/IOU Projects.* Lawrence Berkeley National Laboratory Report 1972E, <http://cx.lbl.gov/MBCx.html> (2009-01-27)
- MySQL 2009, *MySQL Community Server*, <http://www.mysql.com/> (2009-10-27)
- PECI 2009, *Commissioning Resource Center*, http://www.peci.org/cx_resources.html (2009-01-27)
- Pentaho 2009, *Pentaho Data Integration*, <http://www.pentaho.com/>, (2009-10-27)

Schulz L. 2003. *Normalårskorrigerering av energianvändningen i byggnader – En jämförelse mellan två metoder*. Projektrapport 2003:01. EFFEKTIV.
http://effektiv.org/pdf_filer/Rapport%202003-01.pdf (2009-08-27)

SMHI 2009a, *Graddagar*,
<http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=5574&a=29685&l=sv> (2009-09-20)

SMHI 2009b, *Energi-index*,
<http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=5574&a=27817&l=sv> (2009-09-20)

Ångström, A, 1974, *Sveriges klimat*, Generalstabens litografiska anstalts förlag, Stockholm

SS-EN 15603:2008. *Byggnaders energiprestanda – Sammanvägd energianvändning och olika sätt att uttrycka energiprestanda*.

BILAGOR

Innehållsförteckning

BILAGOR	25
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	25
BILAGA 1 BESKRIVNING AV BYGGNADER OCH MÄTNINGAR	27
HUS 1; MÄTPUNKTER	28
HUS 2; MÄTPUNKTER	29
INSAMLING, EXPORT, LAGRING OCH GRANSKNING AV MÄTDATA	30
BILAGA 2 ETT EXPERTREGELPAKET FÖR FLERBOSTADSHUS	31
BETECKNINGAR	32
REGLER FÖR ALLA DRIFTFALL	33
REGLER FÖR DRIFTFALL 1; VÄRMEPUMP I DRIFT OCH FJÄRRVÄRME REGLERAR	43
REGLER FÖR DRIFTFALL 2; VÄRMEPUMP I DRIFT OCH FJÄRRVÄRMEN AVSTÄNGD	54
REGLER FÖR DRIFTFALL 3; VÄRMEPUMP OCH FJÄRRVÄRME AVSTÄNGD	60
REGEL FÖR DRIFTFALL 4; VÄRMEPUMP AVSTÄNGD OCH FJÄRRVÄRME I DRIFT	63
BILAGA 3 UTVÄRDERING AV EXPERTREGLER MED MÄTDATA FRÅN TVÅ BYGGNADER	65
HUS 1	66
HUS 2	74
DISKUSSION	88
BILAGA 4 EN SIMULERINGSMODELL FÖR ATT TESTA ENERGISIGNATUREN	89
BILAGA 5 NORMALISERING OCH PROGNOSE MED ENERGISIGNATUREN	93
BAKGRUND	93
NORMALISERING MED ENERGISIGNATUREN	93
ENERGYSIGNATURE	94
REGRESSIONSMETODER I ENERGYSIGNATURE	96
TEST AV METOD	97
BEROENDET AV ANDRA VARIABLER ÄN UTMOMHUSTEMPERATUREN	98
UTVÄRDERING AV METODFEL MED SIMULERADE VÄRDEN	100
PROGNOSE MED SIMULERADE VÄRDEN	104
TESTER MED MÄTDATA FRÅN TVÅ BYGGNADER	107
<i>Hus 1, kompressorel</i>	107
<i>Hus 1, fjärrvärme för uppvärmning</i>	108
<i>Hus 2; fjärrvärme för uppvärmning</i>	109
BILAGA 6 FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG STYR OCH ÖVERVAKNING.	111
KRAV PÅ TRENDLOGGNING OCH EXPORT AV TRENDDATA	111
ALTERNATIVA FORMAT HOS TEXTFILER	112

BILAGA 1

BESKRIVNING AV BYGGNADER OCH MÄTNINGAR

Vi har testat våra idéer på två flerbostadshus med liknande systemuppbyggnad.

Hus 1 ligger i södra Sverige och är ett sex våningar högt punkthus med 24 lägenheter fördelat på tvårums- och trerumsbostäder.

Hus 2 ligger i Mälardalen och är ett fem våningar högt lamellhus med 30 lägenheter fördelat på tvårums- och trerumsbostäder.

Husen har en prefabricerad sandwichkonstruktion med betong och cellplast som yttervägg. Bjälklaget består av HDF-plattor. Trapphus och hiss är centralt placerade.

I båda husen är badrumsmodul, ventilations- och rörschakt, fläktrum samt undercentral prefabricerade. Det finns fyra schakt.

Husen är frånluftventilerade. Tilluften tillförs via väggventiler i sovrum och vardagsrum. Innan avluften blåses ut återvinns en del av värmen i en frånluftvärmepump.

Husen värms med ett radiatorsystem som i första hand försörjs med värme från värmepumpen och i andra hand av fjärrvärme.

Tappvarmvatten tillverkas enbart med fjärrvärme. Det finns en cirkulationsslinga för varmvatten.

Undertrycket i frånluftkanalen upprätthålls genom att frånluftfläktens frekvensomformare försöker hålla börvärdet. Periodvis forceras ventilationsflödet t.ex. då hyresgästerna lagar mat och då ökar flödet genom kökskåpan.

Börvärdet för framledningstemperaturen till radiatorer upprätthålls genom att värmepumpen och fjärrvärmeventilen regleras i sekvens. Om framledningstemperaturen överskrider börvärdet med mer än 5°C stängs värmepumpen av. Om framledningstemperaturen underskrider börvärdet med mer än 5°C sätts värmepumpen på. Tillförsel av fjärrvärme fördröjs med två timmar. Börvärdet beror på utomhustemperaturen.

Om returtemperaturen in i värmepumpen överstiger +48°C stängs värmepumpen av och återstartas då temperaturen underskrider +47°C. Cirkulationspumpen för radiatorkretsen stoppas om utomhustemperaturen överstiger +17°C i mer än två timmar och startar om den understiger +15°C i mer än fem timmar eller direkt om den underskrider +5°C.

Börvärdet för framledningstemperaturen till varmvattensystemet upprätthålls genom att primärsidans ventil reglerar.

Fler detaljer om byggnaden ges i avsnittet ”Beskrivning av simuleringsmodell” i denna rapport.

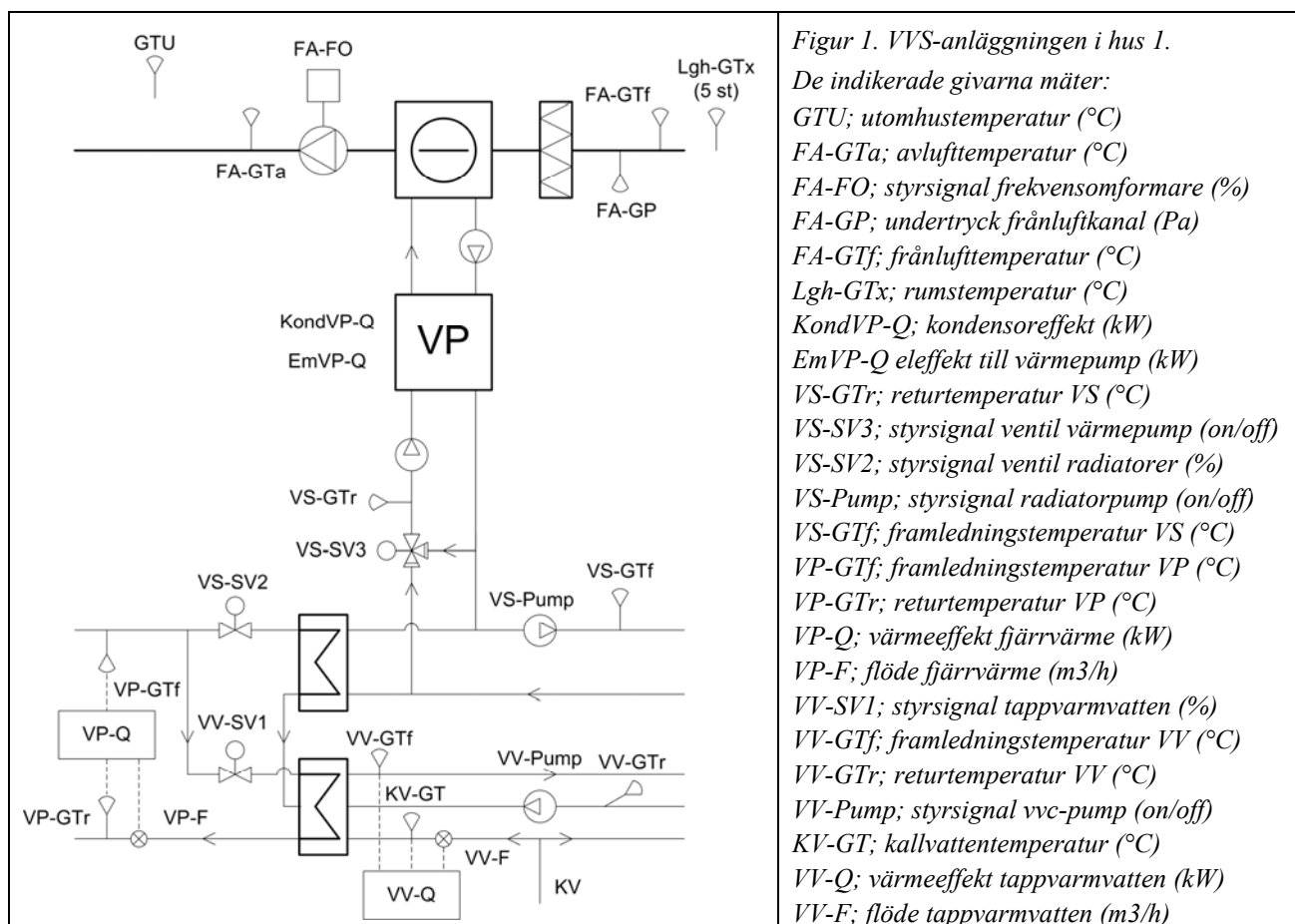
Hus 1; mätpunkter

Figur 1 redovisar vvs-anläggningens utformning i hus 1 inklusive den mätutrustning som är installerad.

Förutom de givare som indikeras i figur 1 mäts den totala eleffekten som tillförs huset och hyresgästelen i var och en av de 24 lägenheterna.

I hus 1 är värmepumpen parallellkopplad med fjärrvärmens värmeväxlare. Dessutom finns en styrventil (VS-SV3) som saknas i hus 2.

Några mätpunkter skiljer mellan hus 1 och hus 2. I hus 1 finns fem temperaturgivare placerade ute i lägenheterna. Dessutom mäts värmeeffekten från kondensorn (KondVP-Q) och returtemperaturen på vvc-slingan (VV-GTr). Frånluft- och avlufttemperaturen (FA-GTf och FA-GTr) mäts också.



Hus 2; mätpunkter

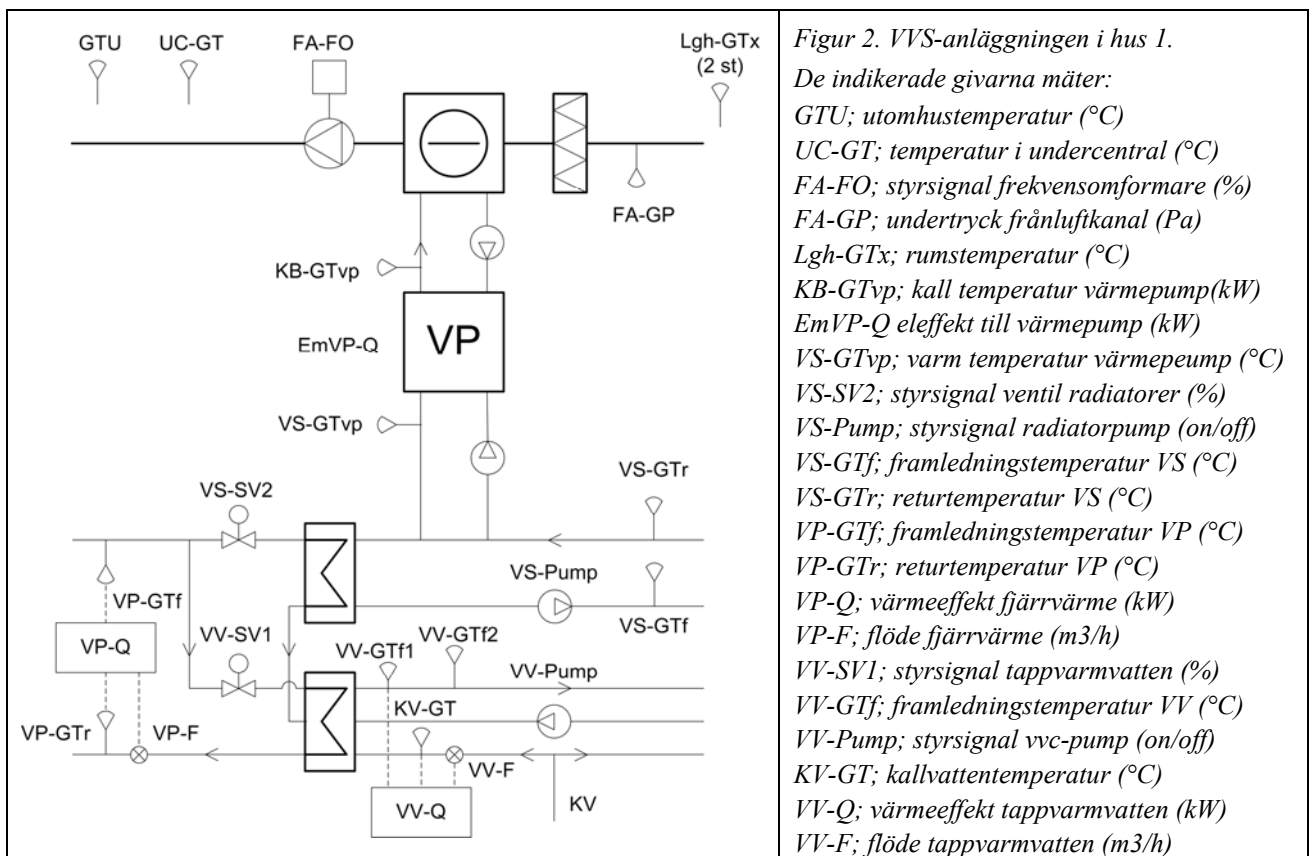
Figur 2 redovisar vvs-anläggningens utformning i hus 2 inklusive den mätutrustning som är installerad.

Förutom de givare som indikeras i figur 1 mäts den totala eleffekten som tillförs huset och hyresgästelen i var och en av de 30 lägenheterna.

I hus 2 är värmepumpen seriekopplad med fjärrvärmens värmeväxlare.

Några mätpunkter skiljer mellan hus 1 och hus 2. I hus 2 finns två temperaturgivare placerade ute i lägenheterna. Dessutom mäts temperaturen ut från värmepumpen både på den kalla och varma sidan (KB-GTvp och VS-GTvp). Det finns också en mätning av temperaturen i undercentralen.

Returgivaren från radiatorsystemet är annorlunda placerad än i hus 1.



Insamling, export, lagring och granskning av mätdata

Mätdata samlas in via byggnadens styranläggning. Loggningsintervallet är femton minuter.

I hus 1 exporteras data via internet till styrleverantören som sedan skickar den vidare, oftast vartannat dygn, som textfiler. Textfilerna bifogas ett e-post. I hus 1 har vi samlat in data under perioden 080827 till 090630 med undantag för oktober och november 2008 då insamlingen inte fungerade.

I hus 2 exporteras data via ett GSM-modem till styrleverantören som sedan skickar den vidare som textfiler en gång per dygn. Textfilerna bifogas ett e-post. I hus 2 har vi samlat in data för perioden 080901 till 090705.

Data tas emot av ett datorprogram som automatiskt matar in informationen i en databas.

Nedläsning från databasen sker över internet till en samling Matlab-funktioner, Pia, som används för granskning och analys.

BILAGA 2

ETT EXPERTREGELPAKET FÖR FLERBOSTADSHUS

En expertregel är ett villkor som ska vara uppfyllt för att anläggningen ska anses fungera som tänkt. Expertregler konstrueras genom att dela in i anläggningens funktion i olika driftfall och för varje driftfall tänka ut hur olika givarsignaler ska förhålla sig till varandra vid felfri drift.

I detta avsnitt ska vi beskriva ett antal expertregler för flerbostadshus som värms av frånluftvärmepump och fjärrvärme. Vi använder ett angreppssätt som House (2001) använt på luftbehandlingsaggregat och som Carling (2002) utvärderat.

Först avgörs vilket driftfall som råder i anläggningen med hänsyn till hur värmen tillförs uppvärmningssystemet. Sedan tillämpas de regler som gäller för aktuellt driftfall. I de anläggningar vi testar i detta arbete finns tre driftfall:

1. Fjärrvärmen reglerar och värmepumpen i drift.
2. Fjärrvärmen avstängd och värmepumpen i drift.
3. Fjärrvärmen avstängd och värmepumpen avstängd

Dessutom definieras ett ytterligare driftfall där fjärrvärmen reglerar och värmepumpen är avstängd. Detta driftfall bryter mot den tänkta funktionen. Om anläggningen körs i detta driftfall finns ett fel.

För att avgöra vilket driftfall som råder används styrsignalen till styrventilen för fjärrvärme och elmätningen på värmepumpen.

Metoden innehåller tre sätt att minska antalet larm beroende på transienter i data som inträffar till exempel då ett delsystem startar.

1. Testerna görs med filtrerade data. Filtrering innebär att ett "löpande medelvärde" bildas.
2. Testerna görs endast i slutet av varje timme under förutsättning att det varit samma driftfall under tre hela timmar.
3. Till varje regel finns ett parametervärde vars storlek ska väljas så att metoden inte larmar i onödan.

Först redovisas reglerna tillsammans med mätdata från de två husen för perioder då systemen fungerar som tänkt. Om inte reglerna går att applicera på våra mätdata redovisas skälen till detta. Dessutom redovisas vilka parametervärden vi valt.

I nästa avsnitt (bilaga 3) testar vi reglerna på alla mätdata från våra anläggningar och drar slutsatser om hur bra anläggningarna fungerar, vilka regler som kan vara användbara och vilka nivåer för de olika parametervärdena som är lämpliga.

Beteckningar

För att enkelt kunna lägga till ytterligare projekt har vi istället för att definiera reglerna med givarbeteckningarna infört generella rollnamn. Beteckningar och motsvarande rollnamn framgår av tabell 1. Givarbeteckningarna indikeras i figur 1 och 2.

Tabell 1. Beteckningar enligt figur 1 och 2 för de två husen samt motsvarande rollnamn.

System	Hus 1	Hus 2	Rollnamn	Rollnamnets förklaring
Fjärrvärme VP	VP-GTf	VP-GTf	T_{PSW}	Temperature primary supply water
	VP-GTr	VP-GTr	T_{PRW}	Temperature primary return water
	VP-F	VP-F	F_{PW}	Flow primary water
	VP-Q	VP-Q	Q_{PW}	Power primary water
Värme VS	VS-GTf	VS-GTf	T_{SSW}	Temperature secondary supply water
	VS-GTf_B	VS-GTf_B	$T_{SW,SET}$	Temperature supply water set-point
	VS-GTr	VS-GTr	T_{SRW}	Temperature secondary return water
	VS-SV2	VS-SV2	U_{HWV}	Control signal heating water valve
	VS-SV3	—	U_{HPV}	Control signal heat pump valve
Värme VV	VV-GTf	VV-GTf	T_{TW}	Temperature hot tap water
	VV-GTf_B	VV-GTf_B	$T_{TW,SET}$	Temperature tap water set-point
	VV-GTr	—	T_{RTW}	Temperature return tap water
	VV-SV1	VV-SV1	U_{TWV}	Control signal tap water valve
	KV-GT	KV-GT	T_{CTW}	Temperature cold tap water
	VV-F	VV-F	F_{TW}	Flow tap water
	VV-Q	VV-Q	Q_{TW}	Power tap water
Värmepump	EmVP-Q	EmVP-Q	E_{HP}	Power electricity to compressor
	KondVP-Q	—	Q_{HP}	Condenser heat
	—	VS-GTvp	T_{HHP}	Temperature hot side heat pump
	—	KB-GTvp	T_{CHP}	Temperature cold side heat pump
Väderstation	GTU	GTU	T_{OA}	Temperature outdoor air
Ventilation	FA-GP	FA-GP	P_{RA}	Pressure return air
	FA-GP_B	FA-GP_B	$P_{RA,SET}$	Pressure return air, set-point
	FA-FO	FA-FO	U_{RAF}	Control signal return air fan
	FA-GTr	—	T_{RA}	Return air temperature
	FA-GTa	—	T_{EA}	Exhaust air temperature
Fastighetsel tot.	Fastel	Fastel	E_S	Power electricity systems
Lägenheter tot.	Hyresel	Hyresel	E_D	Power electricity domestic
Lägenheter	Lgh-GTx	Lgh-GTx	T_{IA1}	Temperature indoor air no1
	Lgh-GTx	Lgh-GTx	T_{IA2}	Temperature indoor air no2
	—	UC-GT	T_{PR}	Temperature plant room

Regler för alla driftfall

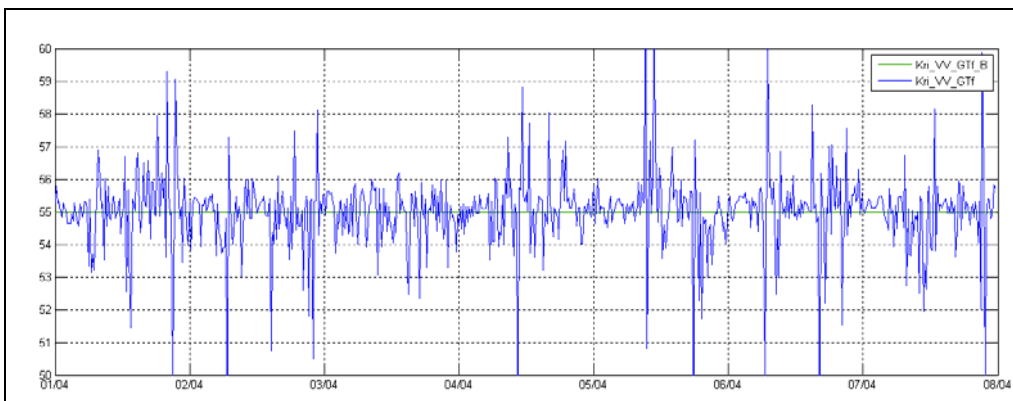
Regel 1 gäller temperaturen i tappvarmvattensystemet:

$$|T_W - T_{W,SET}| < \Delta T_W \quad (1)$$

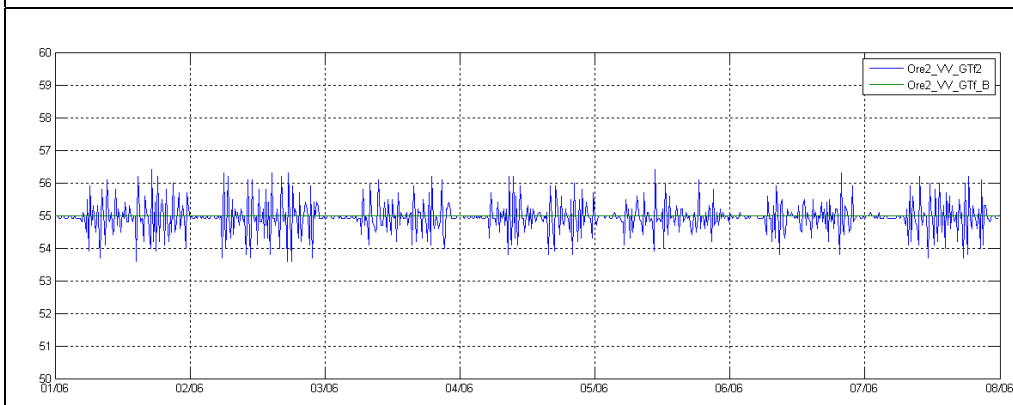
Avvikelsen mellan framledningstemperaturen till tappvarmvattensystemet och dess börvärde ska inte vara för stor. En avvikelse kan tyda på reglerproblem eller underdimensionering. Varaktigt för låg framledningstemperatur kan medföra hälsorisker. Stora svängningar ökar slitaget på utrustningen.

I figur 3 redovisas diagram för regleringen av framledningstemperaturen till tappvarmvattensystemet för hus 1 respektive hus 2. I båda fallen är börvärdet $+55^\circ\text{C}$. Systemen reglerar för att hålla detta börvärde. Svängningarna är större i hus 1.

Ett rimligt parametervärde, ΔT_W , är 5°C vilket betyder att den filtrerade (löpande medelvärde) signalen får avvika 5°C upp eller ned från börvärdet.



Figur 3a.
Tappvarmvattentemperatur i Hus 1 för en vecka.



Figur 3b.
Tappvarmvattentemperatur i Hus 2 för en vecka.

Regel 2 gäller styrsignalen till styrventilen för tappvarmvattnet:

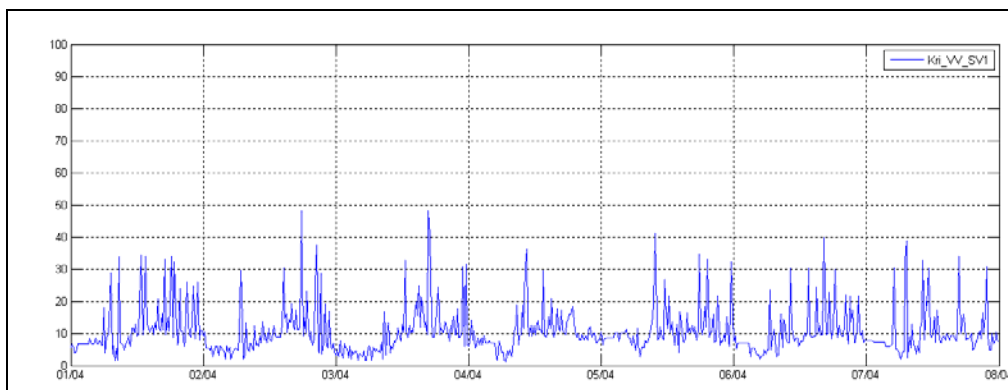
$$U_E < U_{TWV} < 100 - U_E \quad (2)$$

Signalen som styr ventilen för tappvarmvatten ska inte vara 0 %. Eftersom byggnaderna har varmvattencirkulation kommer det, för att kompensera värmeförlusterna från vvc-rören, behöva tillföras värme även då inget tappvarmvattenuttag sker. Signalen ska inte heller vara 100 % eftersom det betyder att systemet då utnyttjar sin maximala kapacitet och risk finns att börvärdet för framledningstemperaturen inte kan hållas.

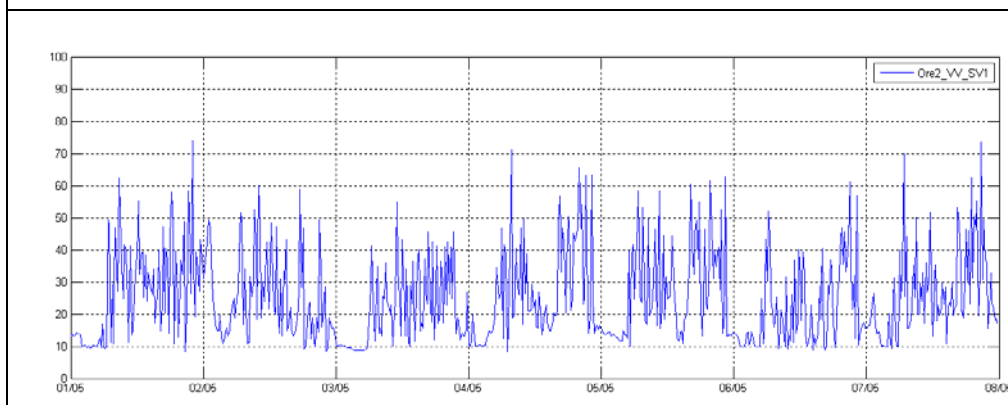
Denna regel kan indikera underdimensionering, försmutsade värmeväxlare, felaktig framledningstemperatur eller lågt tryck i fjärrvärmenätet, trasig ventil, reglerproblem eller trasiga givare.

I figur 4 redovisas diagram för styrsignalen i de båda husen för en vecka. Nattetid sker inget tappvarmvattenuttag och ventilerna närmar sig då ett lågt värde. Dagtid reglerar ventilen för att hålla börvärdet.

Ett rimligt parametervärde, U_E , är 1%-enhet vilket betyder att den filtrerade signalen får variera mellan 1% och 99% under detta driftfall.



*Figur 4a.
Styrsignalen för styrventil i tappvarmvattensystemet i Hus 1 för en vecka.*



*Figur 4b.
Styrsignalen för styrventil i tappvarmvattensystemet i Hus 2 för en vecka.*

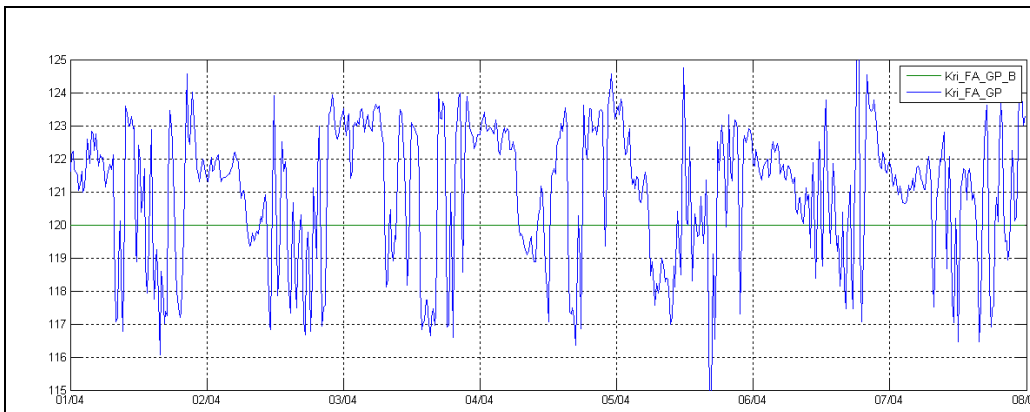
Regel 3 gäller undertrycket i frånluftkanalen:

$$|P_{RA} - P_{RA,SET}| < \Delta P_{RA} \quad (3)$$

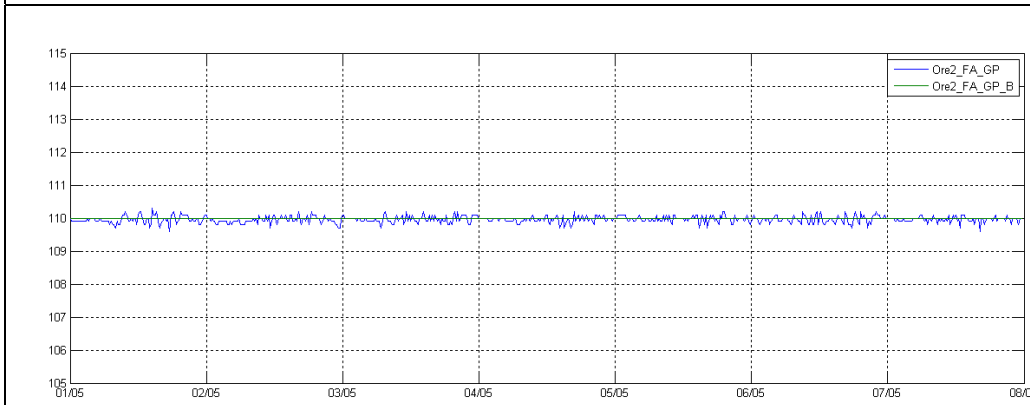
Avvikelsen mellan undertrycket i frånluftkanalen och dess börvärde ska inte vara för stor. En avvikelse kan tyda på reglerproblem, trasig fläkt, underdimensionering eller försmutsat filter. Ett för lågt undertryck leder till för låga luftflöden vilket påverkar luftkvaliteten i huset. Risk finns också att frånluftbatteriet påfrostas och värmepumpen stannar.

I figur 5 redovisas diagram för undertrycket och dess börvärde i de båda husen för en vecka. I hus 1 är börvärdet 120 Pa, i hus 2 110 Pa. Regleringen är bättre i hus 2.

Ett rimligt parametervärde, ΔP_{RA} , är 10 Pa vilket betyder att den filtrerade signalen får variera mellan 110 och 130 respektive 100 och 120 Pa i de två anläggningarna.



Figur 5a.
Undertrycket i frånluftkanalen i Hus 1 för en vecka.



Figur 5b.
Undertrycket i frånluftkanalen i Hus 2 för en vecka.

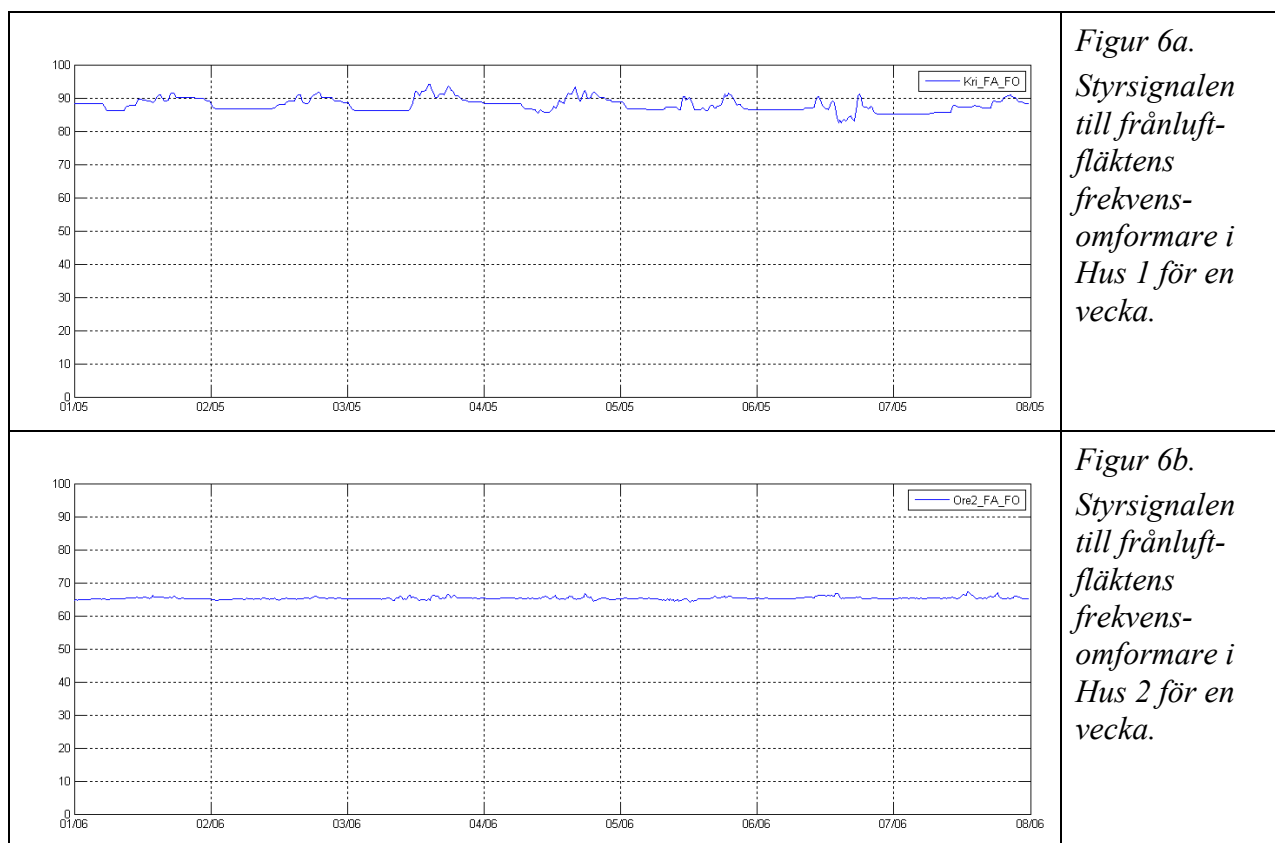
Regel 4 gäller styrsignalen till frånluftfläktens frekvensomformare:

$$U_E < U_{RAF} < 100 - U_E \quad (4)$$

Signalen som styr frånluftfläktens frekvensomformare ska inte vara 0 %. Det ska hela tiden finnas ett frånluftflöde i ett bostadshus. Signalen ska inte heller vara 100 % eftersom det betyder att systemet då utnyttjar sin maximala kapacitet och risk finns att börvärdet för undertrycket i kanalen inte kan hållas. En sådan situation indikerar någon av följande avvikelser; reglerproblem, trasig fläkt, underdimensionering eller försmutsat filter

I figur 6 redovisas diagram för styrsignalen i de båda husen för en vecka. Dagtid försöker signalen varva upp frekvensomformaren något för att möta det minskade undertrycket då köksventilation forceras.

Parametervärdet, U_E , sätts (som tidigare redovisats) till 1%-enhet.



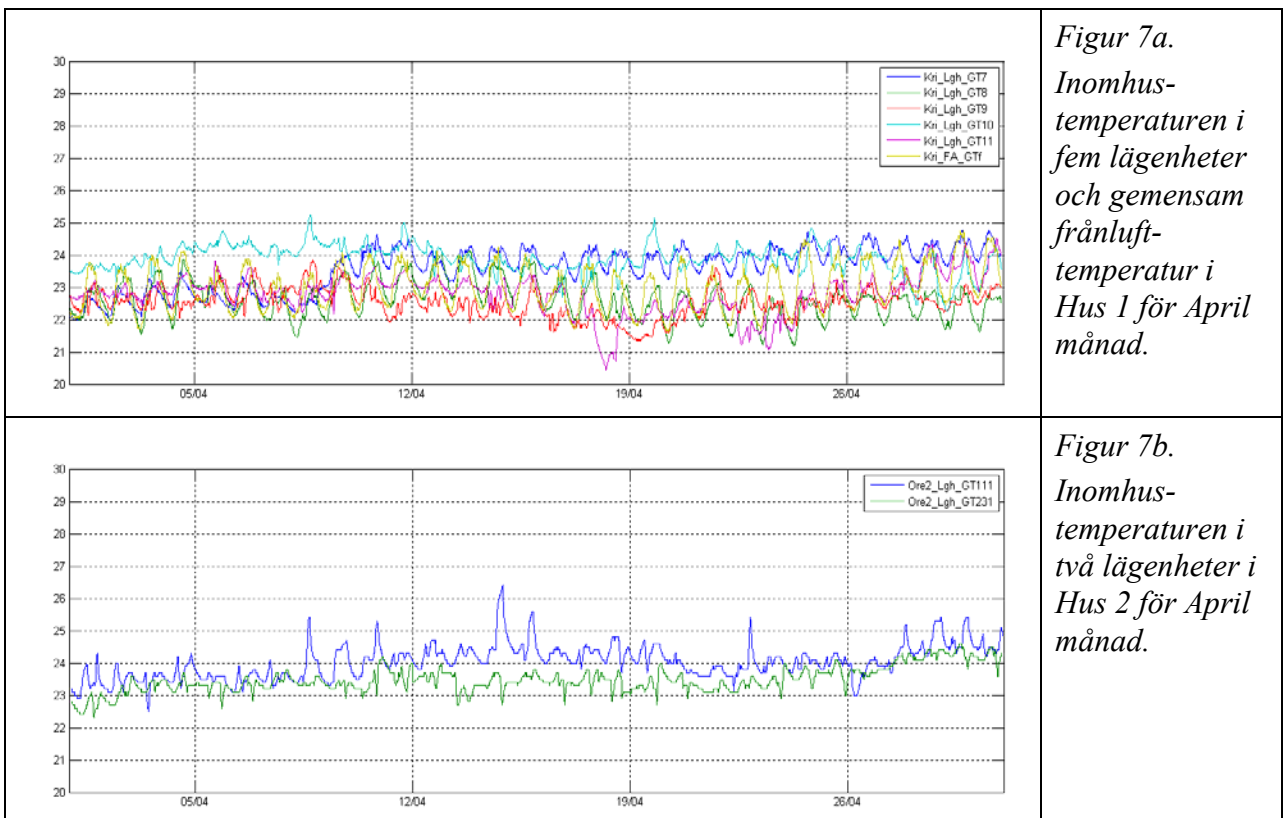
Regel 5 gäller inomhustemperaturen:

$$T_{IA,MIN} < T_{IA} < T_{IA,MAX} \quad (5)$$

Inomhustemperaturen ska inte vara för låg eller för hög. Det kan vara en indikation på att värmesystemet är feldimensionerat eller dåligt injusterat, att cirkulationspumpen stannat, att börvärdet för framledningstemperatur är felinställt eller att utomhustemperaturgivaren är trasig. Överdriven vädring under vintern kan leda till låga temperaturer. Temperaturen kan kortvarigt bli hög vid en värmebölja om brukaren är bortrest eller då många personer vistas i lägenheten.

I figur 7 redovisas diagram för inomhustemperaturen under april månad 2009 uppmätta med de givare som finns installerade i husen.

Parametervärdet $T_{IA,MIN}$ sätts till $+20^{\circ}\text{C}$ och $T_{IA,MAX}$ till $+28^{\circ}\text{C}$.



Regel 6 är samma regel som 5 men tillämpad med en annan givare (Hus 2 som användes vid konstruktion av reglerna har två lägenhetsgivare).

Regel 7 gäller också inomhustemperaturen:

$$|T_{IA,1} - T_{IA,2}| < \Delta T_{IA} \quad (7)$$

Skillnaden mellan två lägenhetstemperaturer ska inte vara för stor. Återigen kan detta tyda på att värmesystemet är feldimensionerat eller dåligt injusterat. Överdriven vädring under vintern kan leda till låga temperaturer. Temperaturen kan kortvarigt bli hög vid en värmebölja om brukaren är bortrest eller då många personer vistas i lägenheten.

Ett rimligt parametervärde, ΔT_{IA} , är 4°C vilket innebär att de två lägenhetstemperaturgivarna får avvika 4°C från varandra efter filtrering.

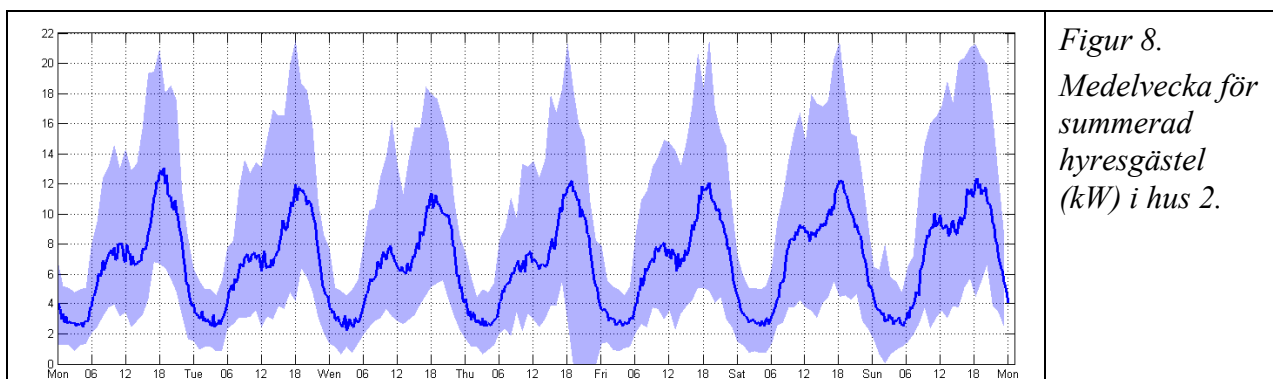
Regel 8 gäller den totala eleffekten för alla hyresgäster i byggnaden:

$$E_{D,MIN} < E_D < E_{D,MAX} \quad (8)$$

Eleffekten till hyresgäster ska inte vara för låg eller för hög. Det kan det tyda på att givaren mäter fel. Denna regel ger också en indikation på om byggnaden används normalt. Om inte alla lägenheter är inflyttade är effekten lägre.

Figur 8 visar medelveckan för en sju månadersperiod för den summerade hyresgästeffekten för alla 30 lägenheter i hus 2. Linjen visar medelvärdet för varje tidssteg. Fälten visar min- och maxvärden för varje tidssteg. På natten är effekten låg. På morgonen stiger den kraftigt för att plana ut under förmiddagen. På eftermiddag/kväll stiger den ytterligare för att nå sin topp omkring kl 18-19. Alla dagar har ett likartat utseende. Effekten under helgerna skiljer något från veckodagarna genom att den stiger senare på morgonen men till en högre nivå under förmiddagen.

Rimliga parametervärden är, $E_{D,MIN} = 1 \text{ kW}$ och $E_{D,MAX} = 25 \text{ kW}$ vilket för hus 2 motsvarar cirka 0.5 respektive 10 W/m^2 .



Figur 8.
Medelveckan för
summerad
hyresgästel
(kW) i hus 2.

Upplösningen på elenergimätarna för hyresgästelen i hus 1 är för dålig för att kunna testa denna regel med 15-minutersvärden.

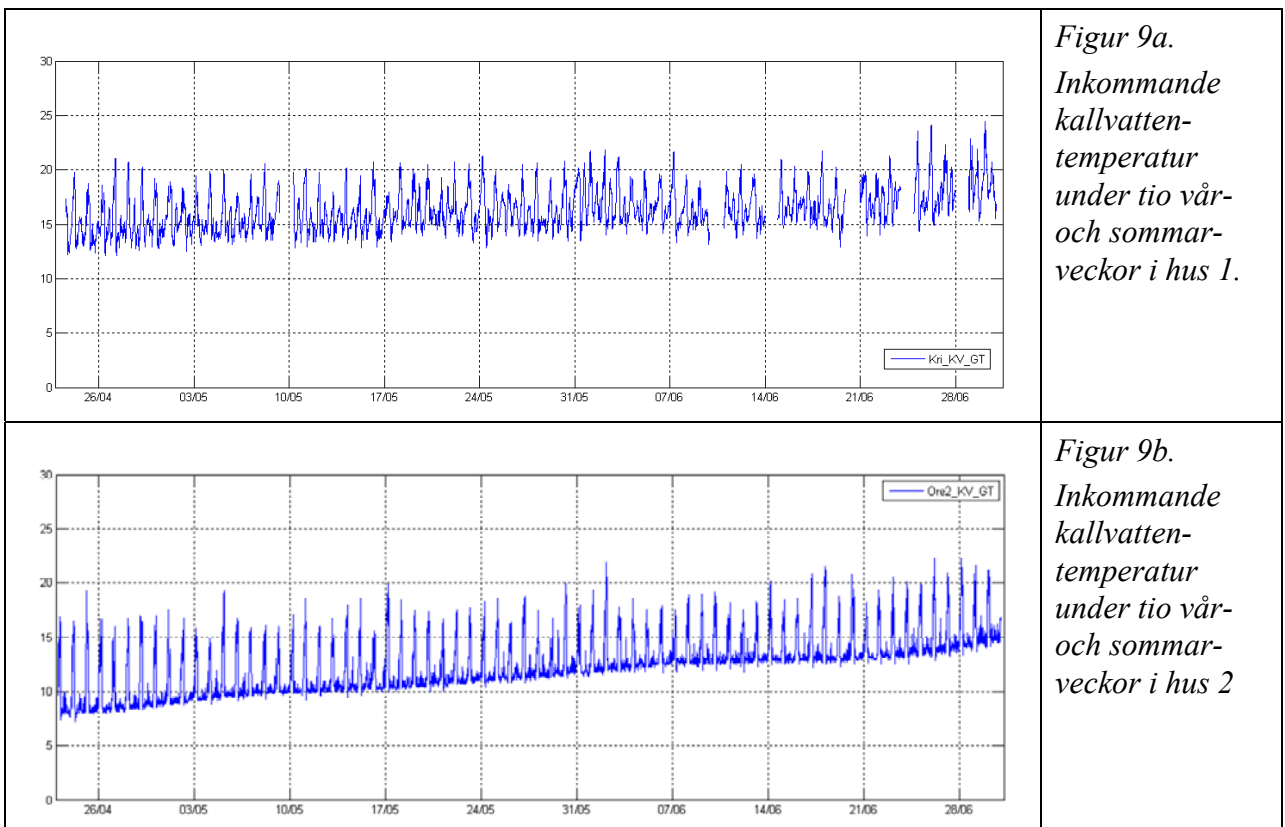
Regel 9 gäller inkommande kallvattentemperatur:

$$T_{CTW,MIN} < T_{CTW} < T_{CTW,MAX} \quad (9)$$

Den inkommande kallvattentemperaturen ska inte vara för hög eller för låg. För låg temperatur medför risk för frysning. För hög temperatur är troligen inte bra ur hälsosynpunkt och uppskattas troligen inte av hyresgästerna.

Figur 9 redovisar inkommande kallvattentemperatur för tio vår- och sommarveckor i hus 1 respektive hus 2. Hus 1 ligger i Skåne och hus 2 i Mälardalen. ”Spikarna” inträffar nattetid då inget tappvattenuttag sker och givarens mätvärde närmar sig rumstemperaturen eftersom det inte finns något vätskeflöde.

Rimliga parametervärden för den filtrerade signalen är $T_{CTW,MIN} = +3^{\circ}\text{C}$ och $T_{CTW,MAX} = +20^{\circ}\text{C}$.



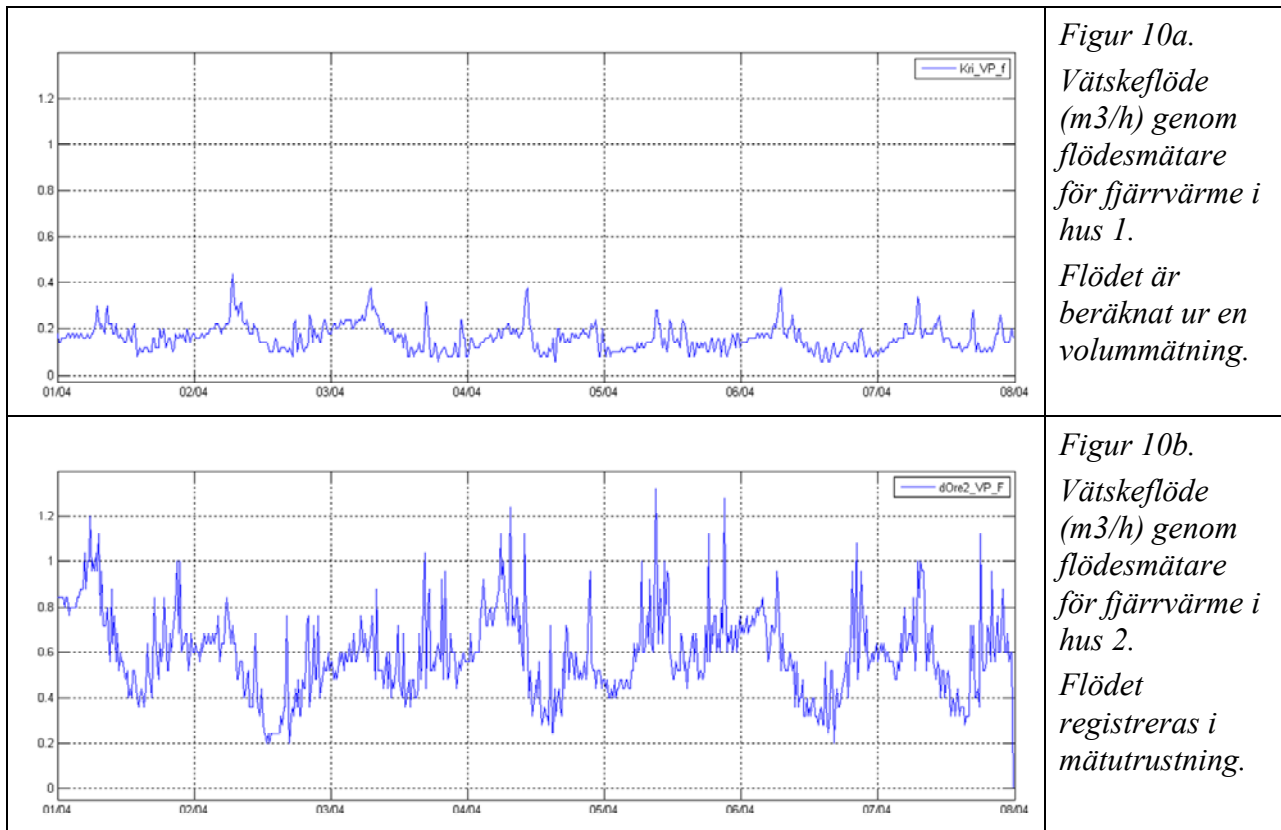
Regel 10 gäller flödesmätaren för fjärrvärme:

$$0 < F_{PW} \quad (10)$$

Flödet genom mätaren ska alltid vara större än 0. Eftersom husen har en slinga för varmvatten som ska hålla +55°C och som kyls då vattnet cirkuleras i huset kommer det att behöva strömma ett litet flöde genom flödesmätaren även varma dagar utan uppvärmningsbehov.

Flödet erhålls antingen genom direkt registrering i mätutrustningen (hus 2) eller via en beräkning där differensen mellan två på varandra följande mätvärden av den ackumulerande volymmätaren multipliceras med antalet mätvärden per timme.

Figur 10 redovisar flödet under en vårvecka för hus 1 respektive hus 2.

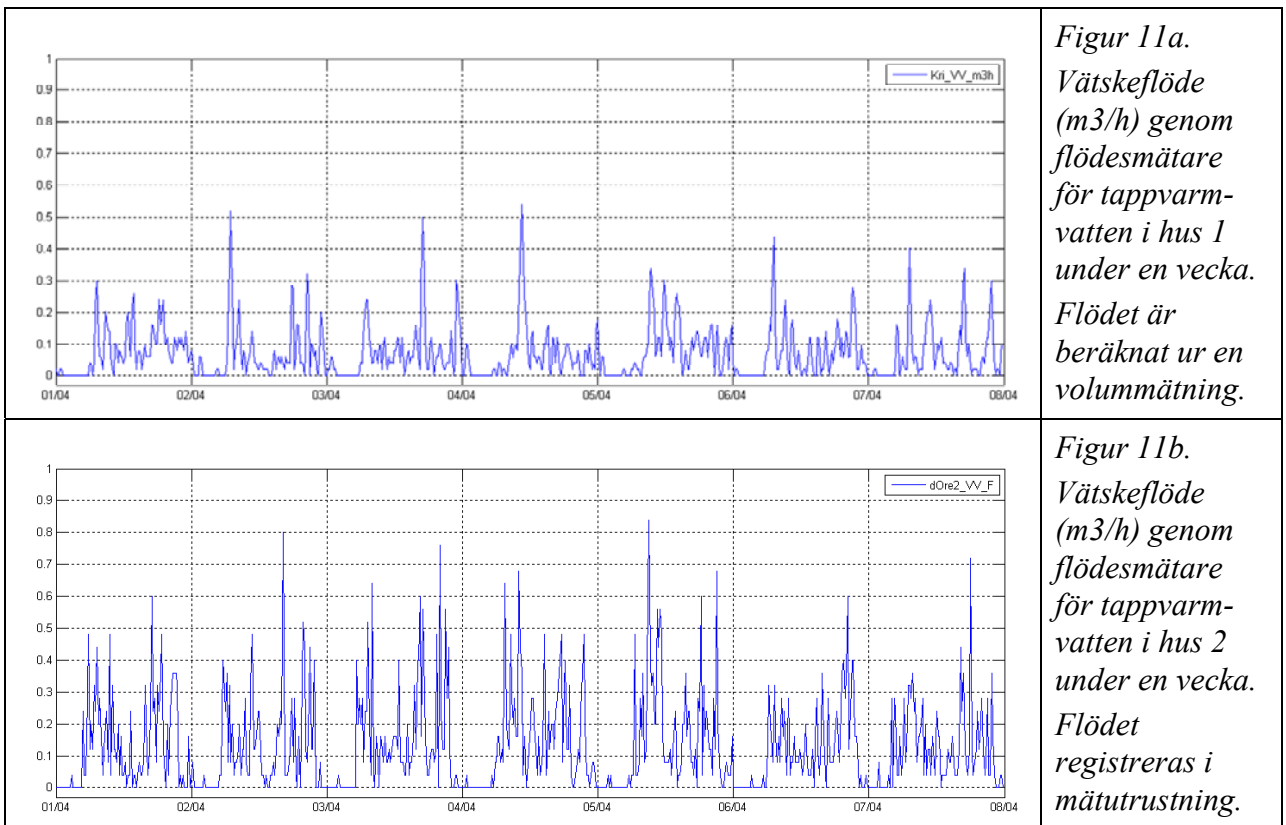


Regel 11 gäller flödesmätaren för tappvarmvatten:

$$0 \leq F_{TW} \quad (11)$$

Flödet genom mätaren ska alltid vara lika med eller större än 0. Om flödet är lägre än noll är det en indikation på att mätningen inte fungerar som tänkt.

Figur 11 redovisar varmvattenflödet i de två husen under en vecka.



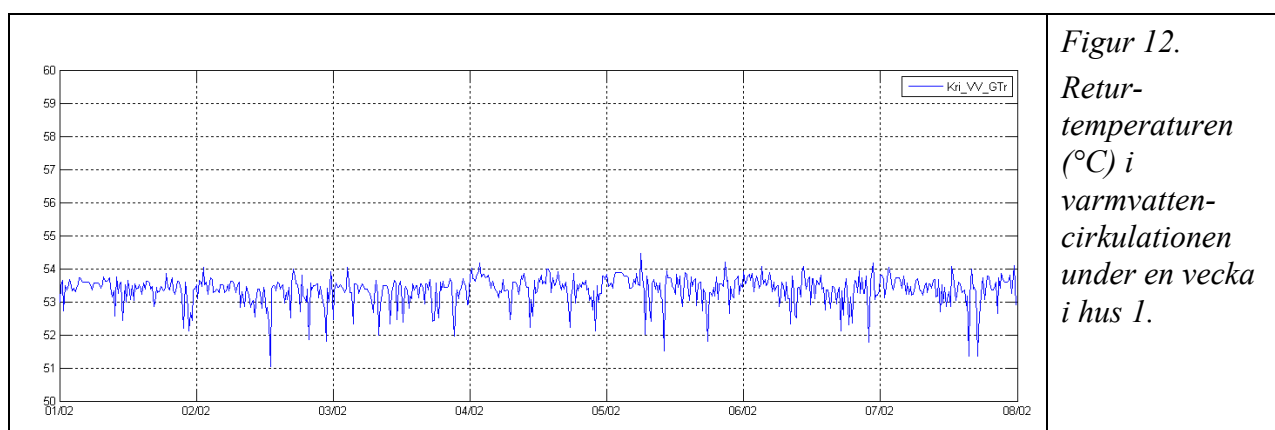
Regel 12 gäller returtemperaturen i varmvattencirkulationen:

$$T_{RTW,MIN} < T_{RTW} \quad (12)$$

Returtemperaturen ska inte vara för låg eftersom det kan leda till hälsorisker. Låg returtemperatur kan indikera att framledningstemperaturen är för låg, att flödet är för lågt och att rörförlusterna är onödigt stora.

Ett rimligt parametervärde, $T_{RTW,MIN}$, är +50°C.

Figur 12 redovisar returtemperaturen i hus 1 under en vecka.



I hus 2 saknas mätning av returtemperaturen.

Regler för driftfall 1; värmepump i drift och fjärrvärme reglerar

I detta driftfall är värmepumpen i drift och fjärrvärmen reglerar för att hålla rätt framledningstemperatur till radiatorsystemet.

Regel 13 gäller avkylningen på undercentralens primärsida:

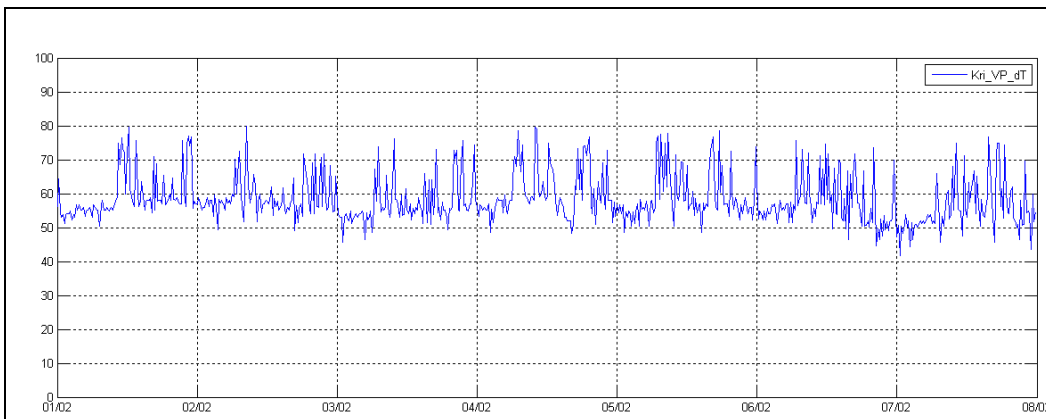
$$\Delta T_{PW,MIN} < T_{PSW} - T_{PRW} \quad (13)$$

Avkylningen ska vara så stor som möjligt. En liten avkylning medför att flödet på primärsidan måste höjas eller att framledningstemperaturen måste höjas. Detta medför ökat behov av pumpel respektive större rörförluster i fjärrvärmenätet.

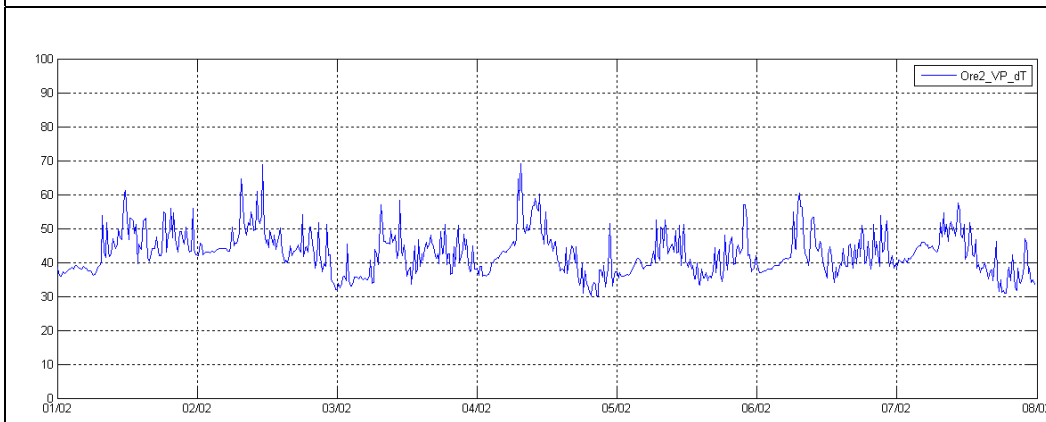
En liten avkylning kan indikera dålig injustering eller försmutsade värmeväxlare. I hus med frånluftvärmepump och fjärrvärme som värmespets är avkylningen i regel lägre än i hus med enbart fjärrvärme.

I figur 13 redovisas avkylningen för de två husen under en vintervecka. Avkylningen är betydligt bättre i hus 1 än i hus 2.

Ett rimligt parametervärde, $\Delta T_{PW,MIN}$, kan vara 30°C.



*Figur 13a.
Temperatur-
differens
mellan
inkommande
och utgående
fjärrvärme i
hus 1 under
en vinter-
vecka.*



*Figur 13b.
Temperatur-
differens
mellan
inkommande
och utgående
fjärrvärme i
hus 2 under
en vinter-
vecka.*

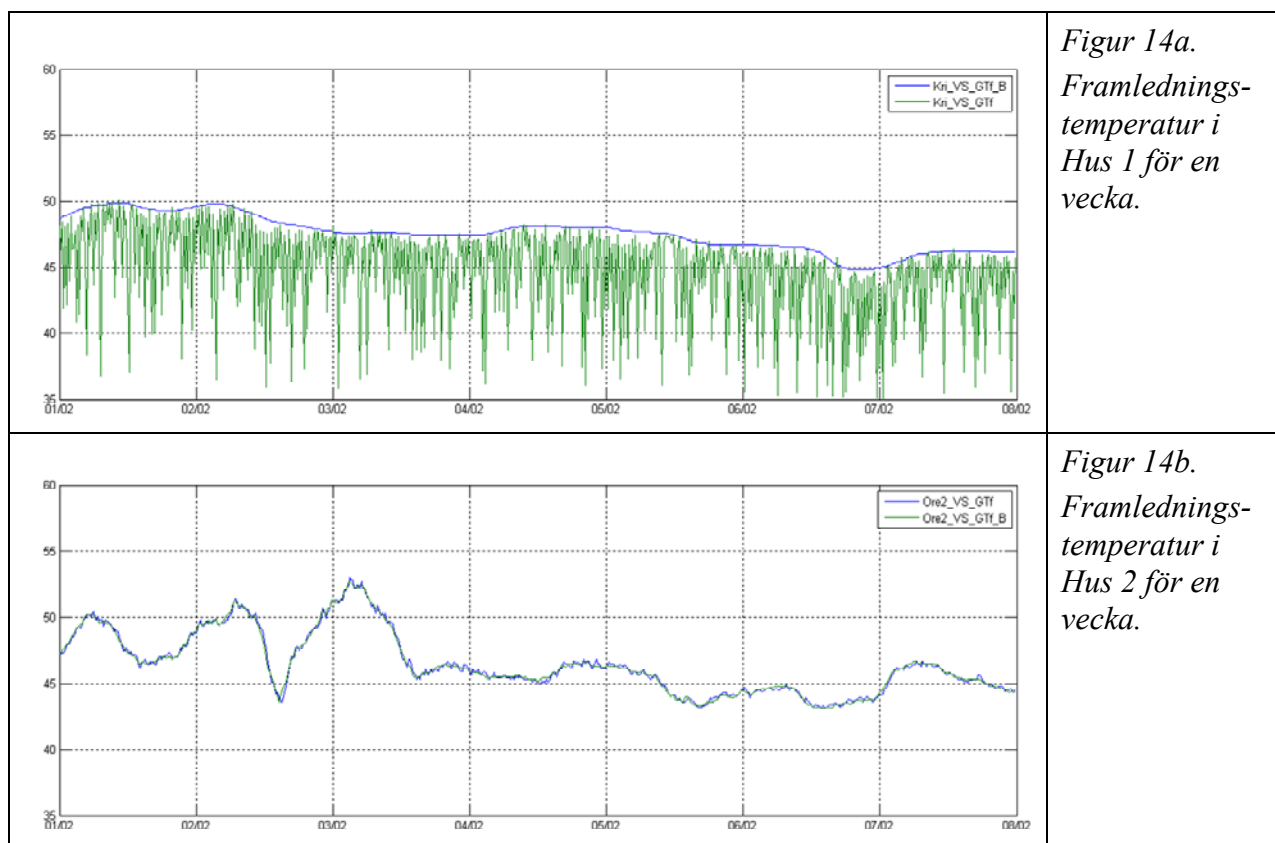
Regel 14 gäller temperaturen i radiatorsystemet:

$$|T_{SSW} - T_{SW,SET}| < \Delta T_{SW} \quad (14)$$

Avvikelsen mellan framledningstemperaturen till radiatorsystemet och dess börvärde ska inte vara för stor. En avvikelse kan tyda på reglerproblem eller underdimensionering. Varaktigt för låg framledningstemperatur kan medföra låg inomhustemperatur. Varaktigt hög framledningstemperatur kan leda till övervärmning och ökar rörförlusterna. Stora svängningar ökar slitaget på utrustningen.

I figur 14 redovisas diagram för framledningstemperaturen till radiatorsystemet för hus 1 respektive hus 2. Börvärdet varierar med utomhustemperaturen. Systemen reglerar för att hålla detta börvärde. Regleringen i hus 1 är orolig och framledningstemperaturen når inte upp till börvärdet. Börvärdet i hus 1 är filtrerat.

Ett rimligt parametervärde, ΔT_{SW} , kan vara 3°C. Observera återigen att det är den filtrerade signalen som används för att testa regeln.



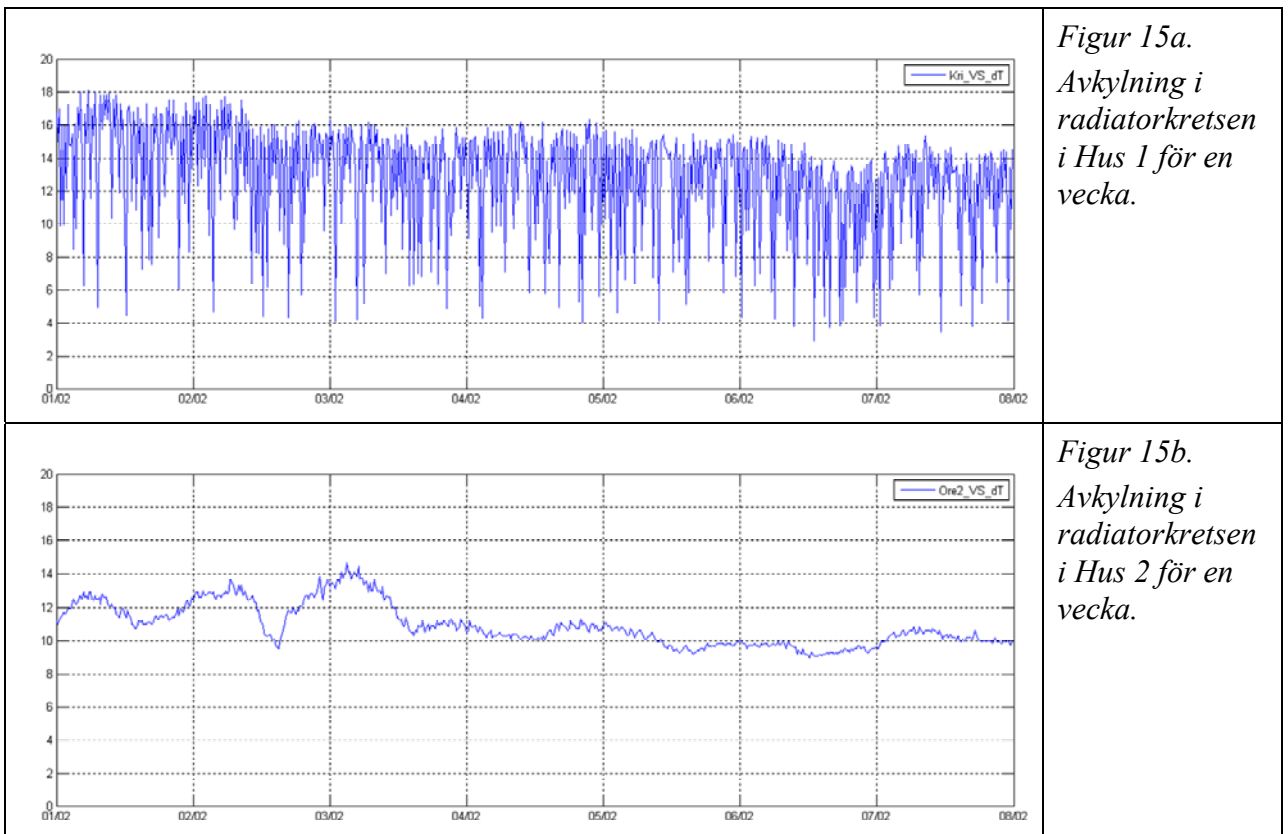
Regel 15 gäller avkylningen i radiatorkretsen:

$$\Delta T_W < T_{SSW} - T_{SRW} \quad (15)$$

Temperaturen till radiatorerna ska i detta driftfall vara högre än temperaturen från radiatorsystemet. En liten skillnad kan indikera för högt flöde, kortslutning i radiatorkretsen, pumpstopp, reglerproblem eller trasiga givare.

I figur 15 redovisas diagram för skillnaden mellan framlednings- och returtemperaturen till radiatorsystemet för hus 1 respektive hus 2. I hus 1 är regleringen orolig (se figur 14 tidigare).

Ett rimligt parametervärde, ΔT_W , kan vara 3°C.



Regel 16 gäller styrsignalen till styrventilen för radiatorsystemet:

$$U_E < U_{HWV} < 100 - U_E \quad (16)$$

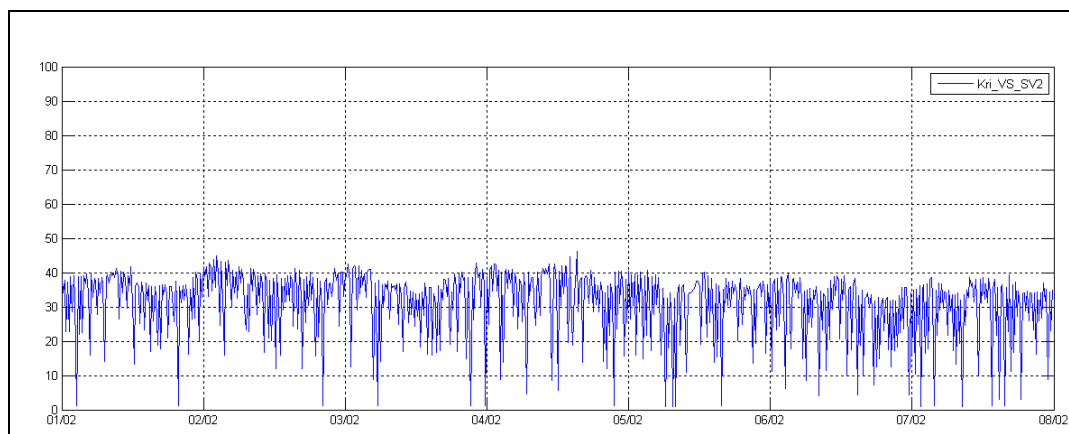
Signalen som styr ventilen för radiatorkretsen ska inte vara 100 % eftersom det betyder att systemet då utnyttjar sin maximala kapacitet och risk finns att börvärdet för framledningstemperaturen inte kan hållas.

Denna regel kan indikera underdimensionering, försmutsade värmeväxlare, felaktig framledningstemperatur eller lågt tryck i fjärrvärmenätet, pumpstopp, trasig ventil, att värmepumpen stannat, reglerproblem eller trasiga givare.

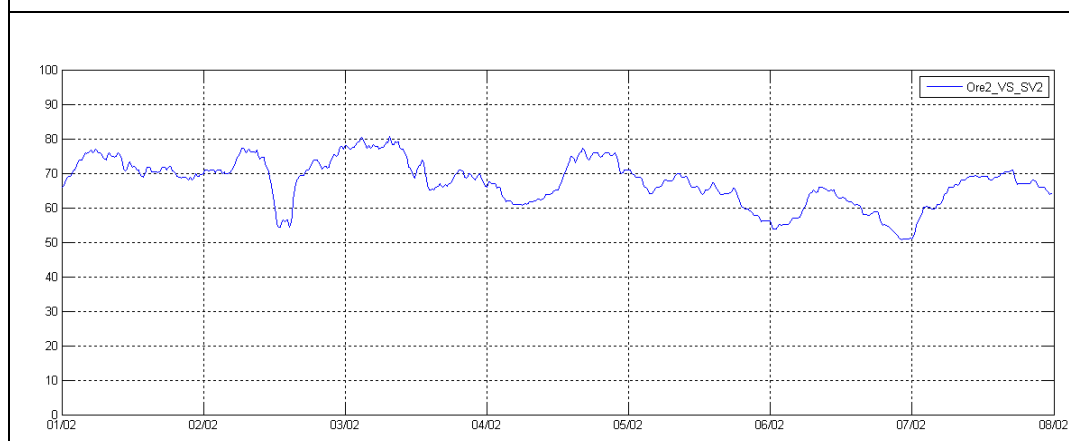
I figur 16 redovisas diagram för styrsignalen i de båda husen för en vecka.

Samma parametervärde, $U_E = 1\%$ -enhet, används för alla regler där styr signaler ingår.

Observera att denna signal används för att avgöra vilket driftfall som råder. Regel 16 skiljer sig dock från detta test genom att också ha en maxbegränsning. Om regeln endast innehållit en miniminivå hade regeln alltid vara uppfylld.



*Figur 16a.
Styrsignalen
för styrventil
i radiator-
systemet i
Hus 1 för en
vecka.*



*Figur 16b.
Styrsignalen
för styrventil
i radiator-
systemet i
Hus 2 för en
vecka.*

Regel 17 gäller utomhustemperaturen

$$T_{OA,MIN1} < T_{OA} < T_{OA,MAX1} \quad (17)$$

En granskning av energisignaturen visar att värmebehovet har ett starkt beroende av utomhustemperaturen. I detta driftfall då värmepumpen är i drift och fjärrvärmens reglerar kan vi bestämma ett rimligt intervall hos utomhustemperaturen.

Denna regel kan indikera att utomhusgivaren är trasig eller att den är placerad så att den utsätts för solstrålning.

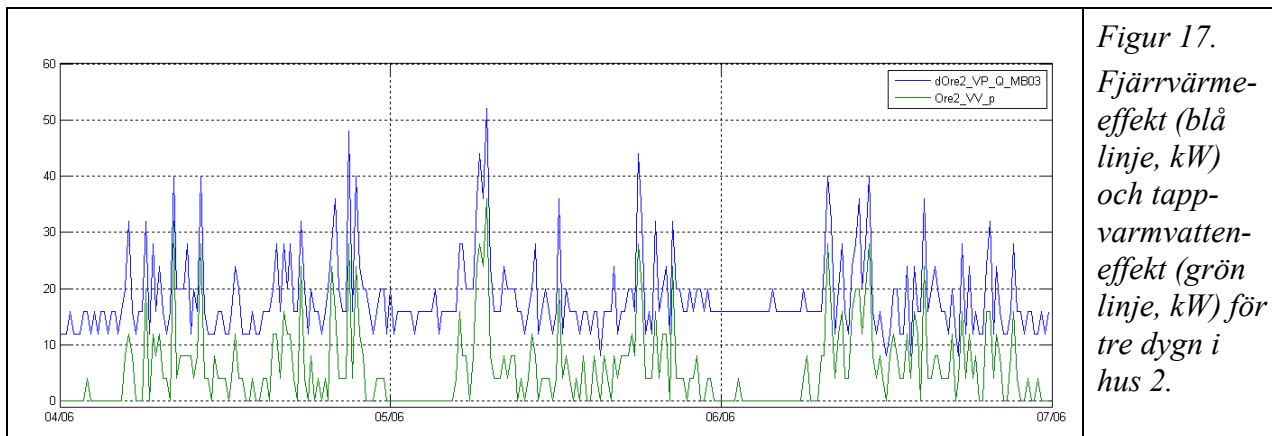
Rimliga parametervärden beror bland annat på storleken hos värmepumpen men kan vara, $T_{OA,MIN1} = -30^{\circ}\text{C}$ och $T_{OA,MAX1} = 15^{\circ}\text{C}$.

Regel 18 gäller energimätningen:

$$Q_{TW} < Q_{PW} \quad (18)$$

I detta driftfall ska den köpta fjärrvärmeeffekten vara större än tappvarmvatteneffekten eftersom tappvarmvatteneffekten ingår i fjärrvärmeeffekten. Regeln kan indikera fel på mätutrustningen.

I figur 17 redovisas köpt fjärrvärmeeffekt och tappvarmvatteneffekt för några dagar i hus 2.



Eftersom mätningen av tappvarmvatteneffekten i hus 1 är osäker redovisas ingen information från detta hus.

Regel 19 gäller fastighetselen:

$$E_{S,MIN1} < E_S < E_{S,MAX1} \quad (19)$$

Eleffekten för att försörja fastighetens system bör inte vara för låg eller för hög.

Den beräknas genom att subtrahera summan av alla hyresgästelmätare från total eleffekt in till huset.

I hus 1 är upplösningen på hyresgästelmätarna dålig vilket skapar en signal som svänger kraftigt, i vissa fall ned till negativa värden. I hus 2 fås samma effekt men där är det upplösningen på elmätaren för total el in i huset som är bristfällig.

Rimliga parametervärden kan i dessa hus vara, $E_{S,MIN1} = 1 \text{ kW}$ och $E_{S,MAX1} = 25 \text{ kW}$. I fastighetselen ingår el till värmepumpen.

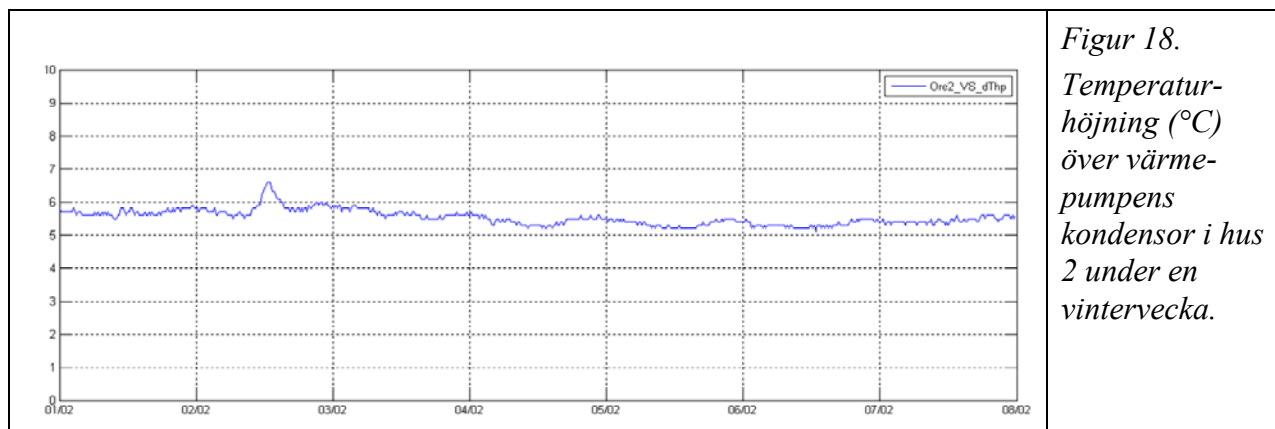
Regel 20 gäller temperaturhöjningen över kondensorn:

$$\Delta T_{HP} < T_{HHP} - T_{SWR} \quad (20)$$

Värmepumpens kondensorsida ska i detta driftfall höja returtemperaturen på vattnet från radiatorkretsen med ett visst antal grader. En för liten temperaturhöjning kan indikera att värmepumpen fungerar dåligt eller har stannat, för högt flöde, att någon av cirkulationspumparna stannat eller att någon av givarna är trasiga.

Figur 18 redovisar temperaturhöjningen i hus 2 under en vecka.

Ett rimligt paramtervärde, ΔT_{HP} , kan vara 4°C .



Figur 18.
Temperaturhöjning ($^\circ\text{C}$) över värmepumpens kondensorn i hus 2 under en vintervecka.

I hus 1 saknas givare efter värmepumpen vilket gör att denna regel inte kan testas.

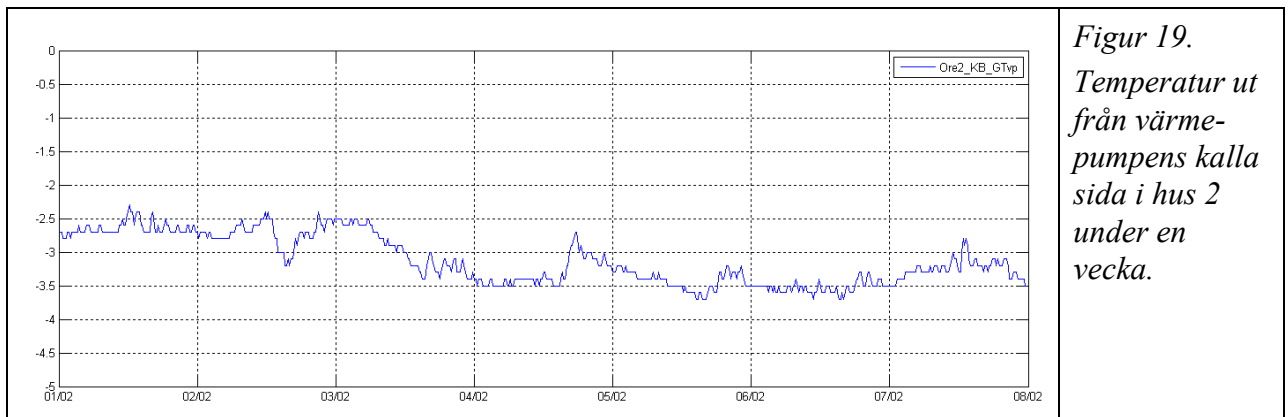
Regel 21 gäller temperaturen på värmepumpens kalla sida:

$$T_{CHP} < T_{CHP,MAX} \quad (21)$$

Temperaturen ska i detta driftfall inte vara för hög. Regeln kan indikera att värmepumpen fungerar dåligt eller stannat, att cirkulationspumpen stannat eller att givaren är trasig.

I figur 19 redovisas temperaturen ut från värmepumpens kalla sida under en vecka.

Ett rimligt parametervärde, T_{CHP} , kan vara 0°C .



*Figur 19.
Temperatur ut
från värmepumpens
kalla sida i hus 2
under en
vecka.*

I hus 1 saknas givare efter värmepumpen vilket gör att denna regel inte kan testas.

Regel 22 gäller temperaturen i undercentralen:

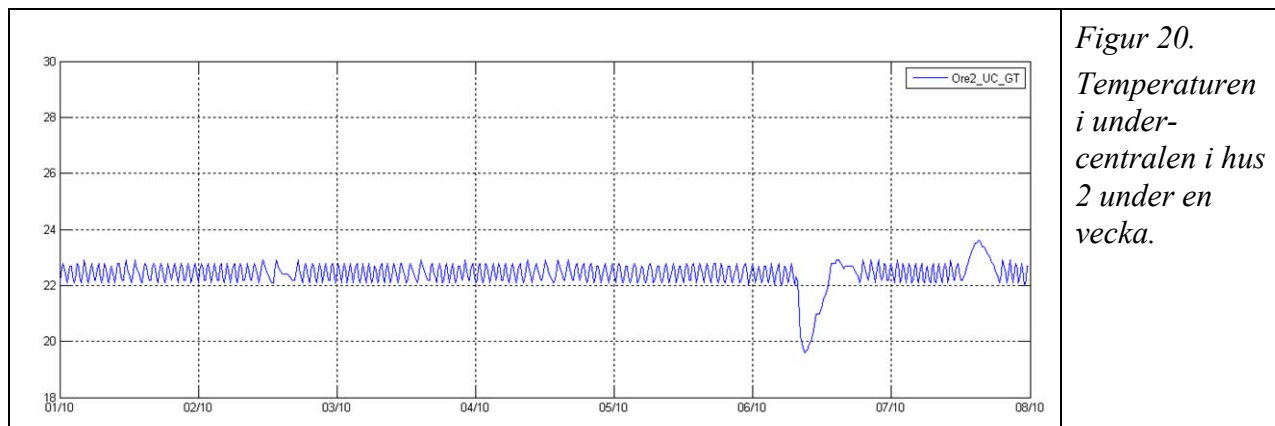
$$T_{PR,MIN} < T_{PR} < T_{PR,MAX} \quad (22)$$

Temperaturen i undercentralen styrs att hålla $+22.5^{\circ}\text{C}$ genom att variera varvtalet på en frånluftfläkt och därmed mängden uteluft som sugas in i rummet. I detta driftfall är det kallt ute och därför finns kyleffekt tillgängligt. Värmen tillförs genom rörförluster.

Regeln kan indikera överdrivna rörförluster, trasig frånluftfläkt eller givare.

I figur 20 redovisas rumstemperaturen för en vintervecka.

Rimliga parametervärden kan vara, $T_{PR,MIN} = +20^{\circ}\text{C}$ och $T_{PR,MAX} = +25^{\circ}\text{C}$.



I hus 1 saknas givare i undercentralen vilket gör att denna regel inte kan testas.

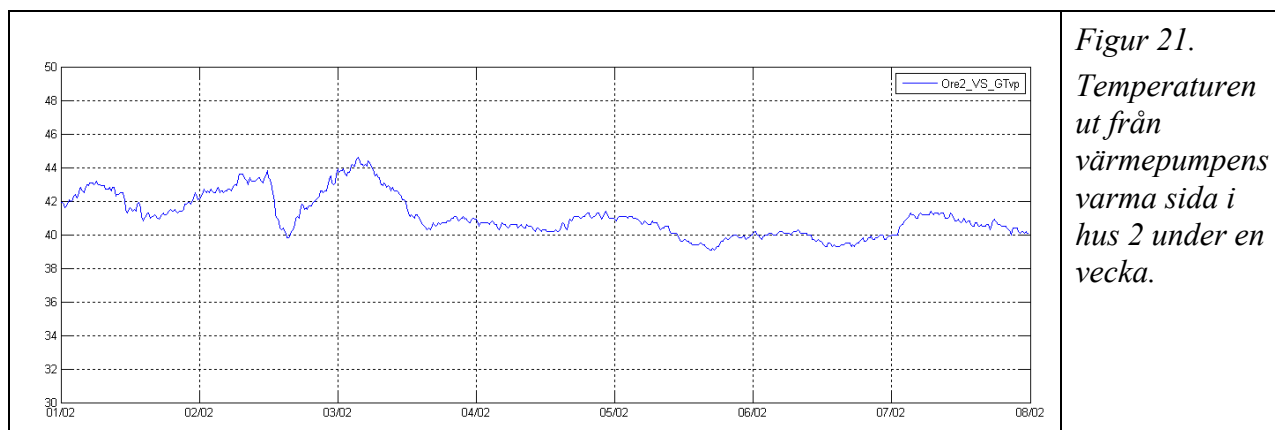
Regel 23 gäller temperaturen ut från värmepumpens varma sida:

$$T_{HHP} < T_{HHP,MAX} \quad (23)$$

Temperaturen ut från värmepumpens kondensator får inte bli för hög eftersom risk då finns att den skadas eller löser ut på grund av för högt tryck. Regeln kan indikera felaktig funktion hos värmepumpen.

I figur 21 redovisas temperaturen för en vintervecka.

Ett rimligt parametervärde, T_{CHP} , kan vara $+55^{\circ}\text{C}$. Värmepumpen ska enligt driftkort stängas av om returtemperaturen in i värmepumpen överstiger $+48^{\circ}\text{C}$ och återstarta då temperaturen sjunker under $+47^{\circ}\text{C}$.



I hus 1 saknas givare efter värmepumpen vilket gör att denna regel inte kan testas.

Regel 24 gäller eleffekten till värmepumpen:

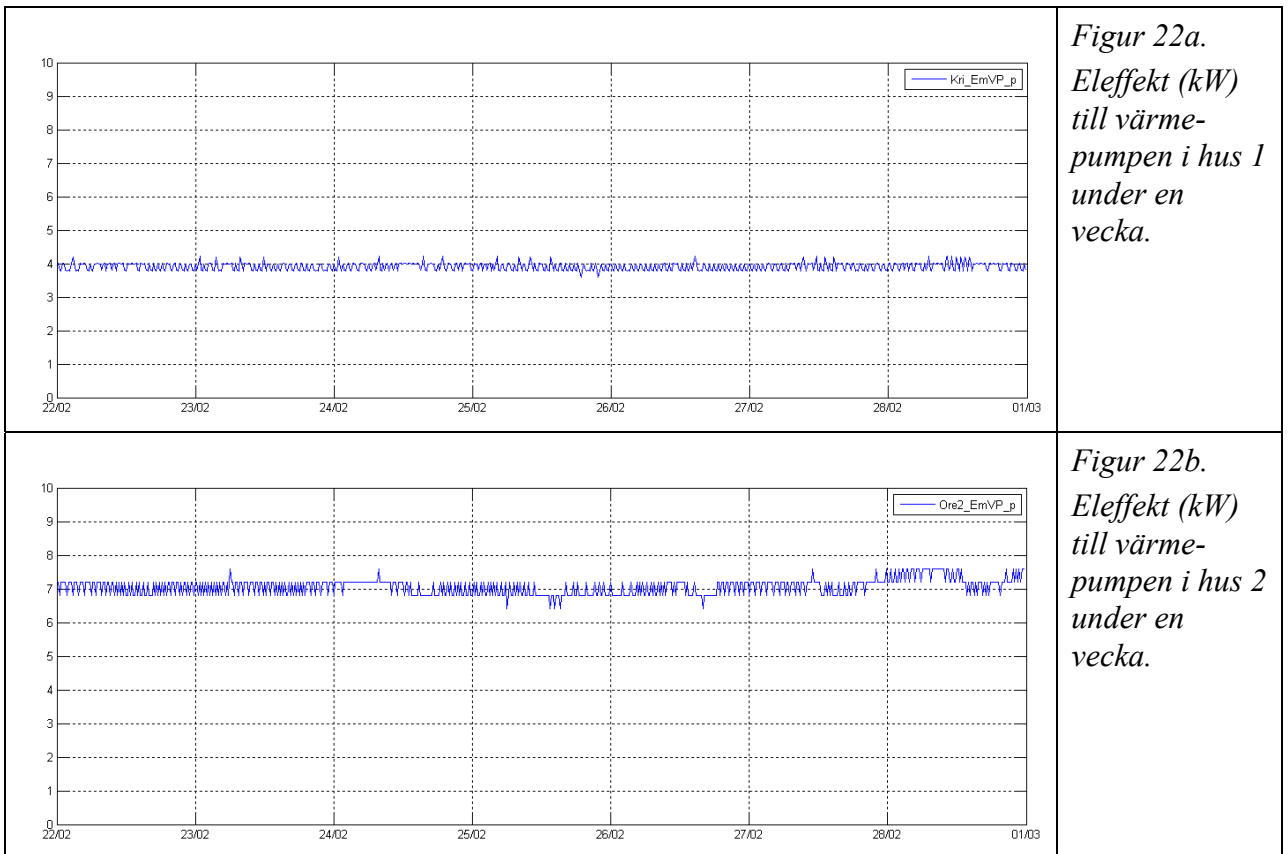
$$E_{HP,MIN} < E_{HP} < E_{HP,MAX} \quad (24)$$

I detta driftfall ska värmepumpen vara i drift. Om elanvändningen understiger en viss nivå betyder det att värmepumpen stannat. Detta medför att byggnadens energianvändning ökar kraftigt. Om elanvändningen överstiger en viss nivå kan detta indikera fel på mätutrustningen.

Figur 22 redovisar el till värmepumpen för en vecka i de två husen. Hus 1 har en betydligt mindre värmepump.

Rimliga parametervärden kan vara, $E_{HP,MIN} = 3 \text{ kW}$ och $E_{HP,MAX} = 8 \text{ kW}$. Med dessa värden täcks båda husens värmepumpar in.

Observera att signalen E_{HP} används för att bestämma driftfallet. Om E_{HP} är större än 2 kW föreligger driftfall 1 eller 2. Regeln ställer, med angivna parametervärden, dock ett strängare krav varför regeln ändå kan indikera ett fel.



Regel 25 gäller kondensoreffekten från värmepumpen:

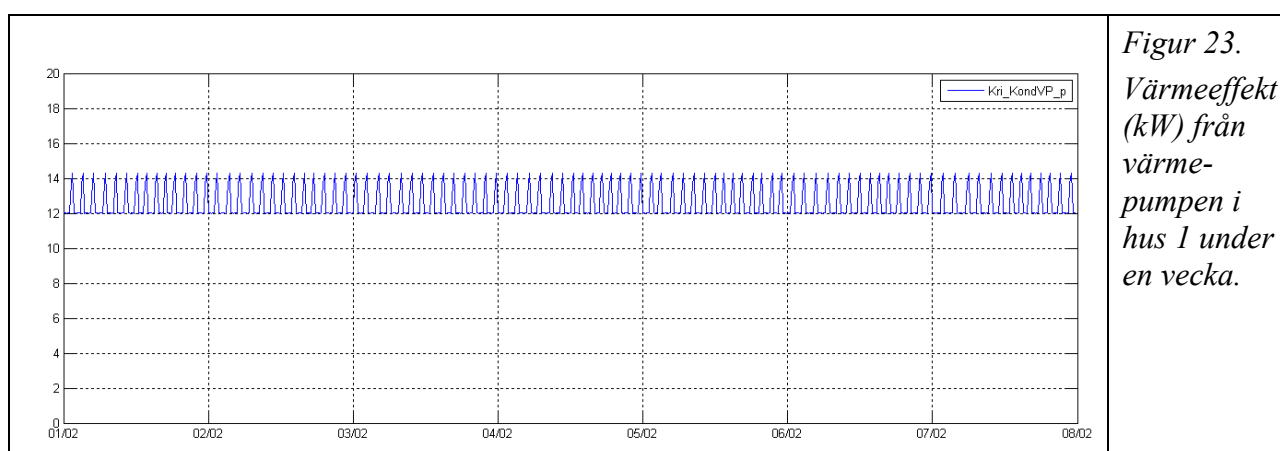
$$Q_{HP,MIN} < Q_{HP} \quad (25)$$

Värmeeffekten från värmepumpens kondensator bör överstiga en viss nivå. Regeln indikerar fel på värmepump eller mätutrustning.

Figur 23 redovisar värmeeffekten från kondensorn i hus 1 under en vecka då den är i drift.

Ett rimligt parametervärde, $Q_{HP,MIN}$, kan vara 10 kW för värmepumpen i hus 1.

Detta är samma regel som 35 som infaller i driftfall 2.



Kondensoreffekten mäts inte i hus 2.

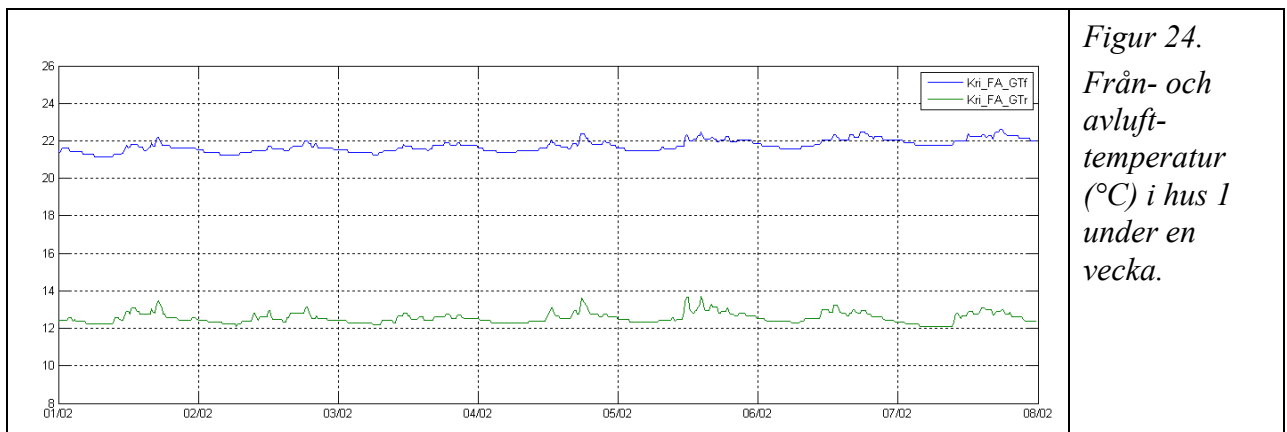
Regel 26 gäller avlufttemperaturen:

$$T_{EA} < T_{EA,MAX} \quad (26)$$

Avlufttemperaturen ska inte vara för hög då värmepumpen är i drift. En hög temperatur indikerar att värmepumpen inte kyler frånluften tillräckligt och kan indikera bristfällig funktion hos värmepumpen eller givarfel. Detta är samma regel som 36 som tillämpas i driftfall 2.

Figur 24 redovisar från- och avlufttemperaturen i hus 1 för en vecka. Variationen hos avlufttemperaturen beror på frånlufttemperaturen, forceringen av luftflödet och returtemperaturen från radiatorsystemet.

Rimligt parametervärde kan i detta fall vara, $T_{EA,MAX} + 15^{\circ}\text{C}$ men beror på värmepumpens storlek.



Hus 2 saknar mätning av avlufttemperaturen.

Regler för driftfall 2; värmepump i drift och fjärrvärmens avstängd

Regel 27 gäller temperaturen i radiatorsystemet:

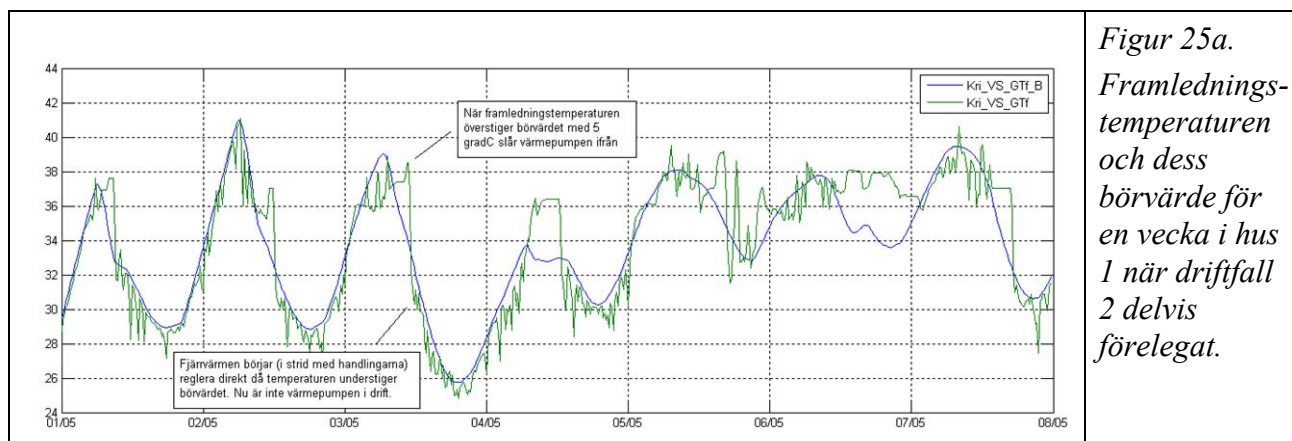
$$|T_{SSW} - T_{SW,SET}| < \Delta T_{SWHP} \quad (27)$$

Detta är samma regel som regel 14. I detta driftfall är dock fjärrvärmens avstängd och endast värmepumpen är i drift. Eftersom den inte reglerar kontinuerligt utan slår av och på får vi acceptera en större regleravvikelse. Enligt handlingarna ska värmepumpen stänga av då framledningstemperaturen överstiger börvärdet med fem grader Celsius och slå på då den understiger börvärdet med samma differens. Fjärrvärmens ska ge tillskott först när framledningstemperaturen understigit börvärdet med fem grader under två timmar.

Avvikelsen mellan framledningstemperaturen till radiatorsystemet och dess börvärde ska inte vara för stor. En avvikelse kan tyda på reglerproblem eller underdimensionering. Varaktigt för låg framledningstemperatur kan medföra låg inomhustemperatur. Varaktigt hög framledningstemperatur kan leda till övervärmning och ökar rörförlusterna. Stora svängningar ökar slitaget på utrustningen.

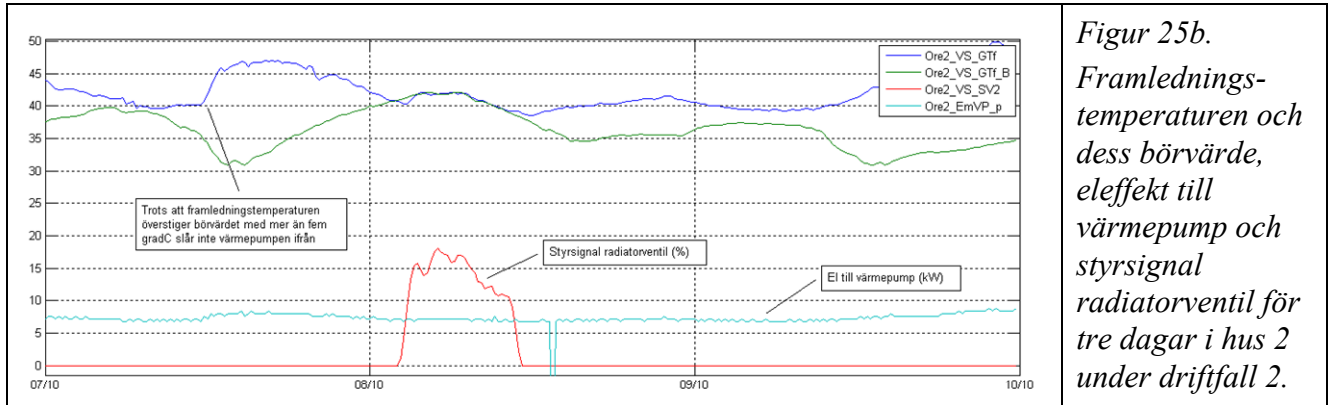
I figur 25a redovisas framledningstemperaturen till radiatorsystemet för hus 1 under en vecka då detta driftfall periodvis förelegat. Börvärdet varierar med utomhustemperaturen. Vid flera tillfällen stiger framledningstemperaturen över börvärdet då värmepumpen ger mer än behovet. När differensen överstiger fem grader Celsius slår värmepumpen ifrån och temperaturen sjunker. Dock börjar fjärrvärmens reglera direkt när börvärdet understigs tvärtemot vad som föreskrivs i handlingarna. Nu är dessutom inte värmepumpen i drift.

Ett rimligt parametervärde, ΔT_{SWHP} , är 6°C.



Figur 25a.
Framledningstemperaturen och dess börvärde för en vecka i hus 1 när driftfall 2 delvis förelegat.

I figur 25b redovisas framledningstemperaturen till radiatorsystemet (blå) och dess börvärde (grön) för hus 2 under tre dagar då detta driftfall förelegat. Dessutom redovisas eleffekten till värmepumpen (kW, cyan) och styrsignalen till radiatorventilen (röd). Börvärdet varierar med utomhustemperaturen. Trots att framledningstemperaturen ofta överstiger börvärdet med mer än fem grader Celsius slår inte värmepumpen ifrån. Under första delen av dag två reglerar radiatorventilen för att möta behovet. Under denna period är anläggningen i driftfall 1.



Regel 28 gäller avkylningen i radiatorkretsen och är samma regel som regel 15:

$$\Delta T_W < T_{SSW} - T_{SRW} \quad (28)$$

Temperaturen till radiatorerna ska i detta driftfall vara högre än temperaturen från radiatorsystemet. En liten skillnad kan indikera för högt flöde, kortslutning i radiatorkretsen, pumpstopp, reglerproblem eller trasiga givare.

I hus 1 sitter returgivaren i rörkretsen vid värmepumpen vilket innebär att när värmepumpen stannar finns inget flöde i denna krets. Returgivaren antar då värden som inte går att använda.

I hus 2 finns det ingen period med felfri funktion eftersom värmepumpen inte reglerar som den ska.

Ett rimligt parametervärde, ΔT_W , är 3°C d.v.s. samma värde som används i regel 15.

Regel 29 gäller utomhustemperaturen:

$$T_{OA,MIN2} < T_{OA} < T_{OA,MAX2} \quad (29)$$

En granskning av energisignaturen visar att värmebehovet har ett starkt beroende av utomhustemperaturen. I detta driftfall då värmepumpen reglerar och fjärrvärmesystemet är avstängt kan vi bestämma ett rimligt intervall hos utomhustemperaturen.

Denna regel kan indikera att utomhusgivaren är trasig eller att den är placerad så att den utsätts för solstrålning.

Detta är samma regel som regel 17 men med andra temperaturgränser (parametervärden).

Rimliga parametervärden beror bland annat på storleken hos värmepumpen men kan vara, $T_{OA,MIN2} = 0^{\circ}\text{C}$ och $T_{OA,MAX2} = 20^{\circ}\text{C}$.

Regel 30 jämför fjärrvärmeeffekten och tappvarmvatteneffekten:

$$|Q_{PW} - Q_{TW}| < Q_E \quad (30)$$

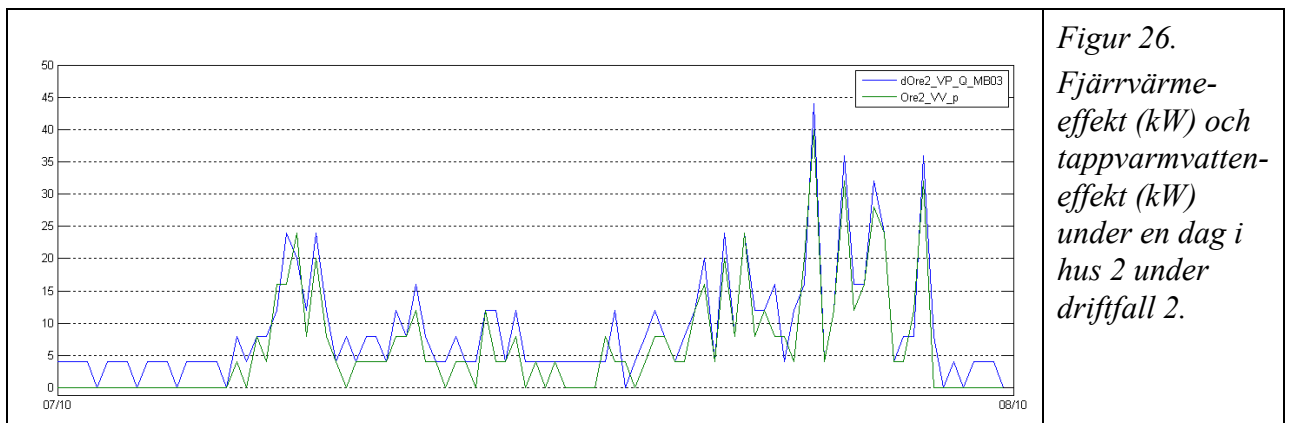
I detta driftfall ska den köpta fjärrvärmens användas för värmning av tappvarmvatten och kompensation för rörförluster. Uppvärmningen av byggnaden sker med värme från värmepumpen.

Regeln kan indikera läckage i fjärrvärmeventilen och fel på mätutrustning.

Figur 26 redovisar fjärrvärmeeffekt och tappvarmvatteneffekt under en dag i hus 2 under detta driftfall. Under natten då inget tappvattenuttag sker är fjärrvärmeeffekten cirka 3 kW högre än tappvarmvatteneffekten vilket beror på rörförlusterna i vvc-slingan och undercentralen.

Upplösningen på mätningarna är 4 kW.

Ett lämpligt parametervärde, Q_E , är 5 kW.



Eftersom mätningen av tappvarmvatteneffekten i hus 1 är osäker redovisas ingen information från detta hus.

Regel 31 gäller fastighetselen:

$$E_{S,MIN2} < E_S < E_{S,MAX2} \quad (31)$$

Eleffekten för att försörja fastighetens system bör inte vara för låg eller för hög.

Den beräknas genom att subtrahera summan av alla hyresgästelmätare från total eleffekt in till huset.

I hus 1 är upplösningen på hyresgästelmätarna dålig vilket skapar en signal som svänger kraftigt, i vissa fall ned till negativa värden. I hus 2 fås samma effekt men där är det upplösningen på elmätaren för total el in i huset som är bristfällig. Detta är samma regel som regel 19 och 41 men med andra parametervärden. Rimliga parametervärden kan vara, $E_{S,MIN2} = 1$ kW och $E_{S,MAX2} = 25$ kW. I fastighetselen ingår el till värmepumpen.

Regel 32 gäller temperaturen i undercentralen:

$$T_{PR,MIN} < T_{PR} < T_{PR,MAX} \quad (32)$$

Temperaturen i undercentralen styrs att hålla $+22.5^{\circ}\text{C}$ genom att variera varvtalet på en frånluftfläkt och därmed mängden uteluft som sugas in i rummet. I detta driftfall är det måttligt kallt ute och därför finns kyleffekt troligen tillgängligt. Värmen tillförs genom rörförluster.

Regeln kan indikera överdrivna rörförluster, trasig frånluftfläkt eller givare. Detta är samma regel som regel 22. Rimliga parametervärden kan vara, $T_{PR,MIN} = +20^{\circ}\text{C}$ och $T_{PR,MAX} = +25^{\circ}\text{C}$.

Regel 33 gäller temperaturen ut från värmepumpens varma sida:

$$T_{HHP} < T_{HHP,MAX} \quad (33)$$

Temperaturen ut från kondensorn får inte bli för hög eftersom risk då finns att den skadas eller löser ut på grund av för högt tryck. Regeln kan indikera felaktig funktion hos värmepumpen.

Detta är samma regel som regel 23. Ett rimligt parametervärde, T_{CHP} , kan vara $+55^{\circ}\text{C}$.

I hus 1 saknas givare efter värmepumpen vilket gör att denna regel inte kan testas.

Regel 34 gäller eleffekten till värmepumpen:

$$E_{HP} < E_{HP,MAX} \quad (34)$$

Om elanvändningen överstiger en viss nivå indikerar detta fel på mätutrustningen.

Ett rimligt parametervärde kan vara, $E_{HP,MAX} = 8$ kW.

Observera att signalen E_{HP} används för att bestämma driftfall. Om E_{HP} är större än 2 kW föreligger driftfall 1 eller 2. Regeln ställer dock ett annat krav varför regeln ändå kan indikera ett fel.

Regel 35 gäller kondensoreffekten från värmepumpen:

$$Q_{HP,MIN} < Q_{HP} \quad (35)$$

Värmeeffekten från värmepumpens kondensator bör överstiga en viss nivå. Regeln indikerar fel på värmepump eller mätutrustning.

Ett rimligt parametervärde, $Q_{HP,MIN}$, kan vara 10 kW för värmepumpen i hus 1.

Detta är samma regel som 25 som infaller i driftfall 2.

Kondensoreffekten mäts inte i hus 2.

Hus 2 saknar mätning av avlufttemperaturen.

Regel 36 gäller avlufttemperaturen:

$$T_{EA} < T_{EA,MAX} \quad (36)$$

Avlufttemperaturen ska inte vara för hög då värmepumpen är i drift. En hög temperatur indikerar att värmepumpen inte kyler frånluften tillräckligt och kan indikera bristfällig funktion hos värmepumpen eller givarfel.

Detta är samma regel som regel 26 som tillämpas i driftfall 1.

Rimligt parametervärde kan i detta fall vara, $T_{EA,MAX} + 15^{\circ}\text{C}$ men beror på värmepumpens storlek.

Regler för driftfall 3; värmepump och fjärrvärme avstängd

Regel 37 gäller givarvärden då anläggningen är avstängd

$$|T_{SSW} - T_{PR}| < \Delta T_{PR} \quad (37)$$

I detta driftfall tillförs ingen värme till radiatorsystemet vare sig från fjärrvärmen eller från värmepumpen. Det är då rimligt att framledningstemperaturen antar ungefär samma värde som rumstemperaturen i undercentralen.

Stor skillnad mellan dessa värden kan indikera ventilläckage eller givarfel. Ett rimligt parametervärde, ΔT_{PR} , kan vara 5°C.

I hus 1 saknas temperaturmätning i undercentralen.

Regel 38 gäller givarvärden då anläggningen är avstängd

$$|T_{SRW} - T_{PR}| < \Delta T_{PR} \quad (38)$$

I detta driftfall tillförs ingen värme till radiatorsystemet vare sig från fjärrvärmen eller från värmepumpen. Det är då rimligt att returtemperaturen antar ungefär samma värde som rumstemperaturen i undercentralen.

Stor skillnad mellan dessa värden kan indikera ventilläckage eller givarfel. Ett rimligt parametervärde, ΔT_{PR} , kan vara 5°C.

I hus 1 saknas temperaturmätning i undercentralen.

Regel 39 gäller utomhustemperaturen:

$$T_{OA,MIN3} < T_{OA} < T_{OA,MAX3} \quad (39)$$

En granskning av energisignaturen visar att värmebehovet har ett starkt beroende av utomhustemperaturen. I detta driftfall då ingen värme behöver tillföras till radiatorsystemet kan vi bestämma ett rimligt intervall hos utomhustemperaturen.

Detta är samma regel som regel 17 och 29 men med andra temperaturgränser (parametervärden).

Denna regel kan indikera att utomhusgivaren är trasig eller att den är placerad så att den utsätts för solstrålning. Rimliga parametervärden kan vara, $T_{OA,MIN3} = 10^{\circ}\text{C}$ och $T_{OA,MAX3} = 35^{\circ}\text{C}$.

Regel 40 jämför fjärrvärmeeffekten och tappvarmvatteneffekten:

$$|Q_{PW} - Q_{TW}| < Q_E \quad (40)$$

I detta driftfall ska den köpta fjärrvärmens användas för värmning av tappvarmvatten och kompensation för rörförluster. Ingen värme behövs för värmning av byggnaden.

Regeln kan indikera läckage i fjärrvärmeventilen och fel på mätutrustning. Ett lämpligt parametervärde, Q_E , är 5 kW. Detta är samma regel som 30.

Regel 41 gäller fastighetselen:

$$E_{S,MIN3} < E_S < E_{S,MAX3} \quad (41)$$

Eleffekten för att försörja fastighetens system bör inte vara för låg eller för hög.

Den beräknas genom att subtrahera summan av alla hyresgästelmätare från total eleffekt in till huset.

I hus 1 är upplösningen på hyresgästelmätarna dålig vilket skapar en signal som svänger kraftigt, i vissa fall ned till negativa värden. I hus 2 fås samma effekt men där är det upplösningen på elmätaren för total el in i huset som är bristfällig.

Detta är samma regel som regel 19 och 31 men med andra parametervärden.

Rimliga parametervärden kan vara, $E_{S,MIN3} = 1 \text{ kW}$ och $E_{S,MAX3} = 15 \text{ kW}$.

Regel 42 gäller givarvärden då anläggningen är avstängd

$$|T_{HHP} - T_{PR}| < \Delta T_{PR} \quad (42)$$

I detta driftfall tillförs ingen värme till radiatorsystemet vare sig från fjärrvärmen eller från värmepumpen. Det är då rimligt att temperaturgivaren efter kondensorn antar ungefär samma värde som rumstemperaturen i undercentralen.

Stor skillnad mellan dessa värden kan indikera ventilläckage eller givarfel.

Ett rimligt parametervärde, ΔT_{PR} , kan vara 5°C.

I hus 1 saknas temperaturmätning i undercentralen.

Regel 43 gäller givarvärden då anläggningen är avstängd

$$|T_{CHP} - T_{PR}| < \Delta T_{PR} \quad (43)$$

I detta driftfall tillförs ingen värme till radiatorsystemet vare sig från fjärrvärmen eller från värmepumpen. Det är då rimligt att givaren som mäter temperaturen på värmepumpens kalla sida antar ungefär samma värde som rumstemperaturen i undercentralen.

Stor skillnad mellan dessa värden kan indikera ventilläckage eller givarfel.

Ett rimligt parametervärde, ΔT_{PR} , kan vara 5°C.

I hus 1 saknas temperaturmätning i undercentralen.

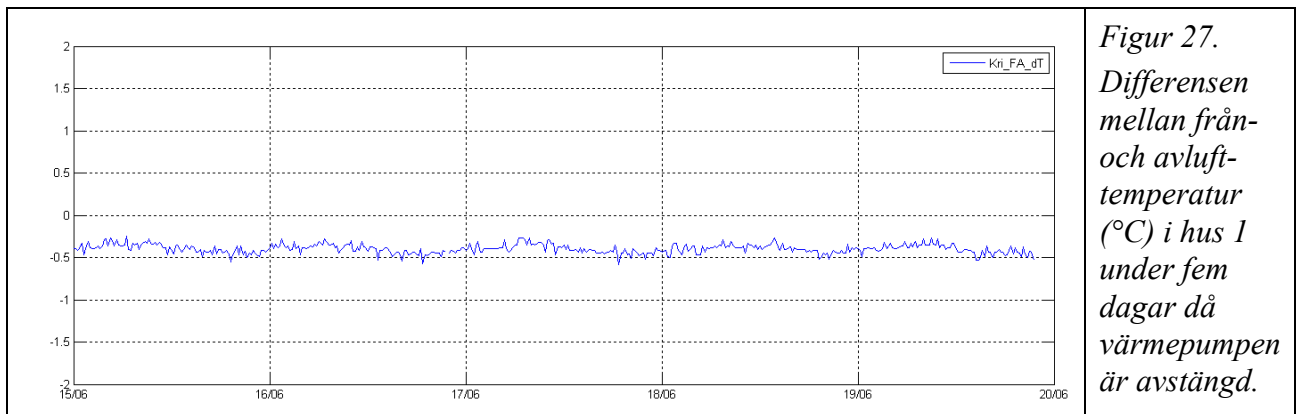
Regel 44 gäller skillnaden mellan från- och avlufttemperatur:

$$|T_{RA} - T_{EA}| < \Delta T_{RA} \quad (44)$$

Skillnaden mellan från- och avlufttemperaturen ska i detta driftfall, då värmepumpen är avstängd, vara liten. En stor skillnad indikerar givarfel.

Fläkten värmer något och en viss avvikelse mellan givarna måste medräknas. Ett lämpligt parametervärde, ΔT_{RA} , kan därför vara 2°C.

Figur 27 redovisar skillnaden mellan från- och avlufttemperaturen under några dagar i detta driftfall.



Avlufttemperaturen mäts inte i hus 2.

Regel för driftfall 4; värmepump avstängd och fjärrvärme i drift

Regel 45 gäller kontroll av otillåtet driftfall.

I driftfall 4 är värmepumpen avstängd och fjärrvärmen står för uppvärmningen. Detta driftfall avviker från den tänkta funktionen. Om detta driftfall råder har värmepumpen oavsiktligt stannat.

Tabell 2. Sammanställning av regler och vilka hus de kan tillämpas på med hänsyn till mätutrustning.

Nr	Driftfall	Regel	Hus 1	Hus 2	Kommentar
1	Alla	$ T_W - T_{W,SET} < \Delta T_W$	X	X	
2	Alla	$U_E < U_{TWV} < 100 - U_E$	X	X	
3	Alla	$ P_{RA} - P_{RA,SET} < \Delta P_{RA}$	X	X	
4	Alla	$U_E < U_{RAF} < 100 - U_E$	X	X	
5	Alla	$T_{IA,MIN} < T_{IA} < T_{IA,MAX}$	X	X	
6	Alla	$T_{IA,MIN} < T_{IA} < T_{IA,MAX}$	X	X	Annan givare än regel 5. I hus 1 väljs två av fem tillgängliga givare
7	Alla	$ T_{IA,1} - T_{IA,2} < \Delta T_{IA}$	X	X	
8	Alla	$E_{D,MIN} < E_D < E_{D,MAX}$	—	X	Mätarna i hus 1 har för dålig upplösning för 15-minutersvärden.
9	Alla	$T_{CTW,MIN} < T_{CTW} < T_{CTW,MAX}$	X	X	
10	Alla	$0 < F_{PW}$	X	X	
11	Alla	$0 \leq F_{TW}$	X	X	
12	Alla	$T_{RTW,MIN} < T_{RTW}$	X	—	Givare saknas i hus 2.
13	1	$\Delta T_{PW,MIN} < T_{PSW} - T_{PRW}$	X	X	
14	1	$ T_{SSW} - T_{SW,SET} < \Delta T_{SW}$	X	X	
15	1	$\Delta T_W < T_{SSW} - T_{SRW}$	X	X	
16	1	$U_{HWV} < 100 - U_E$	X	X	
17	1	$T_{OA,MIN1} < T_{OA} < T_{OA,MAX1}$	X	X	Samma regel som 29 och 39 men med andra parametervärden.
18	1	$Q_{TW} < Q_{PW}$	—	X	Varmvattenmätning i hus 1 osäker.
19	1	$E_{S,MIN1} < E_S < E_{S,MAX1}$	—	X	Mätare i hus 1 har för dålig upplösning för 15-minutersvärden.
20	1	$\Delta T_{HP} < T_{HHP} - T_{SWR}$	—	X	Givare saknas i hus 1.
21	1	$T_{CHP} < T_{CHP,MAX}$	—	X	Givare saknas i hus 1.
22	1	$T_{PR,MIN} < T_{PR} < T_{PR,MAX}$	—	X	Givare saknas i hus 1.
23	1	$T_{HHP} < T_{HHP,MAX}$	—	X	Givare saknas i hus 1.
24	1	$E_{HP,MIN} < E_{HP} < E_{HP,MAX}$	X	X	
25	1	$Q_{HP,MIN} < Q_{HP}$	X	—	Givare saknas i hus 2. Samma regel som 35.
26	1	$T_{EA} < T_{EA,MAX}$	X	—	Givare saknas i hus 2.
27	2	$ T_{SSW} - T_{SW,SET} < \Delta T_{SWHP}$	X	X	Samma som regel 14 men annat parametervärde.
28	2	$\Delta T_W < T_{SSW} - T_{SRW}$	X	X	Samma som regel 15.
29	2	$T_{OA,MIN2} < T_{OA} < T_{OA,MAX2}$	X	X	Samma som regel 17 och 39 men andra parametervärden.
30	2	$ Q_{PW} - Q_{TW} < Q_E$	—	X	Varmvattenmätning i hus 1 osäker. Samma regel som 40.
31	2	$E_{S,MIN2} < E_S < E_{S,MAX2}$	—	X	Samma som regel 19 och 41 men andra parametervärden.
32	2	$T_{PR,MIN} < T_{PR} < T_{PR,MAX}$	—	X	Samma som regel 22. Givare saknas i hus 1.
33	2	$T_{HHP} < T_{HHP,MAX}$	—	X	Samma som regel 23. Givare saknas i hus 1.
34	2	$E_{HP} < E_{HP,MAX}$	X	X	
35	2	$Q_{HP,MIN} < Q_{HP}$	X	—	Givare saknas i hus 2. Samma regel som 25.
36	2	$T_{EA} < T_{EA,MAX}$	X	—	Givare saknas i hus 2.
37	3	$ T_{SSW} - T_{PR} < \Delta T_{PR}$	—	X	Givare saknas i hus 1.
38	3	$ T_{SRW} - T_{PR} < \Delta T_{PR}$	—	X	Givare saknas i hus 1.
39	3	$T_{OA,MIN3} < T_{OA} < T_{OA,MAX3}$	X	X	Samma regel som 17 och 29 men med andra parametervärden.
40	3	$ Q_{PW} - Q_{TW} < Q_E$	—	X	Varmvattenmätning i hus 1 osäker. Samma regel som 30.
41	3	$E_{S,MIN3} < E_S < E_{S,MAX3}$	—	X	Samma som regel 18 och 29 men andra parametervärden.
42	3	$ T_{HHP} - T_{PR} < \Delta T_{PR}$	—	X	Givare saknas i hus 1.
43	3	$ T_{CHP} - T_{PR} < \Delta T_{PR}$	—	X	Givare saknas i hus 1.
44	3	$ T_{RA} - T_{EA} < \Delta T_{RA}$	X	—	Givare saknas i hus 2.

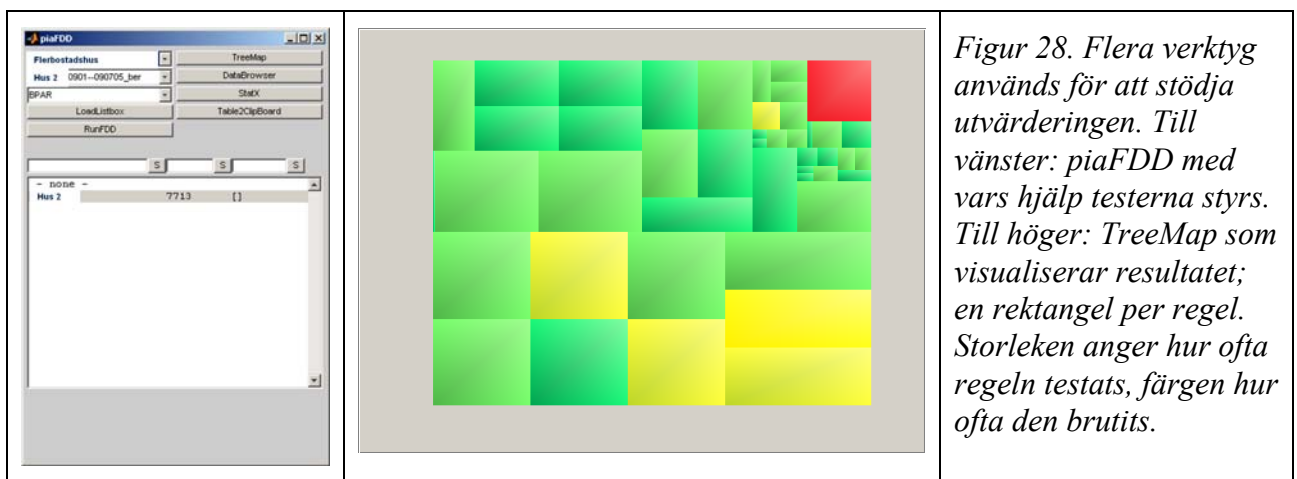
BILAGA 3

UTVÄRDERING AV EXPERTREGLER MED MÄTDATA FRÅN TVÅ BYGGNADER

I följande avsnitt beskriver vi resultatet från utvärdering av reglerna på mätdata från våra två byggnader. Vi har gjort en Matlab-implementation som vi använder för testningen av de beskrivna reglerna.

Implementationen innehåller följande funktioner:

1. Koppling av givarnamn till rollnamn via en enkel databastabell. Reglerna är formulerade med rollnamnen. Det är därför enkelt att lägga till fler liknande projekt.
2. Beräkning av löpande medelvärden av signalerna.
3. Bestämning av aktuellt driftfall.
4. Testning av regler för aktuellt driftfall. Testet görs i slutet av varje timme under förutsättning att samma driftfall förelegat hela timmen.
5. Verktyg för att styra testerna och granska resultatet:
 - a. piaFDD, en dialog för att välja byggnad, välja mätserie, välja uppsättning regler, köra testet och starta verktyg för granskning av resultatet.
 - b. TreeMap, en visuell översikt av antal regler, hur ofta de tillämpats och hur ofta de varit brutna.
 - c. Databrowser, ett verktyg för granskning av tidsserier där information presenterat i fyra synkroniserade diagram kan jämföras. Ett av diagrammen redovisar status hos expertreglerna genom att indikera vilka regler som testats och vilka som brutits.
 - d. StatX, en lista med samtliga signaler och möjlighet att med flera olika diagramtyper granska dessa.
 - e. Table2Clipboard, kopierar testresultatet till klippbordet så att det kan klistras in i en rapport.



Figur 28. Flera verktyg används för att stödja utvärderingen. Till vänster: piaFDD med vars hjälp testerna styrs. Till höger: TreeMap som visualiserar resultatet; en rektangel per regel. Storleken anger hur ofta regeln testats, färgen hur ofta den brutits.

Hus 1

Resultatet från utvärderingen med mätdata från hus 1 redovisas i tabell 3.

I den första kolumnen redovisas numret på regeln, i den andra hur många timmar regeln tillämpats. I den tredje kolumnen redovisas hur många timmar regeln varit bruten d.v.s. villkoret har inte varit uppfyllt. I den fjärde redovisas procentuell andel av tiden som regeln tillämpats, i den femte den procentuella andel som regeln varit bruten.

Anledningen till att alla regler inte tillämpats alla timmar är att

- ✓ reglerna tillämpas bara under de driftfall de konstruerats för (se tidigare redovisning)
- ✓ reglerna tillämpas bara om samma driftfall förelegat under tre timmar
- ✓ reglerna tillämpas inte om data saknas för någon av signalerna som ingår i regeln

Regel 20, 21, 22, 23, 32, 33, 37, 38, 42 och 43 innehåller signaler som inte mäts i hus 1.

Totalt antal timmar i mätserien är 7389. De regler som tillämpas störst andel av mätperioden testas knappt 60 % av tiden. Det beror på att mätdata saknas för en stor del av hösten 2008.

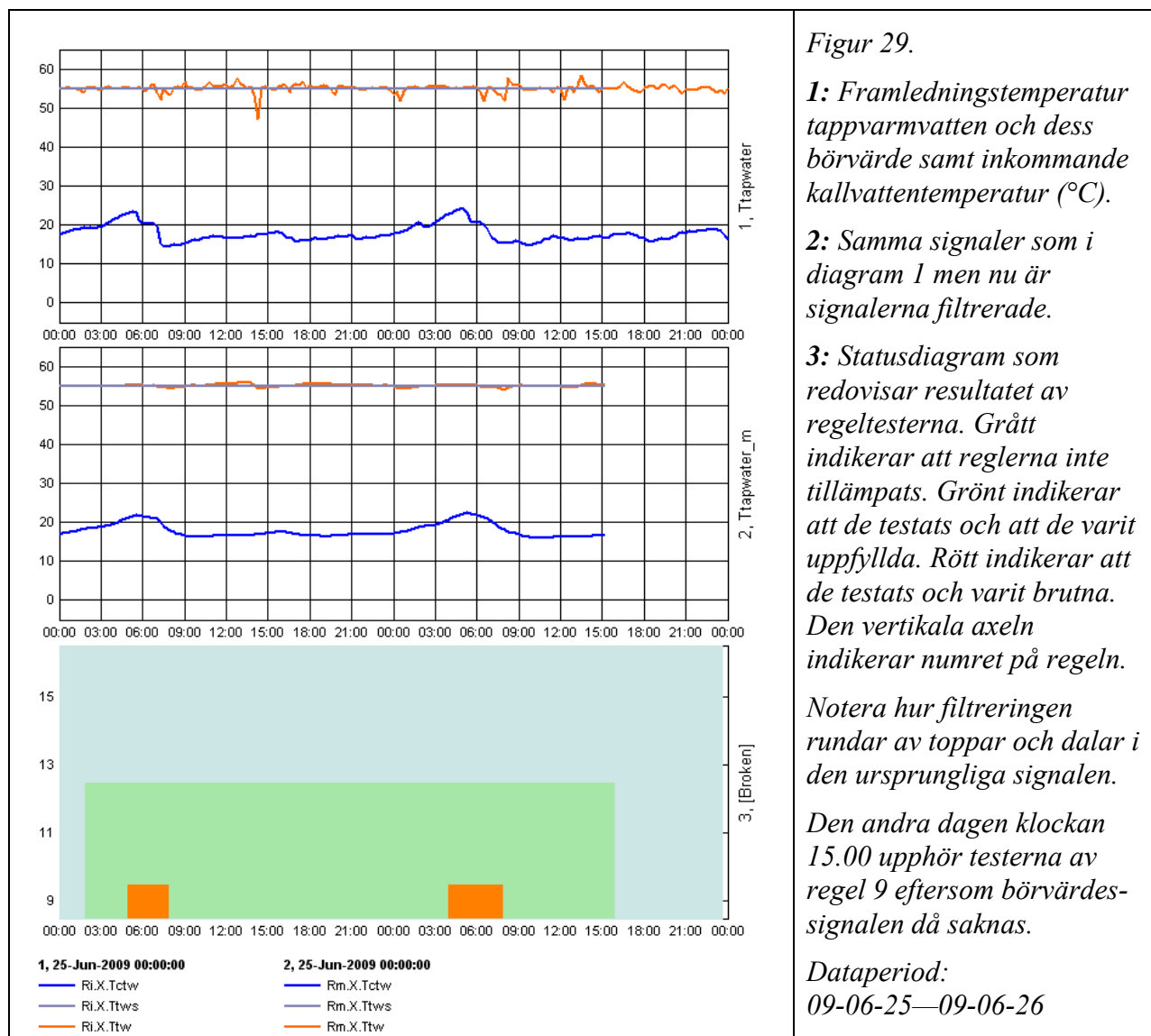
De regler som brutits kommenteras nedan med diagram över ingående signaler.

Tabell 3. Resultat från test med mätdata från hus 1.

Rule	nApplied	nBroken	%Applied	%Broken	Kommentar
1	3537	0	0.479	0	
2	4324	0	0.585	0	
3	3505	0	0.474	0	
4	4328	0	0.586	0	
5	4316	0	0.584	0	
6	4223	0	0.572	0	
7	4214	0	0.57	0	
8	3178	1361	0.43	0.184	Dålig upplösning hos mätutrustning
9	927	10	0.125	0.001	
10	4285	6	0.58	0.001	Dålig upplösning hos mätutrustning
11	3165	10	0.428	0.001	Mätproblem
12	4325	0	0.585	0	
13	3225	28	0.436	0.004	
14	3226	932	0.437	0.126	
15	3223	0	0.436	0	
16	3226	0	0.437	0	
17	3226	43	0.437	0	
18	40	1	0.005	0	
19	2983	340	0.404	0.046	Dålig upplösning hos mätutrustning
20	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
21	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
22	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
23	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
24	3226	0	0.437	0	
25	3220	0	0.436	0	
26	3226	0	0.437	0	
27	122	0	0.017	0	
28	120	0	0.016	0	
29	122	4	0.017	0.001	
30	55	0	0.007	0	
31	50	3	0.007	0	
32	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
33	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
34	122	0	0.017	0	
35	112	0	0.015	0	
36	122	0	0.017	0	
37	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
38	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
39	226	0	0.031	0	
40	219	2	0.03	0	
41	4	1	0.001	0	
42	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
43	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 1
44	222	0	0.03	0	
45	761	761	0.103	0.103	

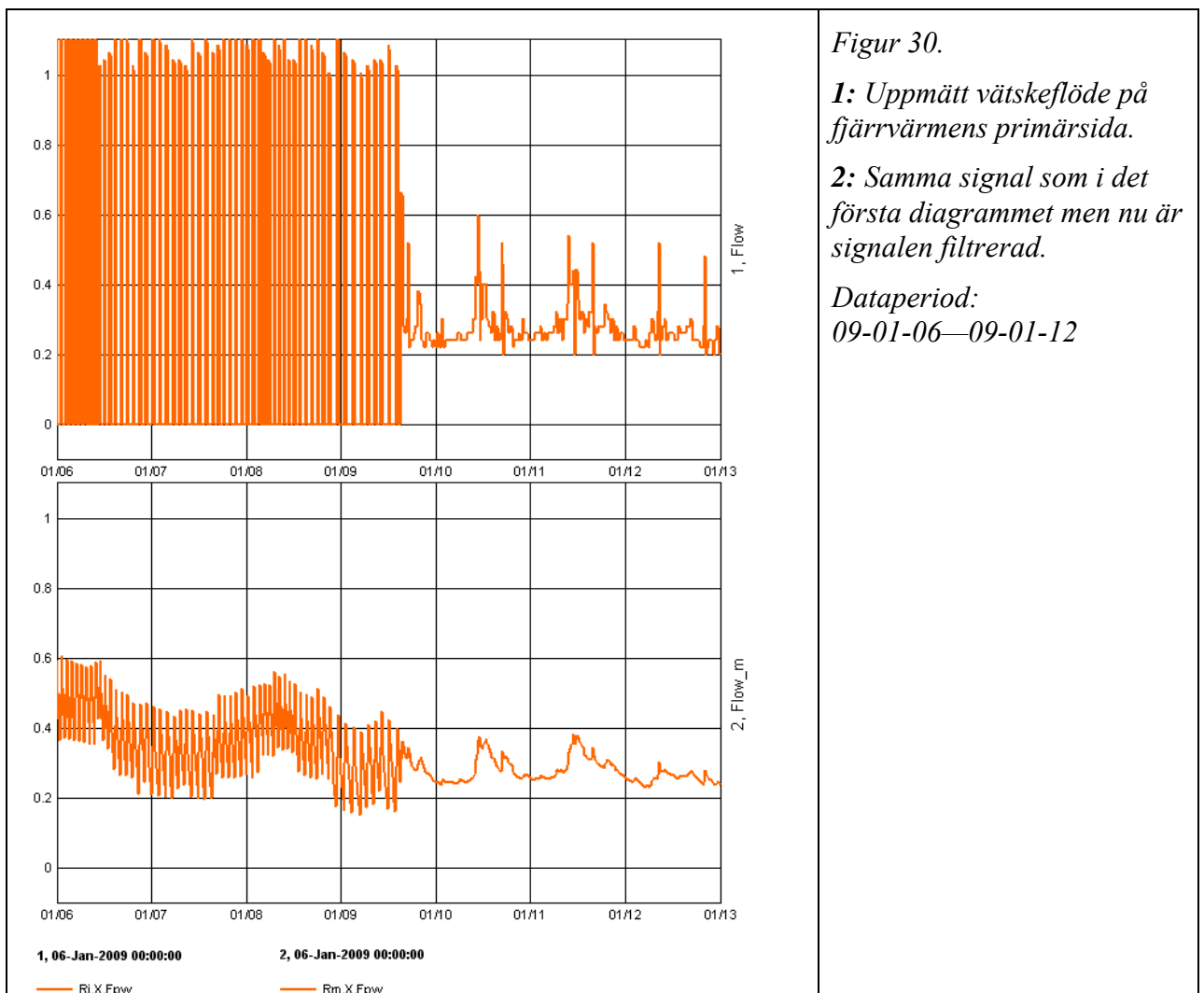
Regel 8 testar att hyresgästelen (kW) för varje tidssteg ligger i ett rimligt intervall. Regeln har brutits 18.4% av tiden. Det beror på att upplösningen är för dålig hos mätutrustningen för att testa reglerna med 15-minutersvärden. Mätaren ger ”spikar” som är betydligt högre än parametervärdet. Däremellan visar den 0.

Regel 9 testar att inkommande kallvattentemperatur ligger i ett rimligt intervall. Regeln har brutits 0.1% av tiden. Figur 29 visar ett exempel på ett sådant tillfälle. När den filtrerade kallvattentemperaturen överstiger $+20^{\circ}\text{C}$ är inte villkoret uppfyllt. Detta inträffar nattetid under sommaren när det inte finns något tappvattenuttag.



Regel 10 testar att det alltid finns ett flöde på fjärrvärmens primärsida. Regeln har brutits 0.1% av tiden. Detta har skett dels vid ett mätavbrott då signalen, av okänd anledning, kortvarigt (endast ett tidssteg) visade negativa värden och dels precis i början av mätperioden då upplösningen hos mätaren var låg och gav ”spikar” och däremellan noll. Eftersom signalen de första tidsstegen var noll blev också den filterade signalen noll vilket inte är tillåtet enligt regel 10.

Trots att upplösningen var dålig fungerade ändå regeln tack vare filtreringen. Detta framgår av figur 30. Diagrammen visar det uppmätta flödet respektive det filterade flödet. De första dagarna i perioden är upplösningen dålig för att sedan ställas om och bli bättre. I början av perioden undviks nollorna tack vare medelvärdesbildningen. En signal med låg upplösningen kan alltså ibland bli användbar med hjälp av filtrering.



Figur 30.

1: Uppmätt vätskeflöde på fjärrvärmens primärsida.

2: Samma signal som i det första diagrammet men nu är signalen filterad.

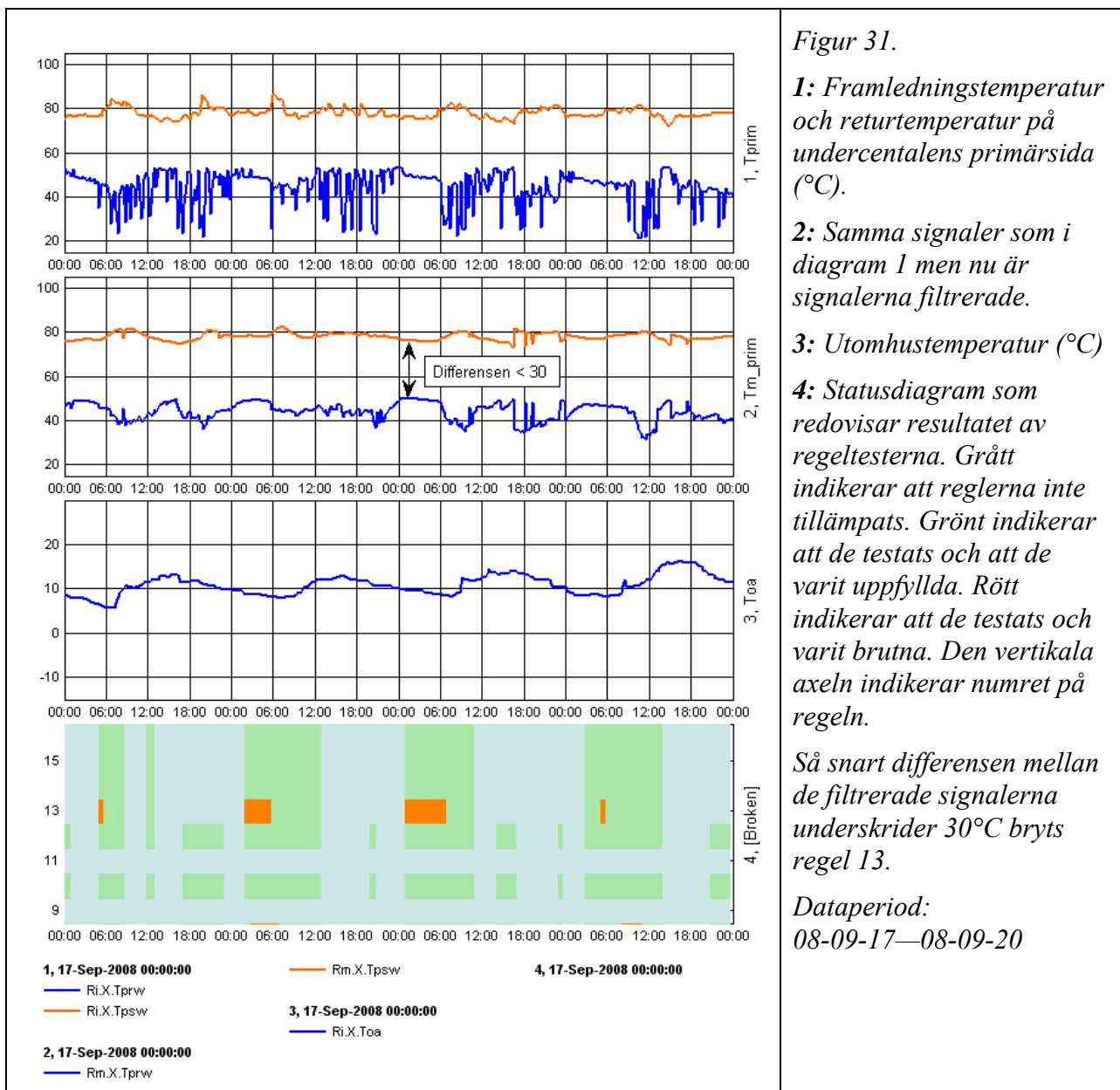
Dataperiod:

09-01-06—09-01-12

Regel 11 testar att tappvarmvattenflödet alltid är noll eller större. Regeln har brutits 0.1% av tiden. Detta har skett vid mätavbrott då signalen, av okänd anledning, kortvarigt (endast ett tidssteg) visat negativa värden.

Regel 13 testar att avkylningen på undercentralens primärsida är över 30°C. Regeln bryts 0.4% av tiden. Figur 31 visar några sådana exempel. Det inträffar vissa nätter då värmepumpen är i drift och utomhustemperaturen är omkring +10°C.

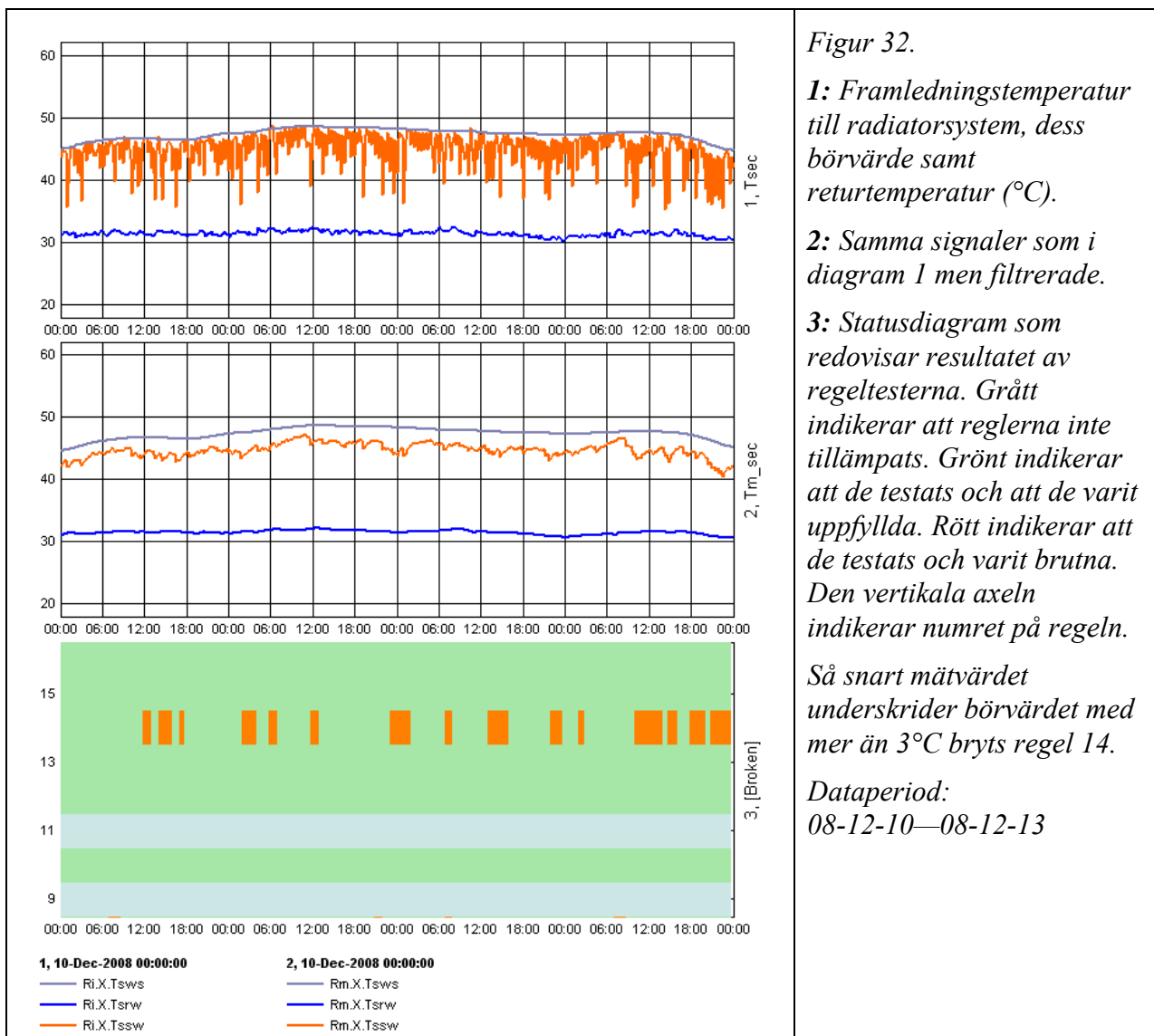
Uppenbarligen är avkylningen i denna byggnad mindre än förväntat.



Figur 31.
1: Framledningstemperatur och returtemperatur på undercentralens primärsida (°C).
2: Samma signaler som i diagram 1 men nu är signalerna filtrerade.
3: Utomhustemperatur (°C)
4: Statusdiagram som redovisar resultatet av regeltesterna. Grått indikerar att reglerna inte tillämpats. Grönt indikerar att de testats och att de varit uppfyllda. Rött indikerar att de testats och varit brutna. Den vertikala axeln indikerar numret på regeln.
 Så snart differensen mellan de filtrerade signalerna underskrider 30°C bryts regel 13.
 Dataperiod:
 08-09-17—08-09-20

Regel 14 testar att framledningstemperaturen till radiatorsystemet håller sitt börvärde. Regeln bryts 12.6% av tiden. Det första diagrammet i figur 32 redovisar framledningstemperaturen, dess börvärde samt returtemperaturen. Det andra visar motsvarande filtrerade signaler. Så snart mätvärdet når upp till börvärdet stänger ventilen vilket får till följd att medelvärdet ofta ligger mer än 3°C under börvärdet. Normalt sett regleras mätvärdet omkring börvärdet så att den filtrerade signalen (mer eller mindre) sammanfaller med börvärdet.

Regleringen är orolig vilket ger onödigt slitage på utrustningen.



Figur 32.

1: Framledningstemperatur till radiatorsystem, dess börvärde samt returtemperatur (°C).

2: Samma signaler som i diagram 1 men filtrerade.

3: Statusdiagram som redovisar resultatet av regeltesterna. Grått indikerar att reglerna inte tillämpats. Grönt indikerar att de testats och att de varit uppfyllda. Rött indikerar att de testats och varit brutna. Den vertikala axeln indikerar numret på regeln.

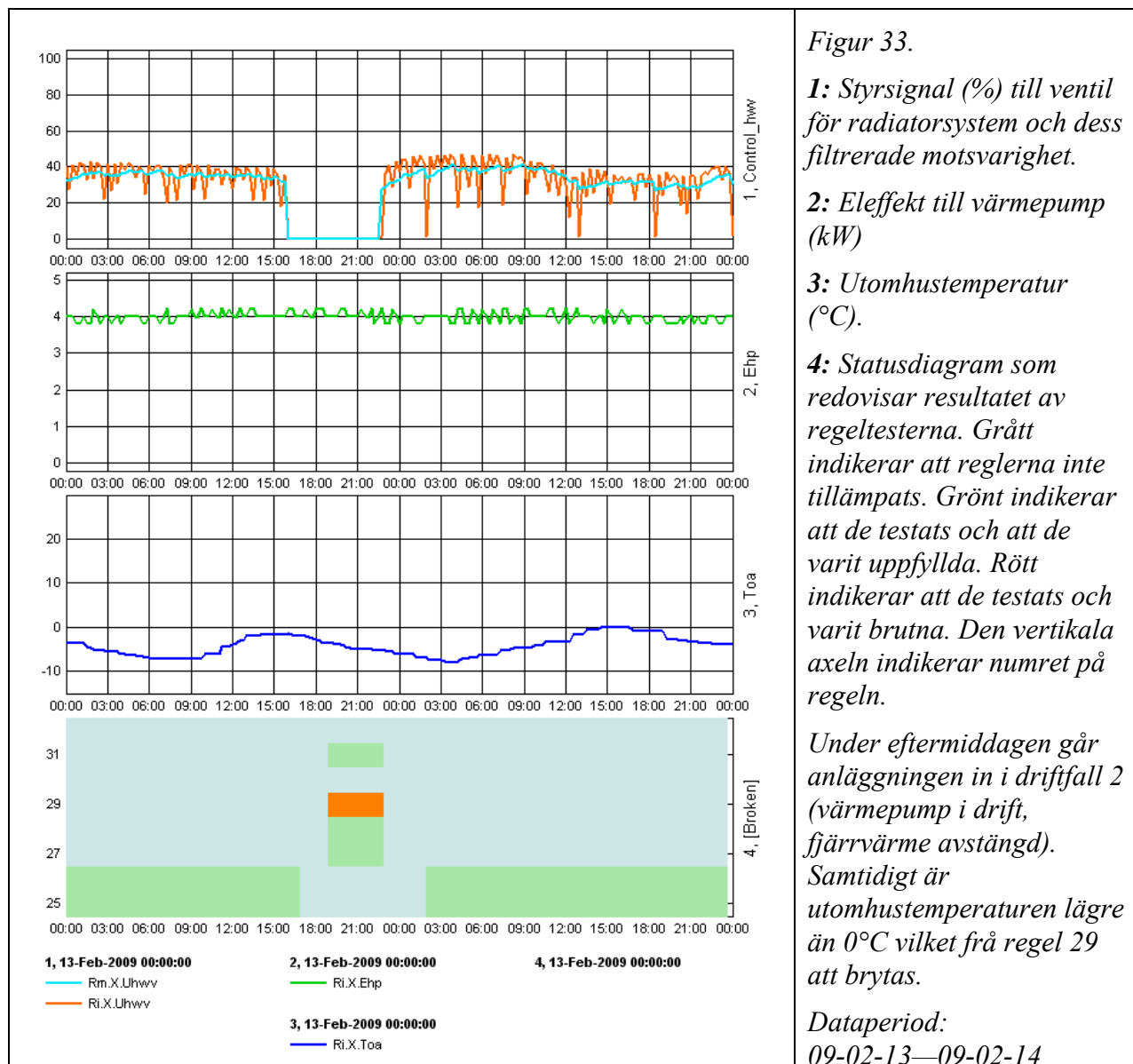
Så snart mätvärdet underskrider börvärdet med mer än 3°C bryts regel 14.

Dataperiod:

08-12-10—08-12-13

Regel 19 testar att eleffekten för att försörja fastighetens system inte är för låg eller för hög. Regeln bryts 4.6% av tiden. Eleffekten beräknas genom att subtrahera summan av alla hyresgästelmätare från total eleffekt in till huset. Eftersom upplösningen på hyresgästelmätarna är låg fås en signal som svänger kraftigt, i vissa fall ned till negativa värden.

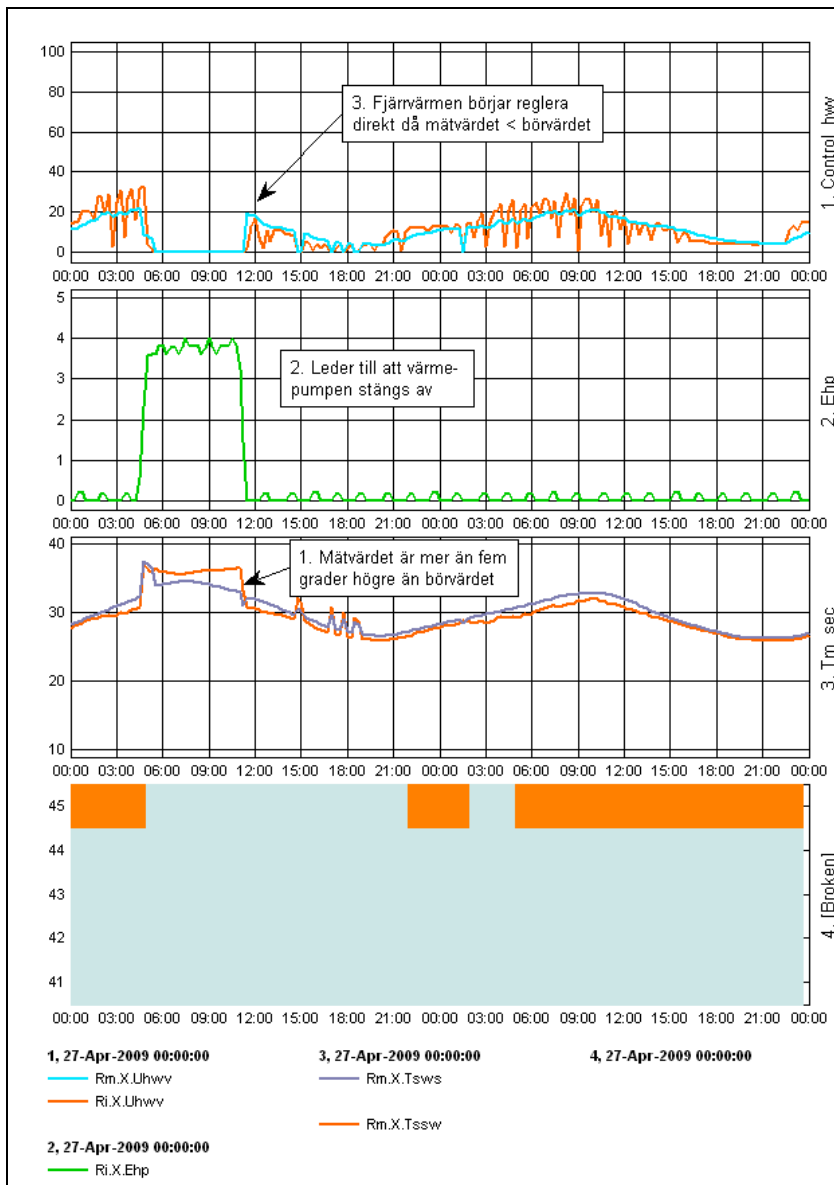
Regel 29 testar att utomhustemperaturen är inom rimliga gränser under driftfall 2. Regeln är bruten 0.1% av tiden. Detta inträffar vid ett tillfälle (se figur 33) och av okänd anledning. Ett tänkbart alternativ är att cirkulationspumpen tillfälligtvis stängts av.



Regel 45 testar om anläggningen går in i driftfall 4 (värmepump ej i drift, fjärrvärme i drift) vilket inte är tillåtet. Regeln är bruten 10.3% av tiden.

Figur 34 visar hur värmepumpen stannar då mätvärdet för framledningstemperatur till radiatorsystemet överstiger börvärdet med 5°C. När framledningstemperaturen sjunker under börvärdet börjar fjärrvärmen att tillföra värme direkt trots att värmepumpen står still.

Enligt handlingarna ska inte fjärrvärmen reglera förrän framledningstemperaturen understigit börvärdet med 5°C i två timmar. Värmepumpen ska starta då framledningstemperaturen understiger börvärdet med 5°C. Styralgoritmen är alltså felaktig.



Figur 34.

1: Styrsignal (%) till ventil för radiatorsystem och dess filtrerade motsvarighet.

2: Eleffekt till värmepump (kW)

3: Framledningstemperatur till radiatorsystem och börvärde.

4: Statusdiagram som redovisar resultatet av regeltesterna. Grått indikerar att reglerna inte tillämpats. Grönt indikerar att de testats och att de varit uppfyllda. Rött indikerar att de testats och varit brutna. Den vertikala axeln indikerar numret på regeln.

Under stora delar av mätperioden är fjärrvärmen i drift trots att värmepumpen är avstängd. Detta beror på en felaktig styralgoritm.

Dataperiod:
 09-04-27—09-04-28

Hus 2

Resultatet från utvärderingen med mätdata från hus 2 redovisas i tabell 4.

I den första kolumnen redovisas numret på regeln, i den andra hur många timmar regeln tillämpats. I den tredje kolumnen redovisas hur många timmar regeln varit bruten d.v.s. villkoret har inte varit uppfyllt. I den fjärde redovisas procentuell andel av tiden som regeln tillämpats, i den femte den procentuella andelen av tiden som regeln varit bruten.

Regel 12, 25, 26, 35, 36 och 44 innehåller signaler som inte mäts i hus 2.

Totalt antal timmar i mätserien är 7389.

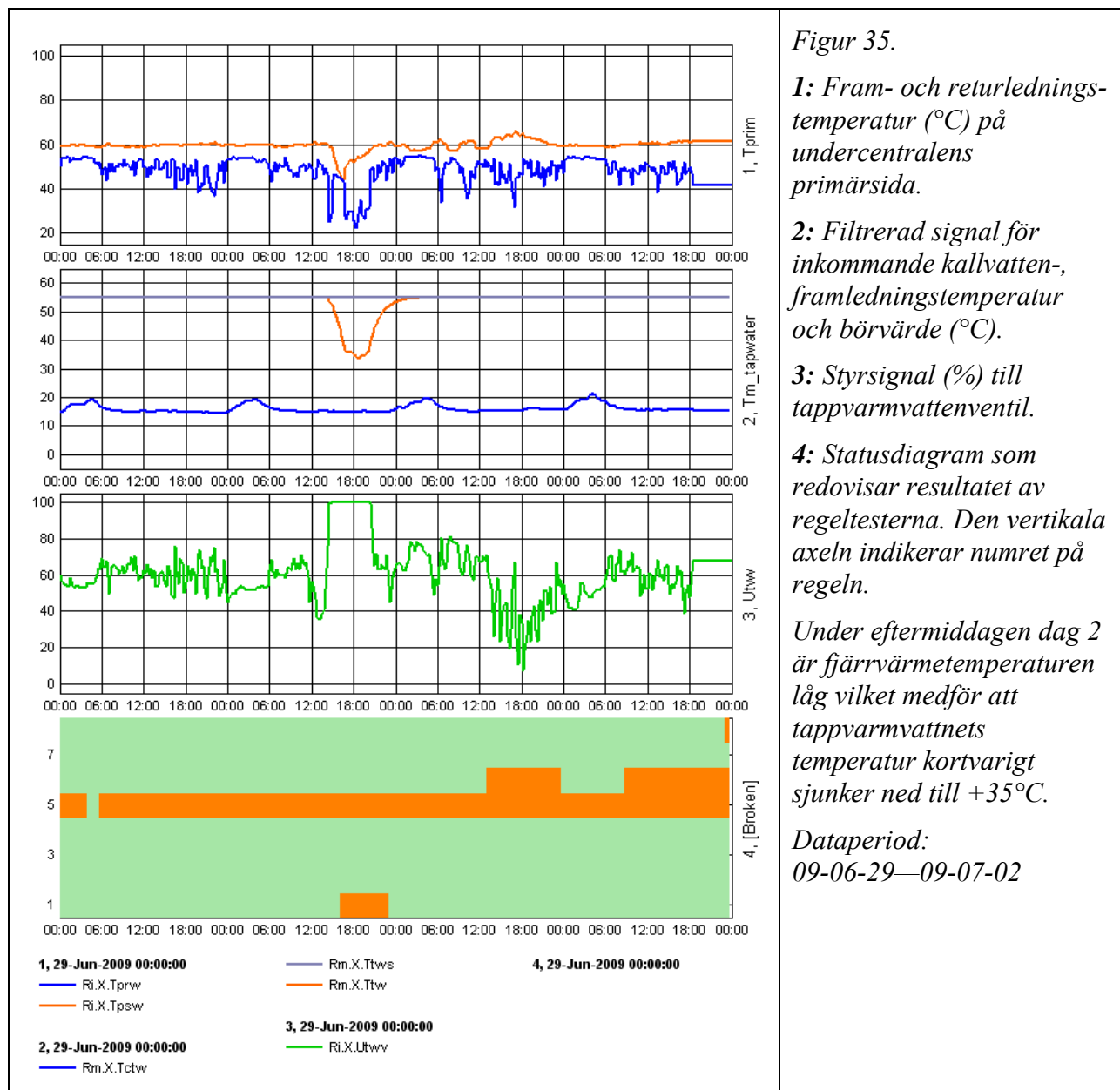
De regler som brutits kommenteras nedan med diagram över ingående signaler.

Tabell 4. Resultat från test med mätdata från hus 2.

Rule	nApplied	nBroken	%Applied	%Broken	Kommentar
1	6934	7	0.938	0.001	
2	6986	0	0.945	0	
3	6934	250	0.938	0.034	
4	6983	366	0.945	0.05	
5	6978	603	0.944	0.082	
6	6977	30	0.944	0.004	
7	6975	518	0.944	0.07	
8	5960	2	0.807	0	
9	6959	3	0.942	0	
10	6893	0	0.933	0	
11	6959	0	0.942	0	
12	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 2
13	3078	107	0.417	0.014	
14	3075	0	0.416	0	
15	3078	0	0.417	0	
16	3078	0	0.417	0	
17	3075	0	0.416	0	
18	3078	0	0.417	0	
19	2911	0	0.394	0	
20	3078	0	0.417	0	
21	3078	0	0.417	0	
22	3075	92	0.416	0.012	
23	3078	0	0.417	0	
24	3078	27	0.417	0.004	"Spikar" från mätutrustning
25	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 2
26	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 2
27	207	126	0.028	0.017	
28	207	0	0.028	0	
29	207	0	0.028	0	
30	207	0	0.028	0	
31	164	0	0.022	0	
32	207	143	0.028	0.019	
33	207	2	0.028	0	
34	207	60	0.028	0.008	
35	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 2
36	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 2
37	540	460	0.073	0.062	
38	540	105	0.073	0.014	
39	540	21	0.073	0.003	
40	520	0	0.07	0	
41	466	5	0.063	0.001	Mätproblem
42	540	74	0.073	0.01	
43	540	0	0.073	0	
44	0	0	0	0	Signalen saknas i hus 2
45	3161	3161	0.428	0.428	

Regel 1 testar om framledningstemperaturen till varmvattnet håller rätt temperatur. Regeln har varit bruten 0.1% av tiden.

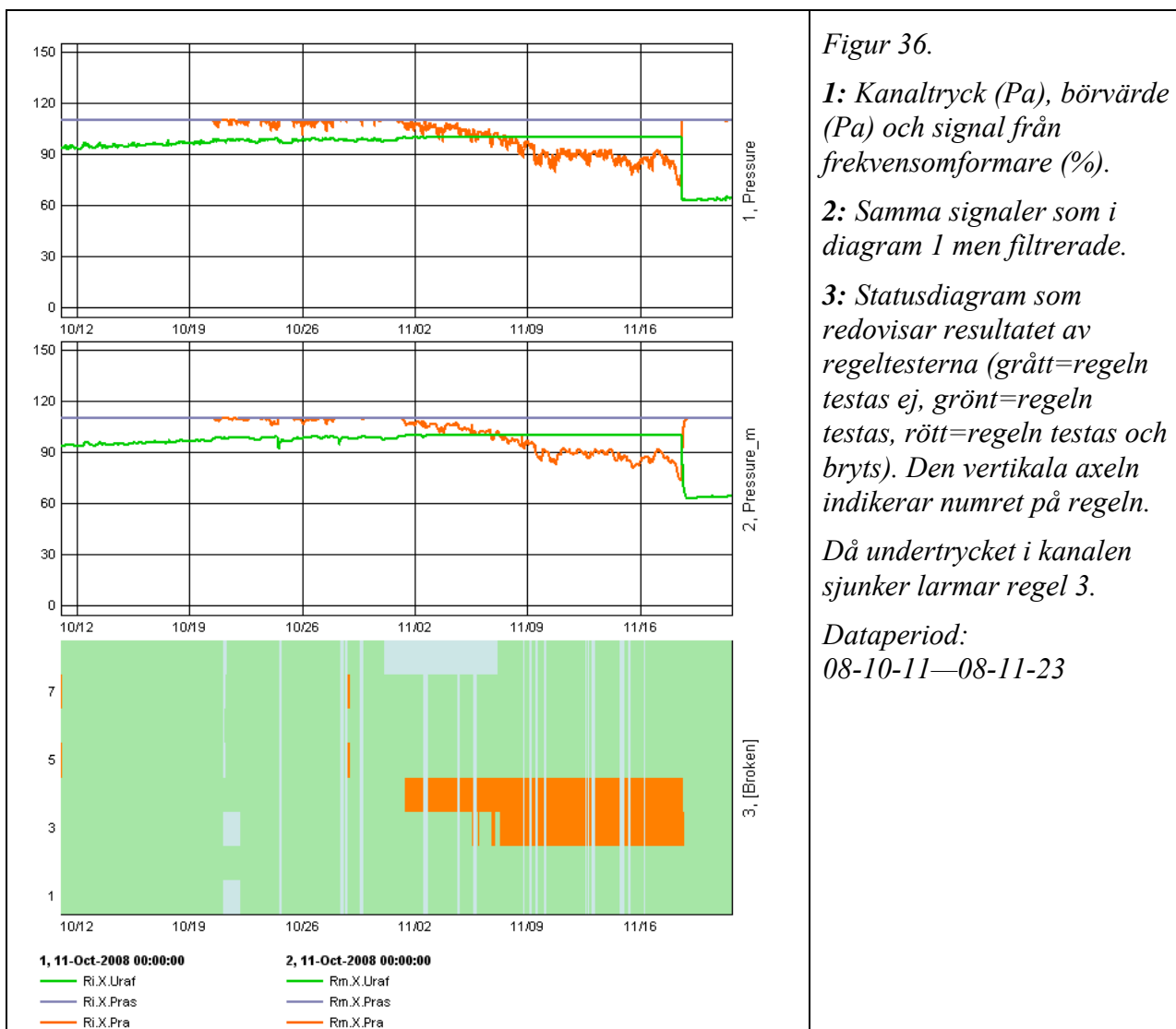
Avvikelsen har inträffat under några timmar då fjärrvärmens framledningstemperatur har varit låg. Möjligen kan detta bero på servicearbete i fjärrvärmenätet.



Regel 3 testar om det är rätt undertryck i frånluftskanalen. Regeln är bruten 3.4% av perioden.

Figur 36 visar hur signalen till fläktens frekvensomformare stiger upp till 100% för att hålla börvärdet. Därefter börjar kanaltrycket sjunka och regel 3 att larma. Den 18:e november byts det försmutsade filtret vilket leder till att undertrycket stiger till börvärdet och signalen till frekvensomformaren sjunker ned till cirka 65%.

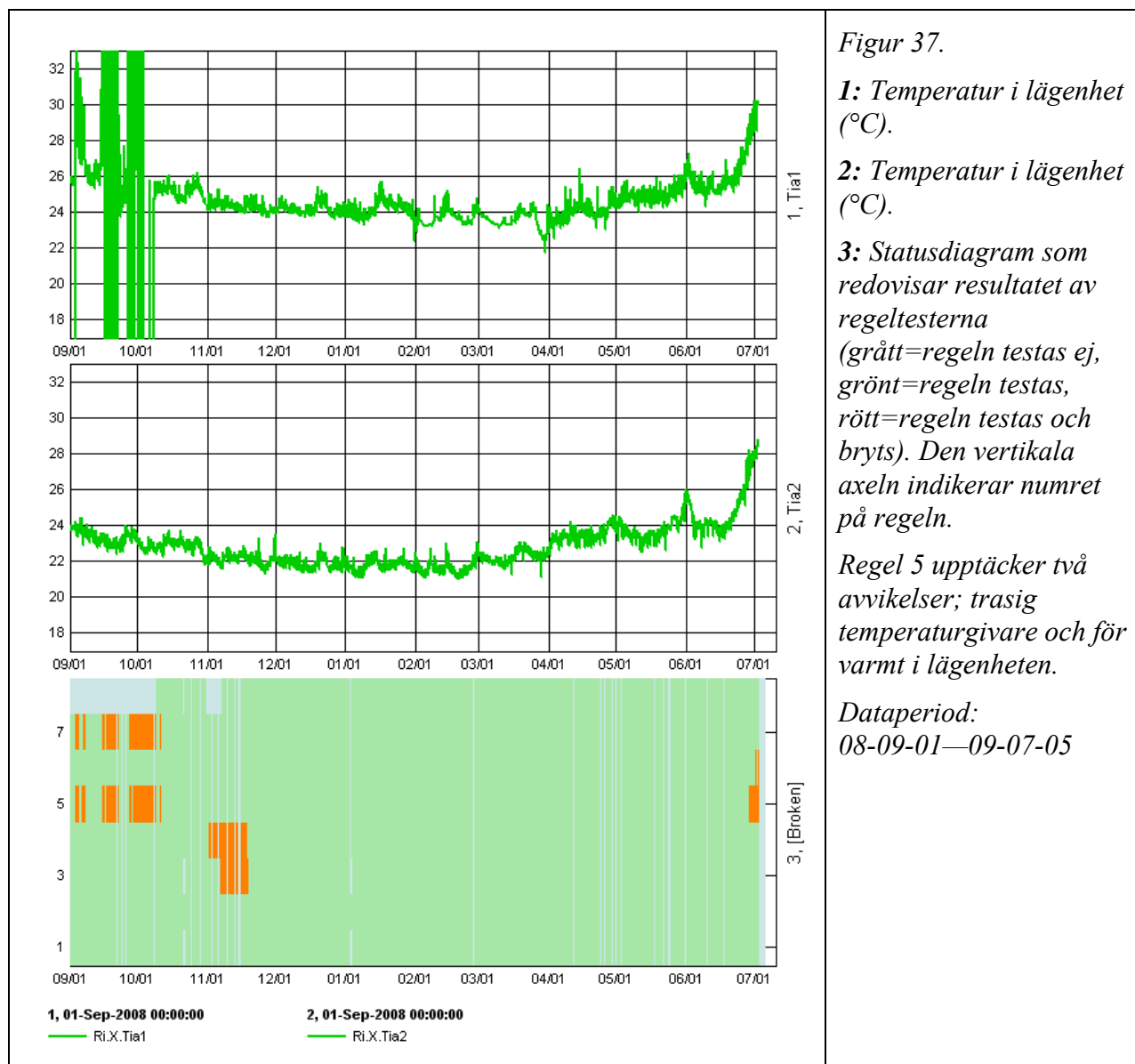
Uppenbarligen kunde filtret försmutsas kraftigt på bara en månad.



Regel 4 testar om signalen till fläktens frekvensomformare har rätt värde. Regeln är bruten 5% av tiden. Perioden sammanfaller delvis med perioden då undertrycket inte kunde hållas i frånluftskanalen beroende på det försmutsade filtret. Larmet indikeras i figur X ovan.

Regel 5 och 6 testar om temperaturen i lägenheten är inom rimliga gränser. Regel 5 har varit bruten 8.2%. Regel 6 har varit bruten 0.4% av tiden.

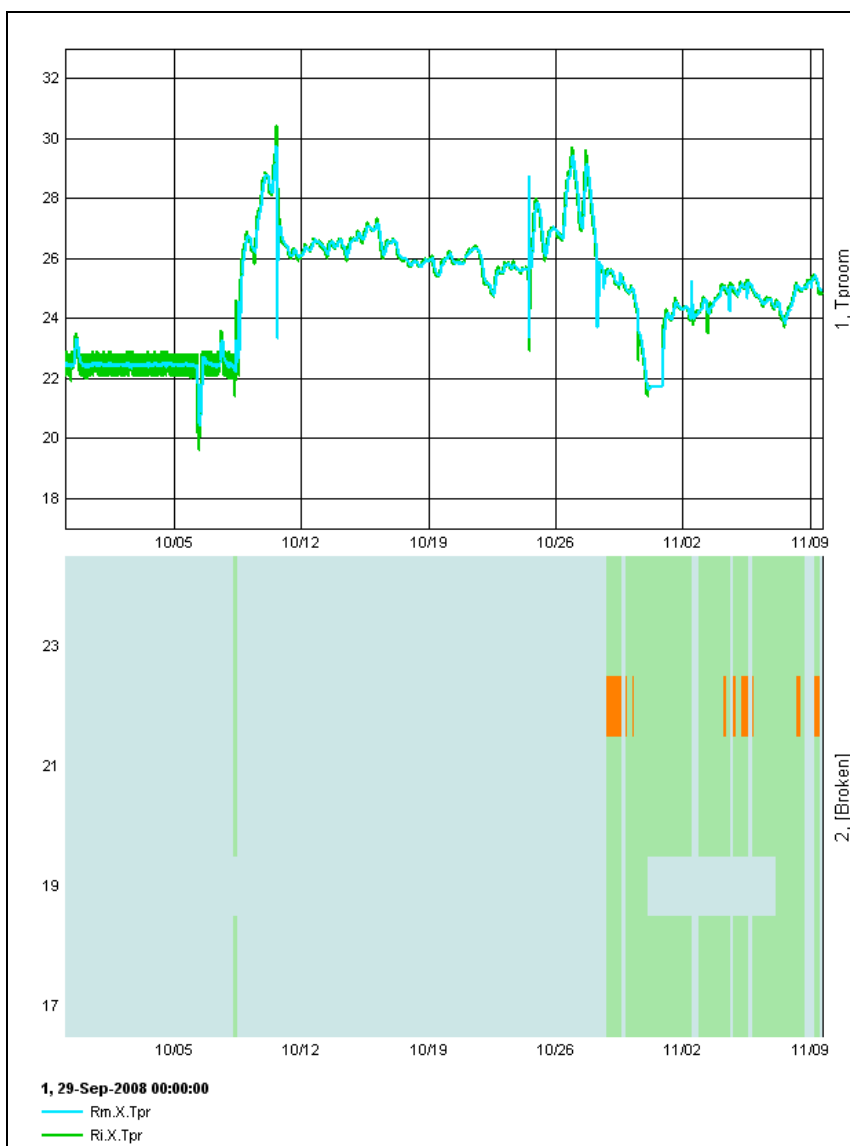
Figur 37 visar överst den givare som används i regel 5 och underst den som används i regel 6. Den första givaren gick sönder och visar orimliga värden i början av mätperioden. I slutet av mätperioden larmar både regel 5 och 6 eftersom temperaturen överstiger $+28^{\circ}\text{C}$.



Regel 7 testar om de två lägenhetsgivarna visar ungefär samma temperatur. Regeln har brutits 7% av tidsperioden. Detta inträffar samtidigt som den första givaren är trasig och visar orimliga värden. Larmet indikeras i figur X ovan.

Regel 13 testar om avkylningen på undercentralens primärsida är tillräcklig. Regeln har varit bruten 1.4% av tiden. Precis som för hus 1 inträffar detta nattetid, när värmepumpen är i drift och då utomhustemperaturen ligger omkring (eller strax under) $+10^{\circ}\text{C}$.

Regel 22 testar om temperaturen i undercentralen ligger inom rimliga gränser. Regeln bryts 1.2% av tiden. Figur 38 visar att temperaturen fram till början av oktober håller $+22.5^{\circ}\text{C}$. Sedan varierar temperaturen. I slutet av oktober inträffar det driftfall som regel 22 tillämpas i och då larmar regeln så snart temperaturen överstiger $+25^{\circ}\text{C}$. Den troliga förklaringen är att frånluftfläkten som ska kyla undercentralen har stannat i början av oktober. Den höga temperaturen tyder på stora rörförluster. Se också regel 32 som gör samma test men i ett annat driftfall.



Figur 38.

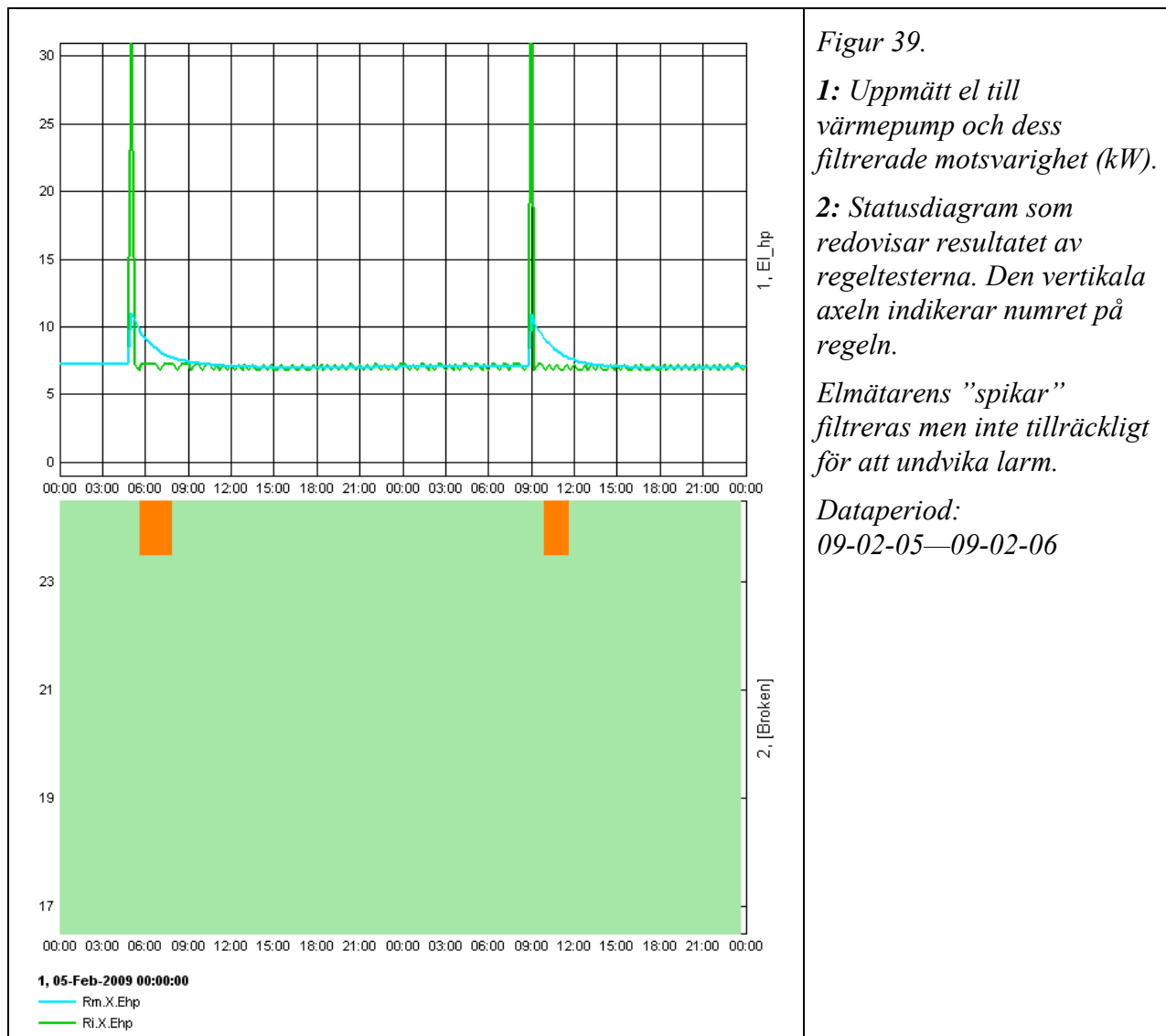
1: Uppmätt temperatur i undercentralen och dess filtrerade motsvarighet ($^{\circ}\text{C}$).

2: Statusdiagram som redovisar resultatet av regeltesterna. Den vertikala axeln indikerar numret på regeln.

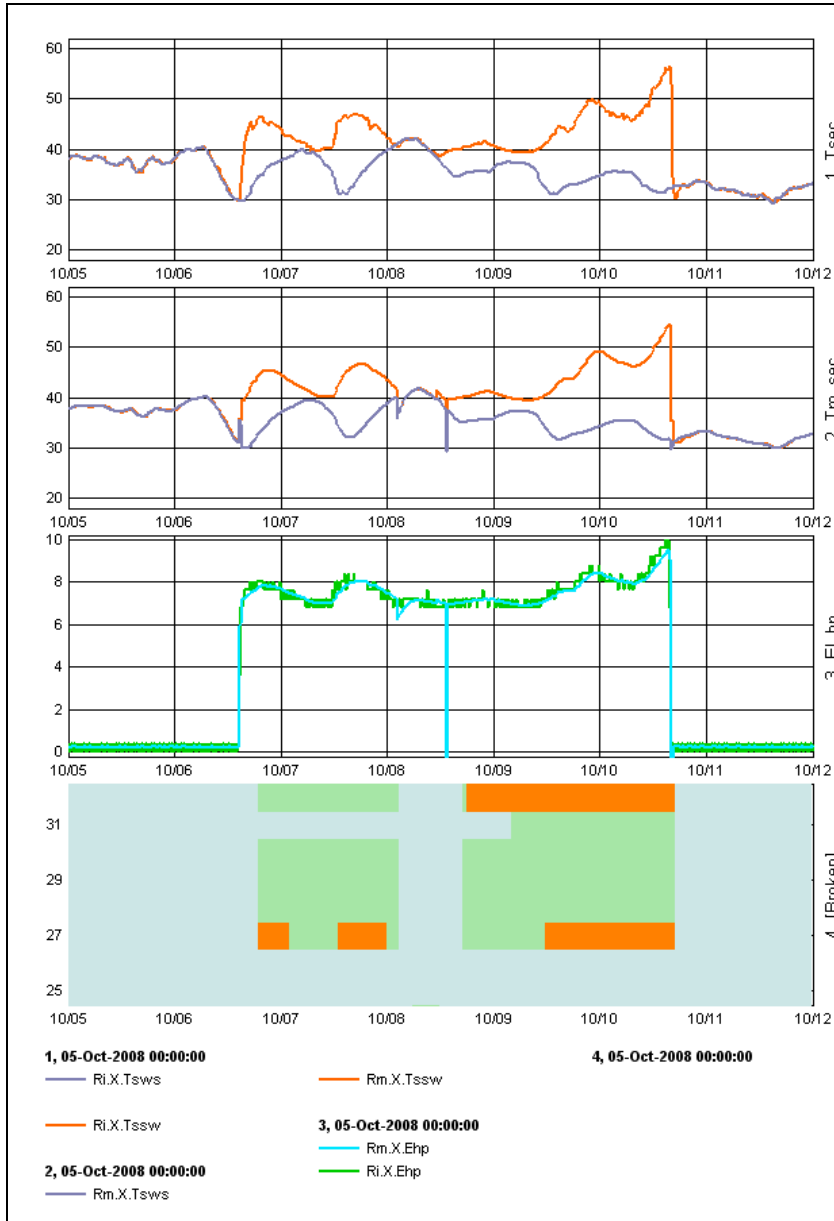
Temperaturen är hög eftersom frånluftfläkten stannat.

Dataperiod:
08-10-01—08-11-10

Regel 24 testar om elen till värmepumpen ligger i ett rimligt intervall. Regeln är bruten 0.4% av tiden. Regeln bryts då elmätaren ger ifrån sig ”spikar”. Figur 39 illustrerar att medelvärdesbildningen tar bort en stor del av ”spikarna” men inte tillräckligt för att nå under larmgränsen som är satt till 8 kW.



Regel 27 testar om framledningstemperaturen till radiatorsystemet håller börvärdet. Regeln bryts 1.7% av tiden. Figur 40 redovisar att värmepumpen inte slås av trots att framledningstemperaturen överskrider börvärdet med mer än 20°C. Enligt handlingar ska värmepumpen slå ifrån om mätvärdet överskrider börvärdet med 5°C. Styralgoritmen är alltså felaktig. Till slut blir troligen trycket för högt och värmepumpen stannar för att inte skadas.



Figur 40.

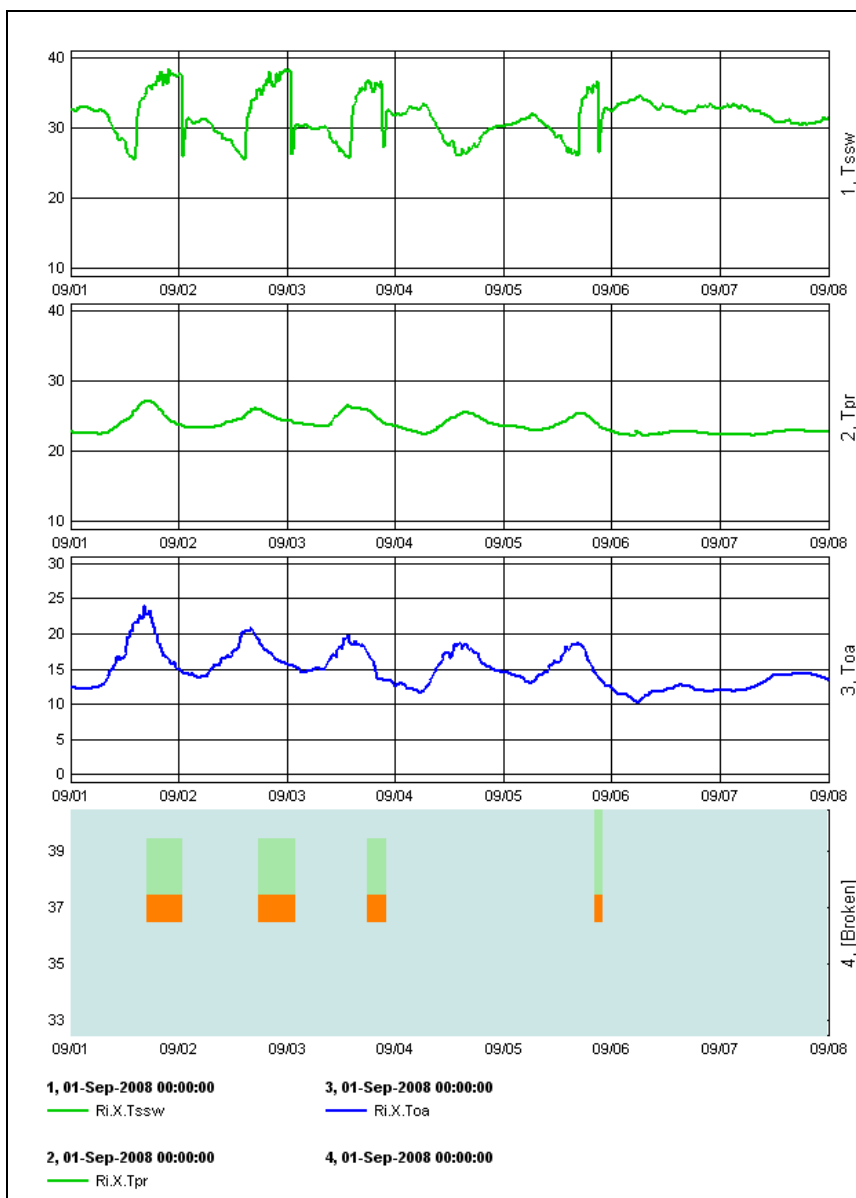
- 1: Uppmätt framledningstemperatur till radiatorsystemet och dess börvärde (°C).
- 2: Filtrerad framledningstemperatur till radiatorsystemet och motsvarande börvärde (°C).
- 3: Uppmätt eleffekt till värmepump och dess filtrerade motsvarighet (kW).
- 4: Statusdiagram som redovisar resultatet av regeltesterna. Den vertikala axeln indikerar numret på regeln.

Värmepumpen stannar inte trots att framledningstemperaturen är alldeles för hög.

Dataperiod:
08-10-05—08-10-11

Regel 37 testar om framledningsgivaren till radiatorsystemet antar ungefär samma värde som rumstemperaturen i undercentralen då inget värme tillförs. Regeln bryts 6.2% av tiden. Figur 42 visar att framledningsgivaren ibland antar temperaturer som är 10-15°C högre än rumstemperaturen.

En förklaring kan vara att givaren sitter nära värmeväxlarpaketet och att värmeledning genom rör och stillastående vätska gör att givarkroppen värms upp.



Figur 42.

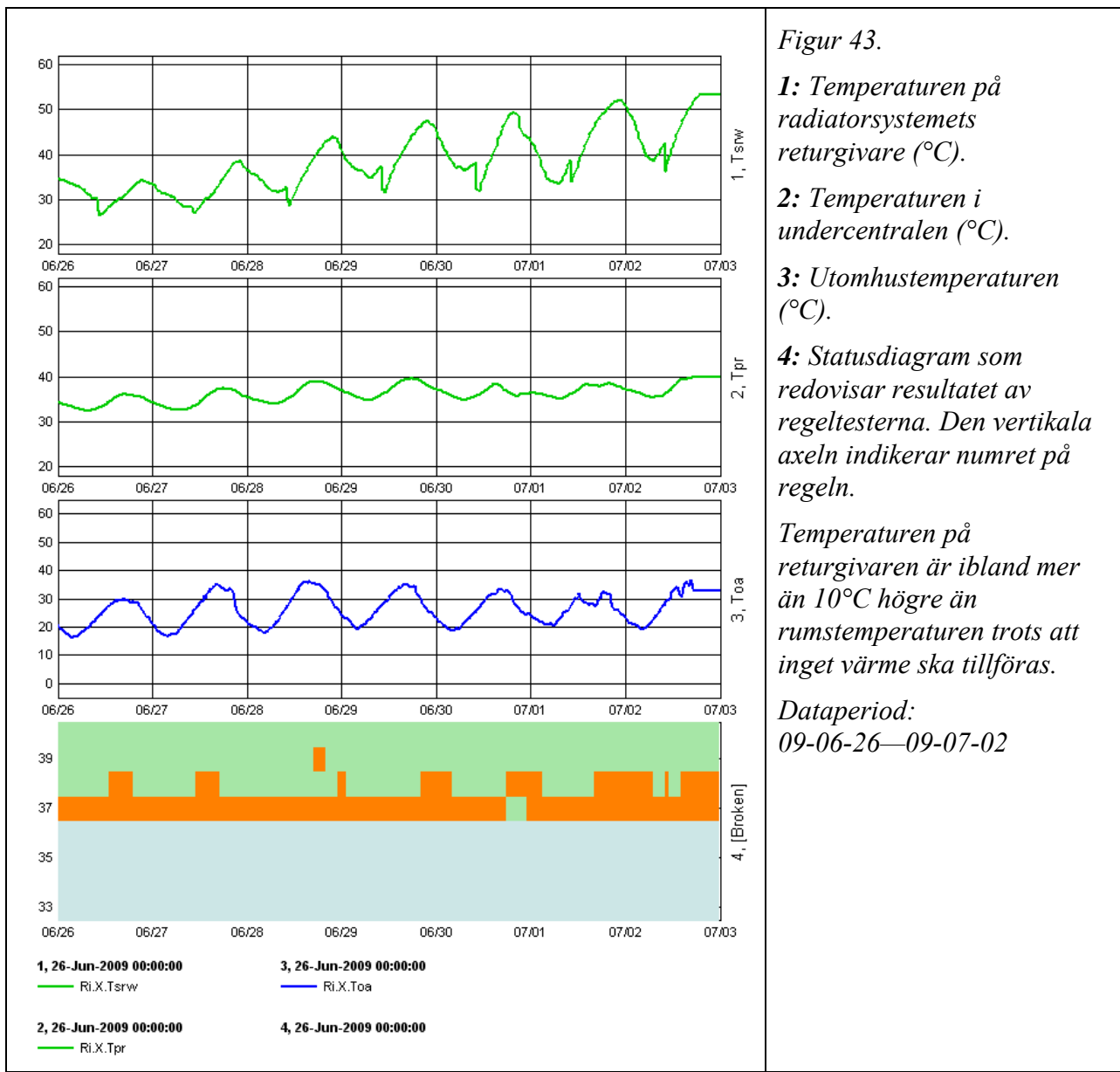
- 1: Temperaturen på radiatorsystemets framledningsgivare (°C).
- 2: Temperaturen i undercentralen (°C).
- 3: Utomhustemperaturen (°C).
- 4: Statusdiagram som redovisar resultatet av regeltesterna. Den vertikala axeln indikerar numret på regeln.

Temperaturen på framledningsgivaren är ibland mer än 10°C högre än rumstemperaturen trots att inget värme ska tillföras.

Dataperiod:
08-09-01—08-09-07

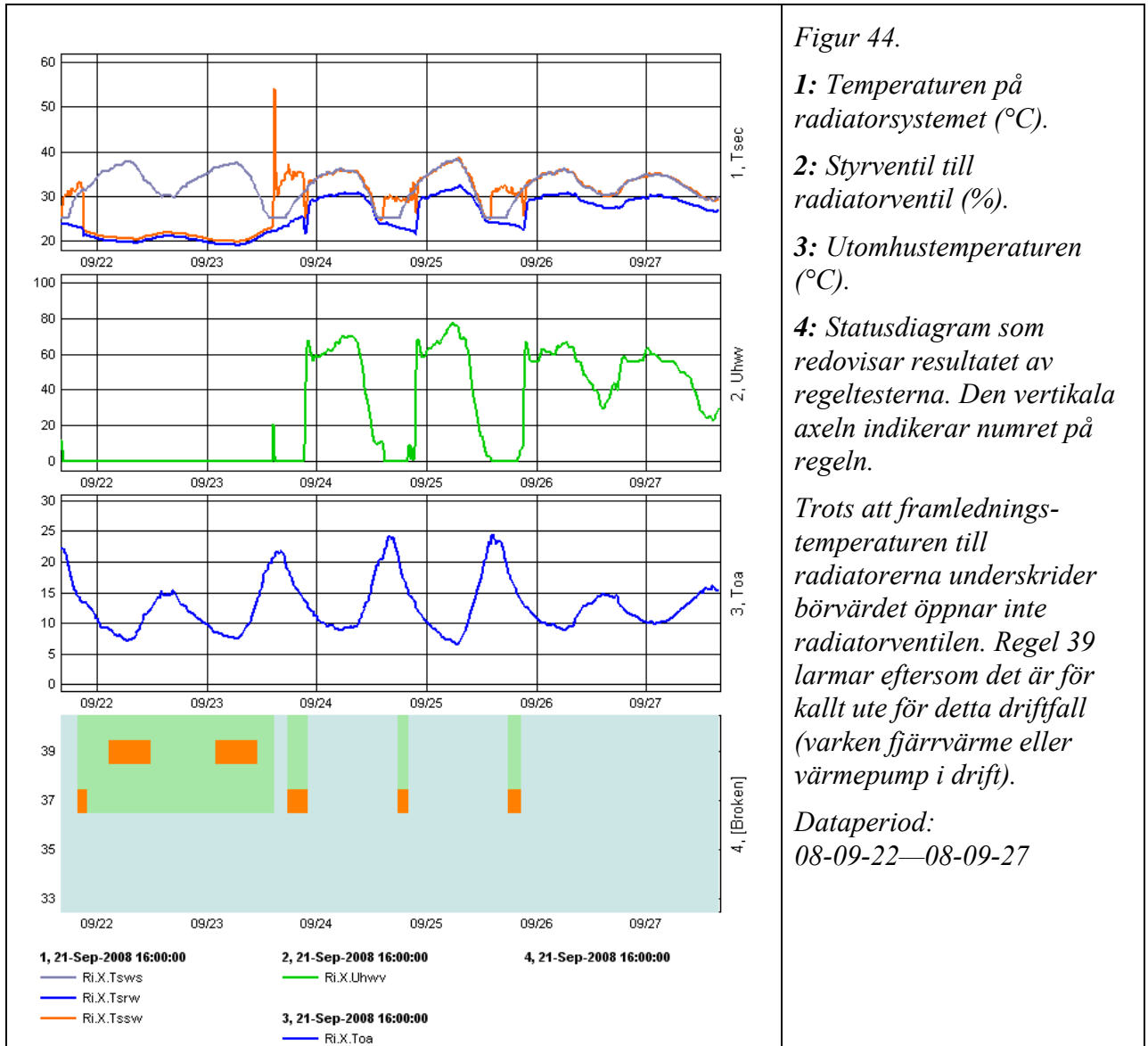
Regel 38 testar om returgivaren från radiatorsystemet antar ungefär samma värde som rumstemperaturen i undercentralen då inget värme tillförs. Regeln bryts 1.4% av tiden. Figur 43 visar att framledningsgivaren ibland antar temperaturer som är 10-15°C högre än rumstemperaturen.

En förklaring kan vara att givaren sitter nära värmväxlarpaketet och att värmeledning genom rör och stillastående vätska gör att givarkroppen värms upp.



Regel 39 testar om utomhustemperaturen ligger i ett rimligt intervall då inget värme tillförs byggnaden. Regeln är bruten 0.3% av tiden.

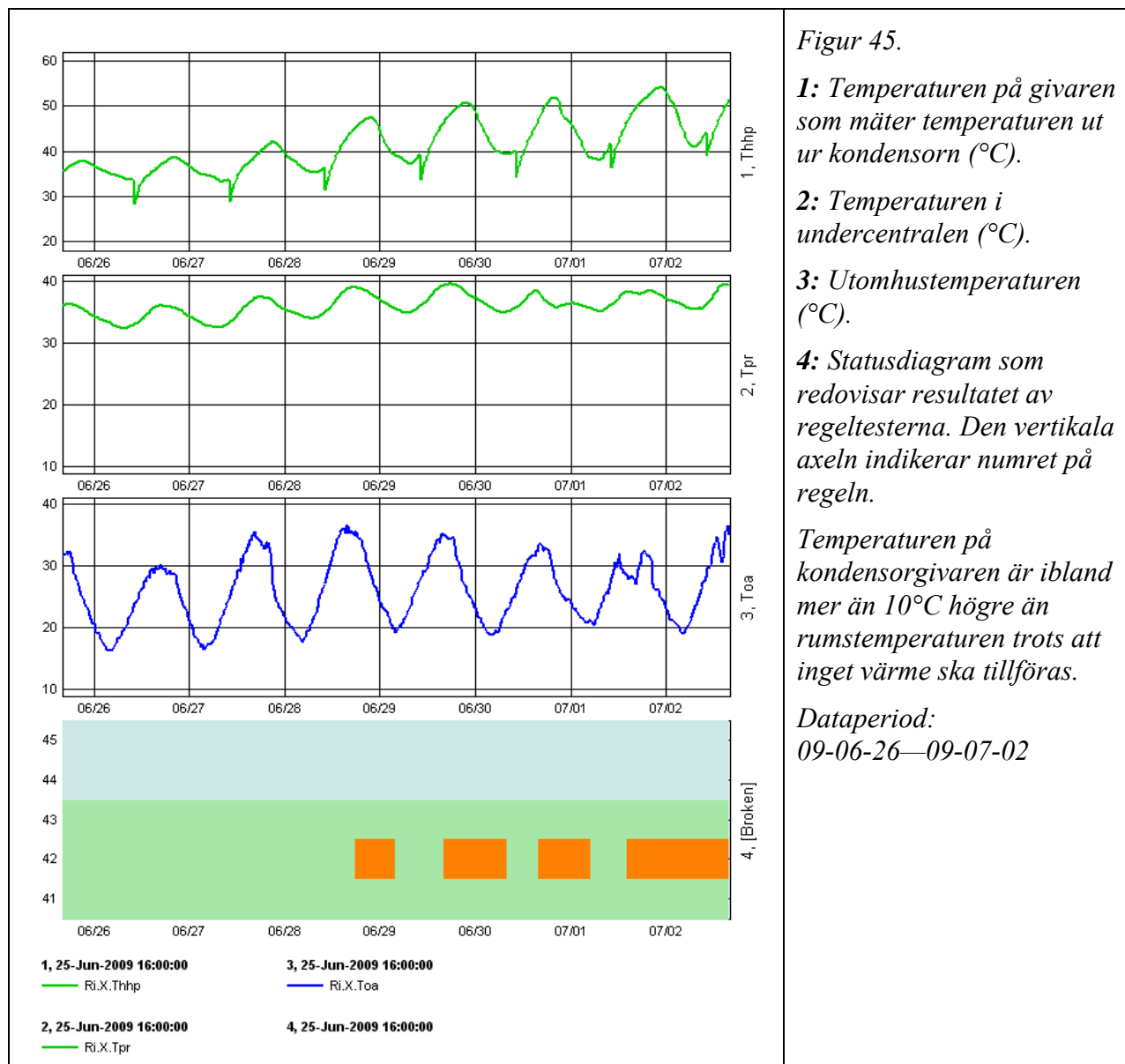
Figur 44 redovisar att framledningstemperaturen till radiatorsystemet kraftigt underskrider börvärdet under de två första dagarna i den redovisade perioden. Trots detta öppnar inte radiatorventilen för att tillföra mer värme. Regel 39 larmar eftersom utomhustemperaturen sjunker under $+10^{\circ}\text{C}$ i detta driftfall då varken värmepump eller fjärrvärme är i drift. Längre fram i perioden verkar problemet vara löst.



Regel 41 testar om eleffekten till fastigheten ligger inom rimliga gränser. Regeln är bruten 0.1% av tiden vilket inträffar då mätarna en kort period visar noll.

Regel 42 testar om givaren som mäter temperaturen ut ur värmepumpens kondensor antar ungefär samma värde som rumstemperaturen i undercentralen då inget värme tillförs. Regeln är bruten 1 % av tiden. Figur 45 visar att framledningsgivaren ibland antar temperaturer som är 10-15°C högre än rumstemperaturen.

En förklaring kan vara att givaren sitter nära värmeväxlarpaketet och att värmeledning genom rör och stillastående vätska gör att givarkroppen värms upp.



Figur 45.

1: Temperaturen på givaren som mäter temperaturen ut ur kondensorn (°C).

2: Temperaturen i undercentralen (°C).

3: Utomhustemperaturen (°C).

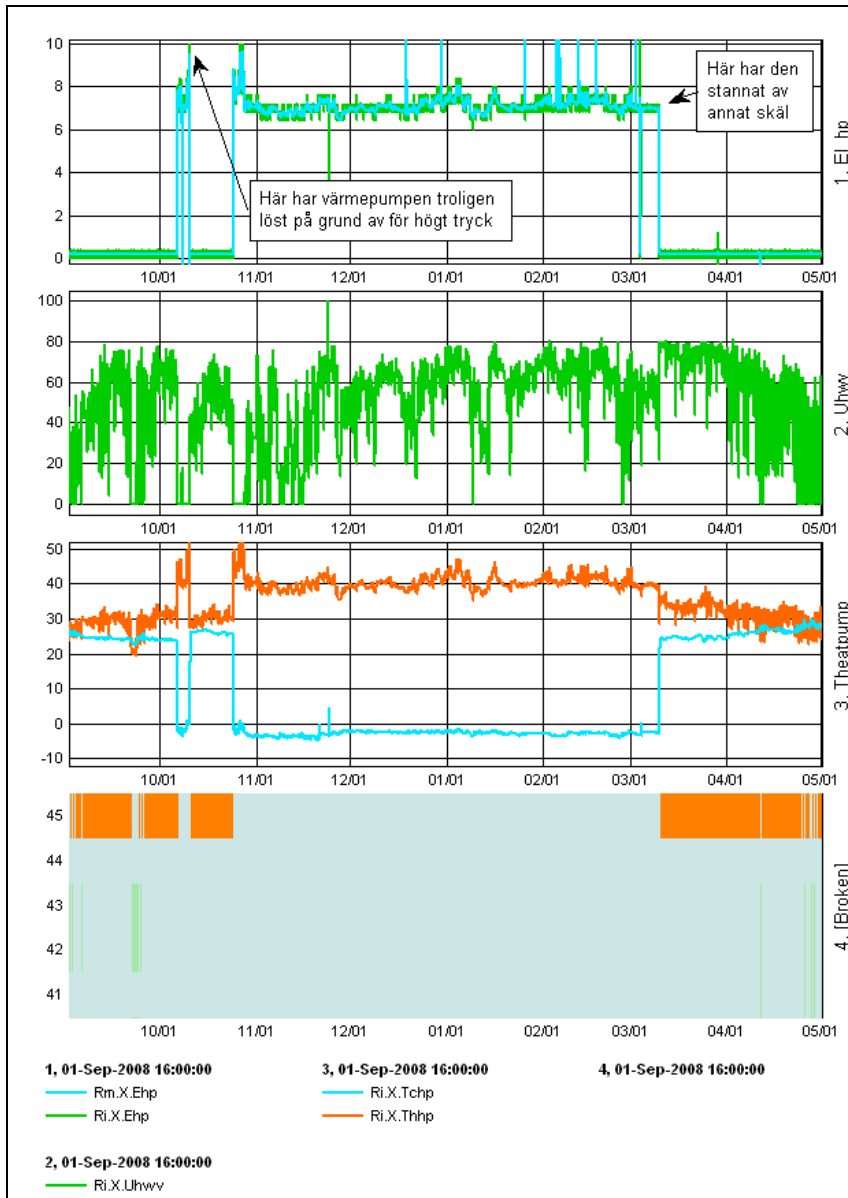
4: Statusdiagram som redovisar resultatet av regeltesterna. Den vertikala axeln indikerar numret på regeln.

Temperaturen på kondensorgivaren är ibland mer än 10°C högre än rumstemperaturen trots att inget värme ska tillföras.

Dataperiod:
09-06-26—09-07-02

Regel 45 testar om anläggningen går in i driftfall 4 vilket inte är tillåtet eftersom värmepumpen då är avstängd och fjärrvärmen reglerar. Regeln är bruten 42.8% av tiden.

Från utvärderingen av regel 27 vet vi att värmepumpen inte stänger av trots att framledningstemperaturen överskrider börvärdet. Figur 46 redovisar eleffekt till värmepump, styrsignal till radiatorventil och temperaturerna på kalla och varma sidan av värmepumpen. Mätningarna indikerar att värmepumpen löst ut på högt tryck och sedan stått stilla en period tills den återställts. I början av mars har värmepumpen stannat trots att varken eleffekten eller temperaturen vid kondensorn varit hög.



Figur 46.

- 1: Eleffekt till värmepump (kW).
- 2: Styrsignal till radiatorventil (%).
- 3: Temperaturen på värmepumpens kalla och varma sida (°C).
- 4: Statusdiagram som redovisar resultatet av regeltesterna. Den vertikala axeln indikerar numret på regeln.

Under stora delar av perioden tillförs fjärrvärme trots att värmepumpen inte är i drift.

Dataperiod:
08-09-01—09-05-01

Diskussion

Följande avvikelser har vi upptäckt när vi provat våra metoder i de två husen.

- ✓ periodvis dålig avkylning i fjärrvärmeundercentralen
- ✓ trasig temperaturgivare
- ✓ trasig frånluftfläkt i undercentral
- ✓ felaktig styralgoritm, det saknas en funktion som fördröjer aktiveringen av fjärrvärmen vid låg framledningstemperatur
- ✓ felaktig styralgoritm, värmepumpen stänger inte av trots att framledningstemperaturen är väsentligt högre än börvärdet
- ✓ hög inkommande kallvatten temperatur
- ✓ kraftigt försmutsat filter
- ✓ orolig reglering

Slutsatsen vi drar är att det behövs en bättre besiktningsprocess och kontinuerlig uppföljning för att säkerställa funktion och energiprestanda.

Mätinsamlingen har tagit orimligt mycket tid. Styrleverantörerna kvalitetssäkrar inte sitt arbete. I praktiken har vi kontrollerat mätningarnas kvalitet åt dem. Det behövs en produkt där export av standardiserade mätfiler till valfri e-post adress snabbt och kvalitetssäkrat kan drifvas utan att en omständig kontrollprocess ska genomföras.

När mätdata väl finns på datorn går det snabbt och rationellt att upptäcka avvikelser med Pia. I princip alla avvikelser har vi upptäckt genom att granska mätdata redan innan expertreglerna tillämpades.

Expertreglerna är dock ett bra stöd som kan minska kostnaderna för kontroll. Utan expertregler krävs en god förståelse av hur anläggningen är tänkt att fungera i kombination med uppmärksamhet vid datagranskningen. Det är lättare att låta reglerna peka ut perioder med avvikande beteende än att granskaren ska anstränga sig för att hela tiden minnas hur olika signaler bör förhålla sig till varandra.

Expertreglerna skulle kunna fungera som en del i en besiktningsrutin där expertregelpaketet tillämpas på mätdata för en sommar- och en vinterperiod och där anläggningen godkänns om inga regler bryts.

Det behövs ett gränssnitt för enkelt generera, spara och återanvända regler för olika typer av platsbyggda vvs-anläggningar.

Det är inte självklart hur parametervärden ska väljas för att hitta avvikelser samtidigt som falska larm undviks. Vi har i detta arbete resonerat oss fram till parametervärden som kan användas. Testerna tyder på att de har rimliga värden men de kan behöva justeras för att passa med andra anläggningar.

Expertreglerna ställer krav på god mätkvalitet. Flera av larmen beror på dålig upplösning hos mätutrustningen. Filtrering av mätdata bidrar till att minska falska larm.

För att bestämma driftfall saknade vi i dessa anläggningar en styrsignal till värmepumpen. Vi fick istället använda den uppmätta elanvändningen till kompressorn vilket medförde att denna signal var upptagen och inte kunde användas i någon regel.

I driftfall 4 testas endast en regel. Metoden bör vara utformad så att så många regler som möjligt testas i varje driftfall.

BILAGA 4

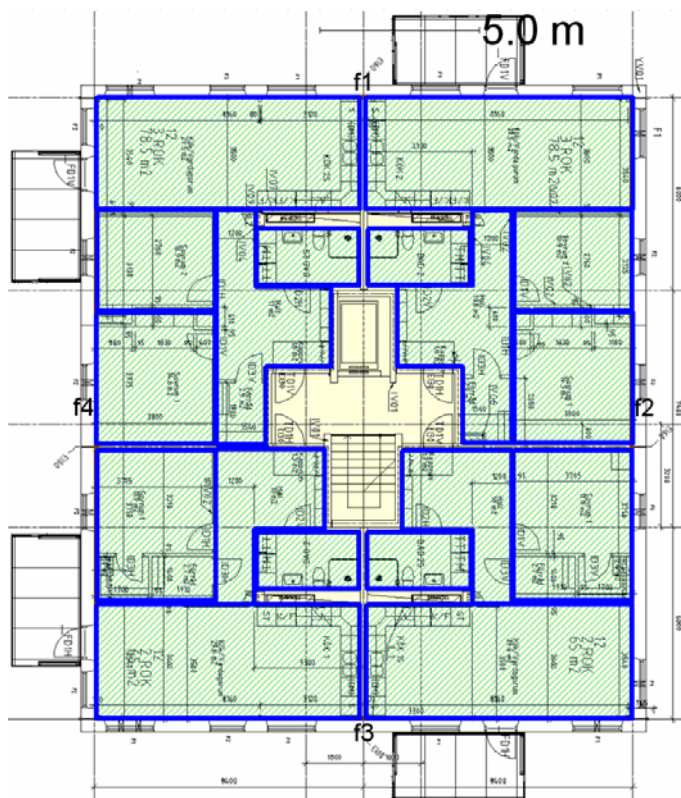
EN SIMULERINGSMODELL FÖR ATT TESTA ENERGISIGNATUREN

För att testa Energisignaturen (se bilaga 5) behöver vi en simuleringsmodell. Mätningar med tillräcklig omfattning och kvalitet är för dyrt. Att testa olika fall med simuleringsmodellen är relativt enkelt och vi slipper mätfel.

Sedan tidigare fanns en modell av det första huset som använts för att beräkna energianvändningen. Denna modell förfinades för att kunna användas vid testning av Energisignaturen. Vi uppfattar det som viktigt att modellen tar hänsyn till så många termodynamiska effekter som möjligt. Nedan beskriver vi modellen.

Vi använder simuleringsverktyget IDA Klimat och Energi 4.0 (beta 25.3). Tidssteget är variabelt och kan vid snabba transienter vara delar av sekunder. Modellen kopplas till en klimatfil med uppmätta timvärden för sex variabler; utomhustemperatur, solstrålning (direkt och diffus), vind (hastighet och riktning) och fuktighet. Klimatvariablernas värden beräknas genom interpolering för beräkningssteg som inträffar mellan hela timmar.

Figur 47 illustrerar en skärmdump från ett plan. Varje ruta indikerar en beräkningszon där mass- och värmbalanser beräknas. Vardagsrum/kök, sovrum och toalett utgör separata zoner. Hallen är en egen zon i tvårumslägenheten. I trerumslägenheten är hallen och klädkammaren hopslagna till en zon. Trapphuset utgör en zon, liksom hisschaktet. Mellan zonerna finns modeller för dörröppningar där ett luftutbyte sker så snart det uppstår en temperaturskillnad eller då ventilationen är obalanserad. På detta sätt modelleras ett plan noggrant. Eftersom alla plan är nästan identiska används multipler av zonerna för att täcka in hela huset i modellen. Transmissionsförluster genom grund och yttertak hanteras genom två separata zoner.



Figur 47. Skärmdump från beräknings-programmet över ett plan. Varje ruta är en beräkningszon där mass- och värmebalanser beräknas. Mellan zonerna finns modeller för dörröppningar där ett luftutbyte sker så snart det uppstår en temperaturskillnad eller vid obalanserad ventilation. Modellen är kopplad till en klimatfil med timvärden över utomhustemperatur, solstrålning, vind och fuktighet. Vi använder klimatfilen Bromma 1977.

Ventiler i ytterväggar modelleras enligt det faktiska utförandet. I vardagsrummet kan till exempel luften, beroende på vindförhållanden, strömma in genom en ventil och strömma ut genom en annan ventil på den andra ytterväggen. Förutom dessa ventiler modelleras ett vindberoende läckage som sätts till 1.0 l/s,m² vid 50 Pa tryckskillnad över fasaden. Detta läckage är betydligt högre än tryckprovningar visar men ska också täcka in vädring, en post som är svår att uppskatta.

Flödet genom läckor och ventiler beror, förutom på egenskaperna hos dessa, på vindförhållanden i klimatfilen och på tryckkoefficienter för fasaderna. Även om detta är en enkel modell är den bättre än att sätta en fast infiltration. Vindberoende läckage är mer realistiskt och skapar större spridning i data, något som är önskvärt då vi vill testa onoggrannheten hos Energisignaturen.

Om temperaturen i vardagsrum/kök överstiger +25°C öppnar balkongdörren. Denna funktion tänker vi oss motsvarar ett mänskligt beteende. Om inte denna funktion finns i modellen kommer temperaturen stiga och värmeenergianvändningen kommer att underskattas.

Fönster skuggas av balkongplattor och av skuggande byggnader. Dessutom tas hänsyn till fönstrens utvändiga nischdjup vilket reducerar solinstrålningen. Om solstrålningen överstiger en viss nivå kommer ett mellanliggande solskydd att dras för. Detta tänker vi oss motsvara hur människor kommer att agera när solinstrålningen blir för stark.

Radiatorernas storlek och placering är enligt det faktiska utförandet. Radiatorerna styrs att hålla +22°C. Regulatorernas P-band är 2°C. Framledningstemperaturen är inställd enligt mätningar.

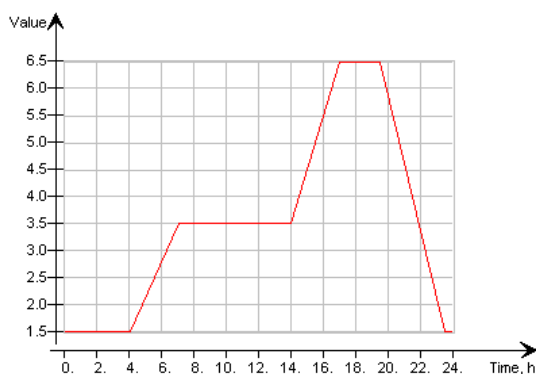
Klimatskalet modelleras med endimensionell värmeledning. Värmeövergångskoefficienterna är variabla på både in- och utsida. Att solstrålningen värmer utsidan av väggen beaktas. Kölbryggor medräknas. Fönsterkarmar och –omfattningar behandlas detaljerat. Övriga köldbryggor (bjälklags- och innerväggsanslutningar, ytterhörn) ges schablonvärden.

Människor antas vara ständigt närvarande i vardagsrum/kök och sovrum. Belastningen är ungefär 1 W/m² men varierar beroende på rumstemperatur och fuktighet.

Förluster från radiatorkretsen (rörförluster, värmeförluster i undercentral och läckage i radiatorventiler) sätts till 10 % av i varje beräkningssteg tillfört värme i radiatorerna. Förluster från rören i undercentralen och varmvattencirkulationen sätts till 1 W/m² vilket är i nivå med vad vi ser i mätningarna. Båda dessa förluster fördelas i zonerna proportionellt mot golvarean.

Tappvattenanvändningen beror endast på beteendet och saknar därför intresse i denna studie.

Från mätningarna känner vi till dygnsprofilen för de interna värmelasterna (figur 48). Vi utgår från att all hyresgästel blir värme och fördelar denna proportionellt mot golvarean.

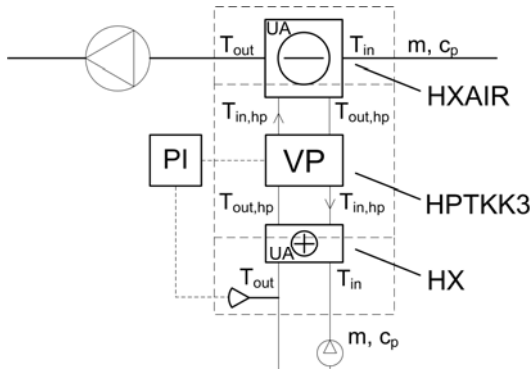


Figur 48.

Dygnsprofil (W/m²) för de interna värmelasterna. Profilen baseras på mätningar av hyresgästelen för 30 lägenheter i hus 2.

Frånluften kyls av ett batteri som är kopplat till en värmepump via direktexpansion. Värmepumpen försörjer radiatorsystemet som spetsas med fjärrvärme. Värmepumpen har kontinuerlig reglering och modelleras med fyra komponentmodeller;

frånluftbatteriets/förångarens luftsida (HXAIR), värmepumpen (HPTKK3), kondensorns vattensida (HX) och en regulator.



Figur 49. Schematisk beskrivning av hur frånluftvärmepumpen i värmesystemet i exempelbyggnaden modelleras.

T står för temperatur ($^{\circ}\text{C}$) och Q för värmeeffekt (W). c_p är specifika värmekapaciteten ($\text{J}/\text{kg}, ^{\circ}\text{C}$) och m är flödet (kg/s) för vatten respektive luft. UA är en parameter som beskriver storleken på den värmeöverförande ytan (W/K).

Modellerna HX och HXAIR består av två ekvationer där beteckningarna framgår av figur 49 och figurtexten.

$$T_{out} = T_{in, hp} - (T_{out, hp} - T_{in}) \cdot e^{-\frac{UA}{c_p \cdot m}} \quad (45)$$

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (46)$$

I länken mellan värmepumpen och respektive värmeväxlare sätts

$$T_{in, hp} = T_{out, hp} \quad (47)$$

Detta medför att modellen inte hanterar eventuella förändringar i köldmediets temperatur när det passerar förångaren respektive kondensorn.

HPTKK3 beskrivs med följande ekvationer:

$$Q_{cond} = P \cdot \underbrace{\frac{T_{cond} + 273}{T_{cond} - T_{evap}}}_{\text{Carnot verkningsgrad}} \cdot \eta_{h, nom} \cdot \underbrace{\left(A \cdot ctrl^2 + B \cdot ctrl + C \right)}_{\text{Denna term bidrar endast om VP går på dellast}} \quad (48)$$

$$Q_{evap} = Q_{cond} - P \quad (49)$$

$$T_{cond} = T_{out, hp} + \Delta T_{cond} \quad (50)$$

$$T_{evap} = T_{out, hp} - \Delta T_{evap} \quad (51)$$

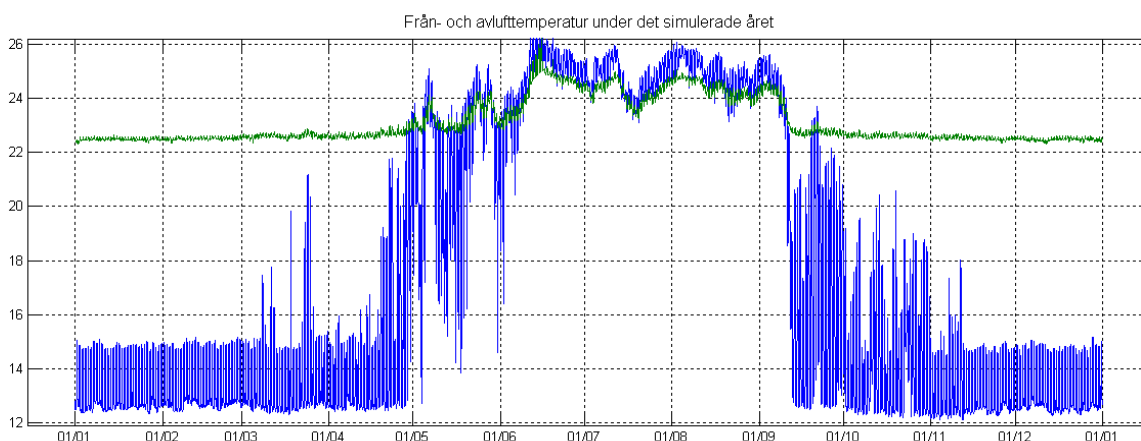
Q_{cond} är kondensorvärmens, Q_{evap} är förångningsvärmens och P den tillförda kompressorens. T_{cond} är kondenseringstemperaturen och T_{evap} förångningstemperaturen. $\eta_{h, nom}$ är en fiktiv verkningsgrad som tillsammans med Carnotverkningsgraden ger värmefaktorn då värmepumpen går på fullast. Om den går på dellast justeras värmefaktorn med den högra termen där A , B och C är fasta värden med summan 1 och $ctrl$ är styrsignalen. ΔT_{cond} och ΔT_{evap} är fasta värden som beskriver skillnaden mellan kondensering- respektive förångningstemperaturen och utgående temperaturer som ett resultat av att värmeväxlarna har begränsad värmeöverföring.

Observera att värmeöverföringen mellan köldmedium och från värmeväxlarna utgående luft- respektive vattentemperatur består både av en fast temperaturskillnad och ett UA -värde.

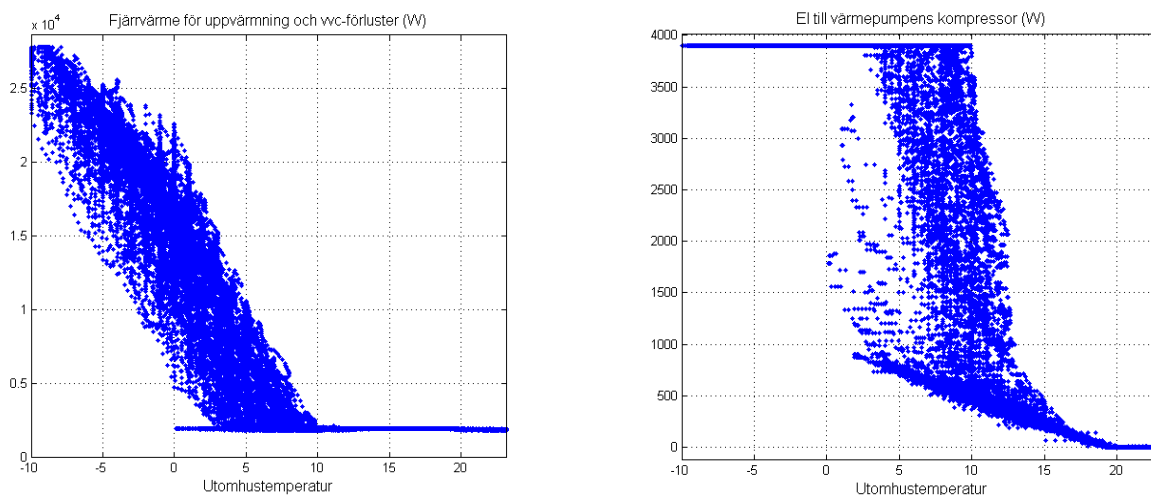
IDA's ekvationslösare ställer upp alla ekvationer och löser systemet simultant vilket betyder att förångnings- och kondenseringstemperaturerna i varje beräkningssteg kommer att bero på aktuella driftförhållanden som inkommande luft- och vattentemperatur, luft- och vattenflöden

och styrsignalen liksom fasta parametervärden som kompressorel vid fullast, UA-värden och temperaturskillnad mellan kondenserings- respektive förångningstemperaturen och utgående temperaturer.

I figur 50 och 51 redovisas några resultat från simuleringen; dels temperaturen hos från- och avluften, dels effekten till värmepumpens kompressor och fjärrvärmeeffekten för uppvärmning. Spridningen i data i energisignaturerna indikerar att modellen tar hänsyn till många fler effekter än utomhustemperaturen vilket var ett viktigt krav då vi gjorde modellen.



Figur 50. Från- och avlufttemperatur. Frånlufttemperaturen är under den kalla årstiden högre än de $+22^{\circ}\text{C}$ som radiatorerna styr mot. Detta beror på att P-regulatorer som ger ett proportionalfel används. Under sommaren reglerar värmepumpen ned och avlufttemperaturen är då högre än frånluftstemperaturen eftersom frånluftfläkten värmer luftströmmen. Avluften kyls till cirka $+12.5^{\circ}\text{C}$ vid normalflöde. Då luftflödet forceras (30% forcering mellan kl. 11.30 och 18.30 dagligen) kyls avluften till cirka $+15^{\circ}\text{C}$.



Figur 51. Energisignaturer för fjärrvärme (inklusive vvc-förluster men exklusive tappvarmvatten) och kompressorel till värmepumpen. Varje punkt motsvarar ett 15-minuters momentanvärde.

BILAGA 5

NORMALISERING OCH PROGNOIS MED ENERGISIGNATUREN

Bakgrund

Energisignaturen är en av de metoder som föreslås i kommentaren till normen för att korrigera energiprestanda för vädrets avvikelse från normalår (Elmroth, 2006). Principerna för energisignaturen redovisas i standarden SS-EN 15603-2008.

Byggnormer och standarder ger dock begränsat med information om hur den normaliserade energianvändningen ska beräknas med hjälp av energisignaturen. Det är också okänt vilken onoggrannhet som kan förväntas.

Schulz (2003) har utrett olika metoder för normalårskorrigering av byggnaders energianvändning. Jämförelsen omfattar energisignaturen och graddagskorrigering. Utvärderingen görs på mätdata med månadsupplösning från olika byggnadstyper placerade på olika orter. Korrigering för avläsning på fel dag är en central del av rapporten.

Mycket vore vunnet om det redan kort tid efter färdigställande gick att förutsäga energianvändningen på årsbasis. Det är till exempel önskvärt att så tidigt som möjligt få reda på om byggnaden använder för mycket energi för att tidigt kunna vidta åtgärder.

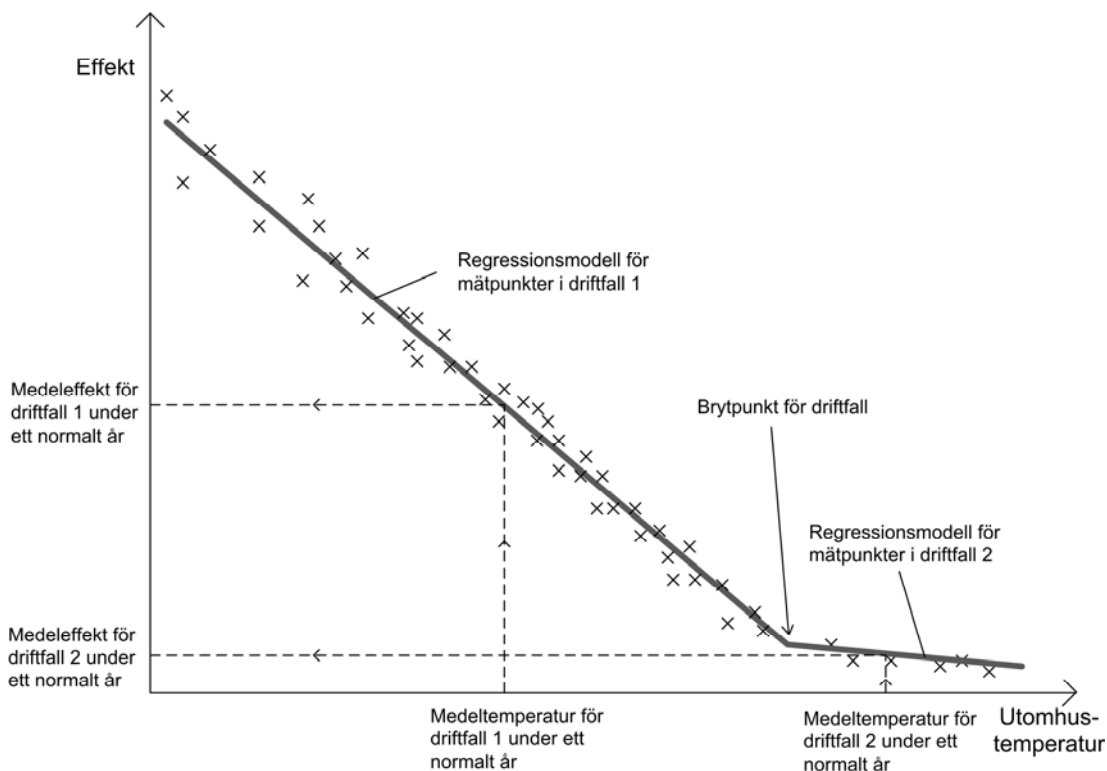
I detta projekt har vi utvecklat ett verktyg, EnergySignature, för att dels utforma en metod för prognos och normalisering och dels testa metodens onoggrannhet.

Normalisering med energisignaturen

Energisignaturen kan användas för att stödja normalisering av de energiposter i byggnaden som har ett starkt beroende av utomhustemperaturen. Värme till rumsapparater och luftbehandling, el till värmepumpar och kyla till rumsapparater och luftbehandling är exempel på sådana energiposter.

I figur 52 redovisas en schematisk energisignatur för en byggnad med ventilationen i kontinuerlig drift till exempel ett flerbostadshus. Metoden kan delas upp i följande steg:

1. Välj tidsupplösning för mätdata och granska energisignaturens utseende.
2. Bestäm brytpunkter genom att dela in mätdata i olika driftfall efter utomhustemperaturen.
3. Använd ett normalt år för att bestämma hur många timmar som respektive driftfall föreligger och vilken medeltemperatur för utomhustemperatur som råder för respektive driftfall.
4. Anpassa en rät linje till mätvärden för varje driftfall.
5. Använd medeltemperaturen för normalåret och den räta linjen i de olika driftfallen för att läsa av medeleffekten för varje driftfall.
6. Summera produkterna av medeleffekt och timmar för alla driftfall.



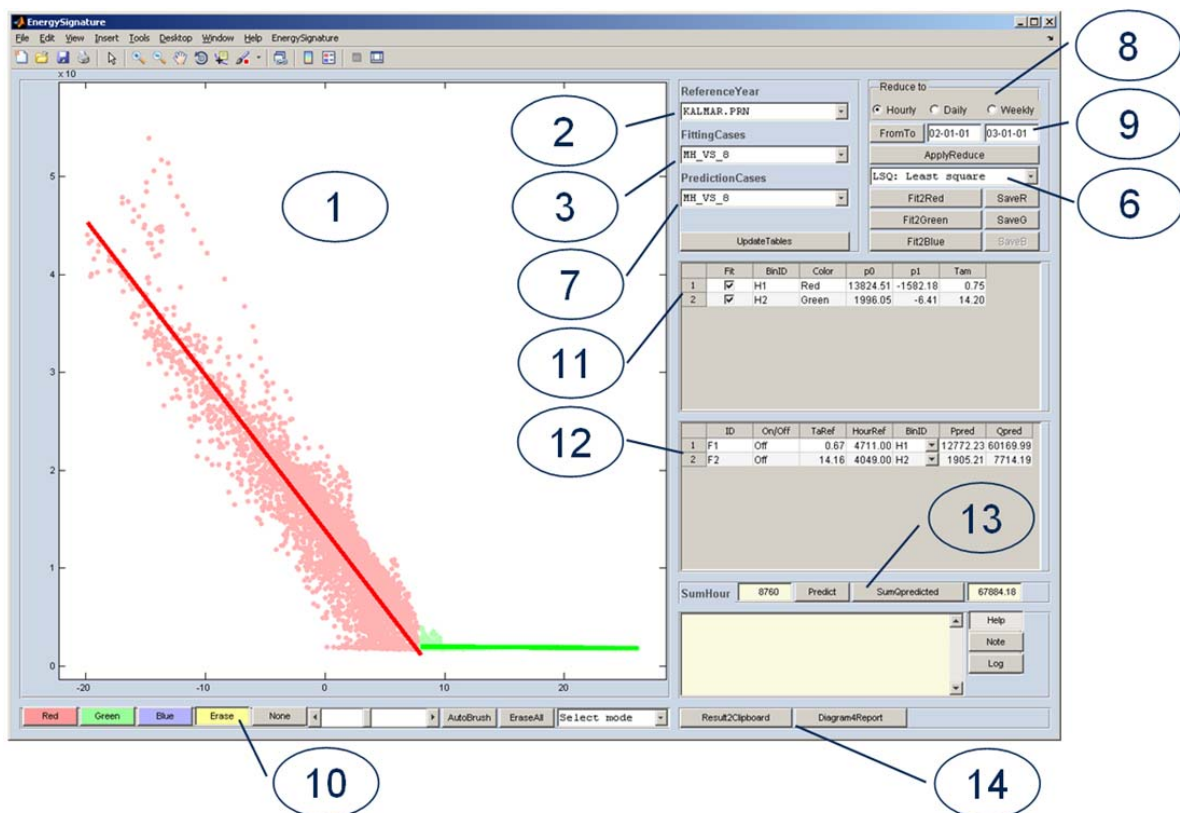
Figur 52. Energisignaturen stödjer en metod för att prognostisera och normalisera energiposter som beror av utomhustemperaturen.

EnergySignature

EnergySignature är dels ett verktyg för att prognostisera och normalisera energianvändningen med energisignaturen, dels ett verktyg för att utveckla och testa onoggrannheten hos energisignatur-metoden. Verktøget har implementerats i Matlab och innehåller funktionerna som listas nedan. Figur 53 indikerar funktionernas placering i gränssnittet. Numreringen sammanfaller med den i listan.

1. Ett diagramfönster där en valfri effekt (värme, kyla eller el) avbildas som funktion av utomhustemperaturen. Varje mätvärdespar utgör en punkt i diagrammet.
2. Val av godtyckligt normalår. Klimatfilen ska innehålla timvärden för utomhustemperaturen. Formatet sammanfaller med det format som används i simuleringsprogrammet IDA Klimat och Energis klimatfiler.
3. En dialogruta för att dela in data i ett godtyckligt antal driftfall beroende på utomhustemperatur och driftfall för olika installationer (vanligtvis ventilationssystemet).
4. Indikering av mätpunkterna i respektive driftfall sker automatiskt i olika färger.
5. Anpassning av en rät linje till mätpunkterna i respektive driftfall. En anpassning görs för varje driftfall.
6. Olika metod för anpassning. Två metoder är implementerade; minsta kvadratmetoden och minsta absoluta avvikelsetmetoden.

7. Indelning av prediktionen i ett godtyckligt antal fall. De olika fallen beror på utomhustemperatur, driftfall för olika installationer och typ av dag (vardag eller helgdag). Ofta sammanfaller dessa med driftfallen enligt punkt 5.
8. Medelvärdesbildning av mätdata. Rådata laddas då verktyget startas. Sedan kan timmedel-, dygnsmedel- eller veckomedelvärden väljas.
9. Möjlighet att endast använda mätdata för en del av hela mätperioden.
10. Möjlighet att utesluta mätpunkter innan anpassningen görs. Detta kan vara aktuellt om vissa data är registrerade under en period när avvikelser funnits i anläggningen eller då servicearbeten pågått i byggnaden. Detta urval kan göras antingen interaktivt i diagramfönstret eller genom att en variabel (isOK) genereras innan verktyget startas.
11. En tabell som listar driftfallen och egenskaper för de anpassade linjerna samt mätdatas medeltemperatur för respektive driftfall.
12. En tabell som listar prediktionsfallen, antal timmar och medeltemperatur för respektive fall enligt referensåret (klimatfilen). Ett driftfall kopplas till respektive prediktionsfall. Den predikterade medeleffekten och energisumman listas också.
13. Automatisk summering av den predikterade energin för respektive prediktionsfall till en totalsumma.
14. Enkel export av resultattabellerna och diagrammet till en rapport.

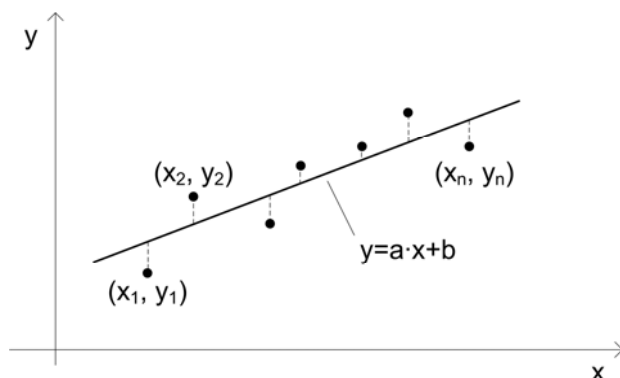


Figur 53. EnergySignature är ett verktyg för att utveckla metoden omkring energisignaturen.

Regressionsmetoder i EnergySignature

I vårt arbete med energisignaturen utgår vi från att det (på vissa intervall) finns ett linjärt samband mellan effekten och utomhustemperaturen. I EnergySignature finns därför två linjära regressionsmetoder implementerade; minsta kvadratmetoden (Least square, LSQ) och minsta absoluta avvikelsetmetoden (Least absolute deviation, LAD).

Minsta kvadratmetoden är en metod för att hitta den raka linje som bäst passar till mätdata. Figur 54 illustrerar en sådan regressionslinje, $y=ax+b$, där a och b är okända koefficienter.



Figur 54.

Regressionslinje genom datapunkter.

Med minsta kvadratmetoden kan dessa koefficienter bestämmas genom att summan av kvadraten av de vertikala skillnaderna mellan mätpunkterna och linjen (d.v.s. skillnaden mellan mätvärde och modellvärde enligt regressionslinjen) minimeras. Ekvation 52 beskriver hur den summa (S) som ska minimeras beräknas där n är antalet mätvärden.

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\underbrace{y_i}_{\text{mätvärde}} - \underbrace{a \cdot x_i - b}_{\text{modellvärde}} \right)^2 \quad (52)$$

Minsta absoluta avvikelsetmetoden fungerar på ett likartat sätt men där minimeras istället summan av absolutbeloppen av de vertikala skillnaderna mellan mätpunkterna och linjen enligt ekvation 53.

$$S = \sum_{i=1}^n \left| \underbrace{y_i}_{\text{mätvärde}} - \underbrace{a \cdot x_i - b}_{\text{modellvärde}} \right| \quad (53)$$

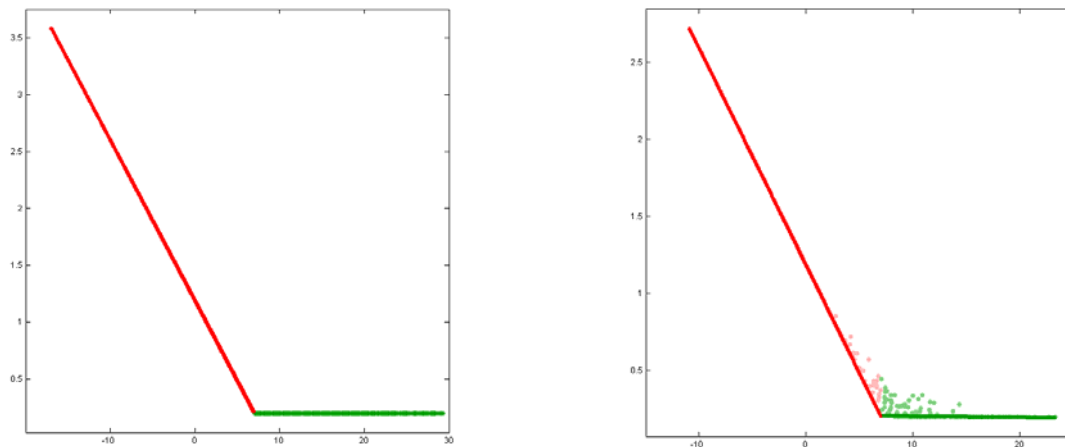
Enligt matematikboken är minsta kvadratmetoden att föredra. Man bör dock observera att mätpunkter som ligger långt från regressionslinjen ("outliers") kommer att påverka linjens lutning och läge mer än punkter nära eftersom skillnaden kvadreras. Om en sådan "outlier" beror på att det funnits en avvikelse i anläggningen bör detta mätvärde inte medräknas i regressionen med Minsta kvadratmetoden om beräkningen ska ske för en felfri period.

Motivet till att vi implementerade också LAD-metoden var att vi intuitivt anade att denna skulle ge ett bättre resultat eftersom inverkan från "outliers" blir mindre.

Test av metod

För att testa verktyget EnergySignature genomför vi ett enkelt test. En signal bestående av timvärden för ett helt år genereras i ett kalkylark. Utomhustemperaturen i klimatfilen (Bromma 1977) används som indata. Utdata är en funktion som genererar en förenklad energisignatur utan spridning (se figur 55, vänstra diagrammet). Signalens utdata-värden summeras för hela året och summan jämförs med prediktionen med EnergySignature. Resultatet med olika brytpunkt för driftfall, regressionsmodell och medelvärdesbildning visas i tabell 5. Avvikelsen mellan prediktion och summering beräknas enligt ekvation 54:

$$\text{Avvikelse} = \frac{\text{Prediktion med EnergySignature} - \text{Årssumma signal}}{\text{Årssumma signal}} \quad (54)$$



Figur 55. En enkel signal som efterliknar en energisignatur används för att testa vilka fel som införs vid prediktion med EnergySignature. Det vänstra diagrammet visar rådata (timvärden), det högra dygnsmedelvärden. Linjerna är anpassade till data med minsta kvadratmetoden. Observera att skalan på de vertikala axlarna är olika och alltså lutningarna endast är skenbart lika varandra.

Tabell 5. Avvikelse mellan prediktion med EnergySignature och summering i kalkylark.

	Brytpunkter för driftfall, utomhustemperatur (°C)	Medelvärdesbildning data	Regressionsmetod	Avvikelse (%) mellan prediktion och årssumma
Test 1	+7	Timmedel	LSQ	-0.02
Test 2	+7	Dygnsmedel	LSQ	+2.25
Test 3	+7	Veckomedel	LSQ	+3.32
Test 4	+7	Timmedel	LAD	-0.02
Test 5	+7	Dygnsmedel	LAD	+0.16
Test 6	+7	Veckomedel	LAD	+1.74

Skillnaden mellan prediktion och summering är liten då timvärden (rådata) används.

När timvärden medelvärdesbildas över ett dygn eller en vecka kommer värden från de olika driftfallen att ingå i medelvärden nära brytpunkten. Detta medför att vi skapar en spridning i

området nära brytpunkten som inte finns i de ursprungliga data. Denna effekt kan iaktas i det högra diagrammet i figur 55.

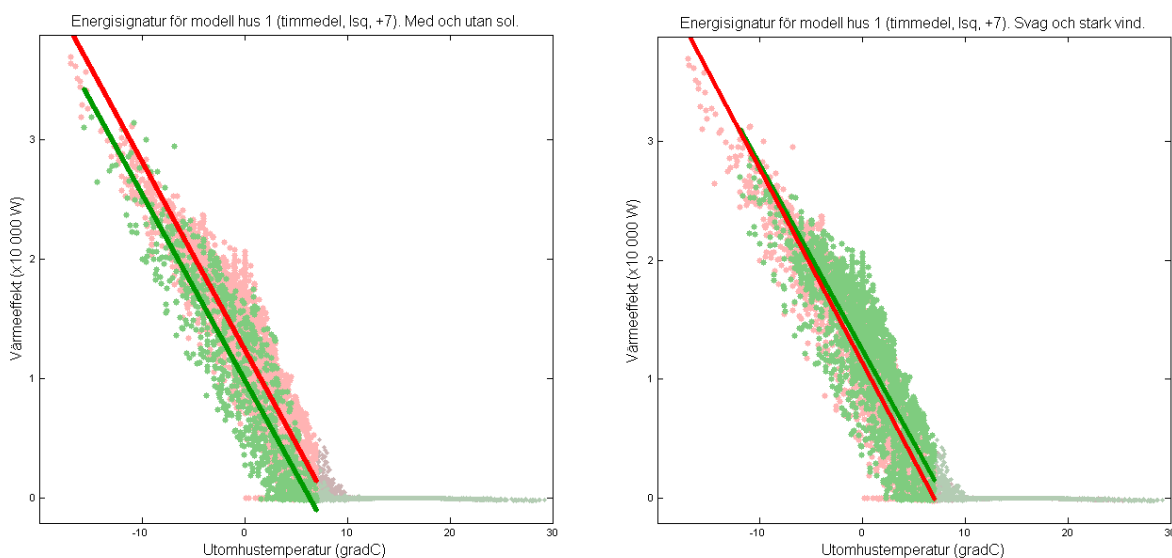
Slutsatsen vi drar är att beräkningsalgoritmen i EnergySignature bör justeras. Ett annat alternativ är att inte medelvärdesbilda mätdata.

Beroendet av andra variabler än utomhustemperaturen

I en byggnad där uppvärmningen endast berodde på utomhustemperaturen skulle energisignaturen likna den enkla signal som vi använde i förra avsnittet; mätpunkterna skulle bilda en linje utan spridning. I verkligheten beror energianvändningen för uppvärmning på många fler faktorer till exempel solstrålning, vindförhållanden och interna värmelaster. Dessutom kommer lagring av värme i byggnadsstommen till följd av temperaturvariationer över dygnet att påverka spridningen.

Vi kan till exempel tydliggöra solens inverkan på spridningen (figur 56, vänster) genom att använda simuleringsresultatet och rita en energisignatur för uppvärmning med fjärrvärme. Data för tidpunkter där huset värms av solstrålning (d.v.s. när den direkta solstrålningen i klimatfilen överstiger 1 W/m^2) markeras i grönt och data utan solstrålning markeras i rött. Vi gör också en regression med minsta kvadratmetoden på intervallet upp till $+7^\circ\text{C}$ (timmedelvärden) för de två datamängderna. För samma utomhustemperatur är effektbehovet lägre då solstrålning påverkar huset. Solstrålningen inträffar dagtid då de interna värmelasterna är högre vilket förstärker skillnaden eftersom höga internlasterna minskar uppvärmningsbehovet.

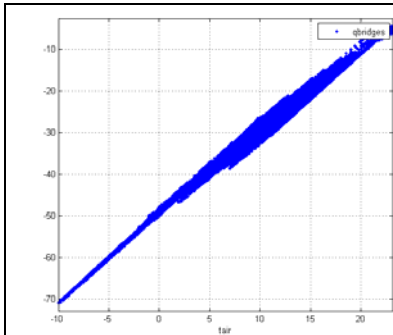
På samma sätt kan vi markera data för tidpunkter med svag respektive stark vind. I figur 56 (höger) är data med vindhastighet lägre än 3 m/s markerat i rött och högre än 3 m/s markerat i grönt. Här är skillnaden mindre men observera återigen att många variabler samverkar; dagtid ökar solinstrålningen (minskat värmebehov) vilket medför att vindhastigheten ökar (ökat värmebehov). Samtidigt ökar de interna värmelasterna (minskat värmebehov). Dessutom påverkar den termiska lagringen i byggnadsstommen.



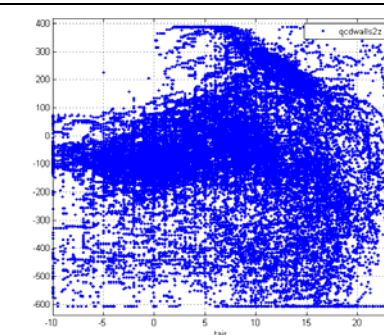
Figur 56. Fjärrvärme för uppvärmning som funktion av utomhustemperatur enligt den tidigare beskrivna simuleringsmodellen. Spridningen i data beror på att effektbehovet inte endast beror på utomhustemperaturen. Solstrålning, vind, interna värmelaster och byggnadens dynamik påverkar också.

Till vänster är data med solstrålning grönmarkerade och data utan sol rödmarkerade. Till höger är data med stark vind ($>3 \text{ m/s}$) grönmarkerade och svag vind ($<3 \text{ m/s}$) rödmarkerade.

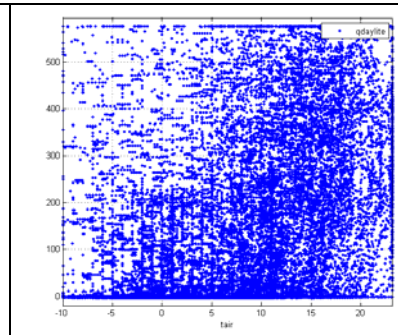
En bättre förståelse kräver att man studerar värmebalanserna i de enskilda beräkningszonerna. I figur 57a-f ritas de poster i värmebalanserna för en av zonerna (kök/vardagsrum) som funktion av utomhustemperaturen för att indikera vilka poster som beror på utomhustemperaturen.



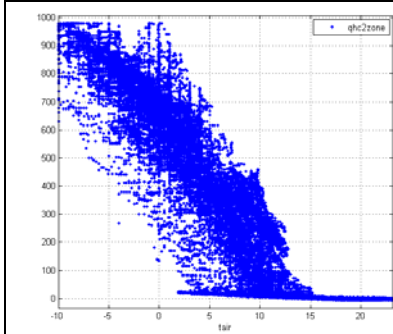
Figur 57a. Värmeförluster genom köldbryggor är direkt proportionell mot skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperatur.



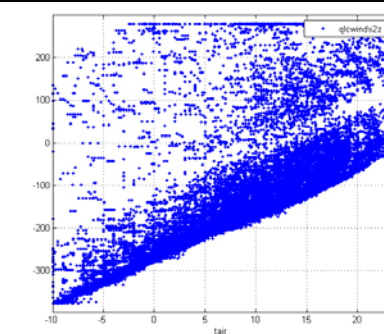
Figur 57b. Värmeutbyte med byggnadsstommen via transmission och lagring.



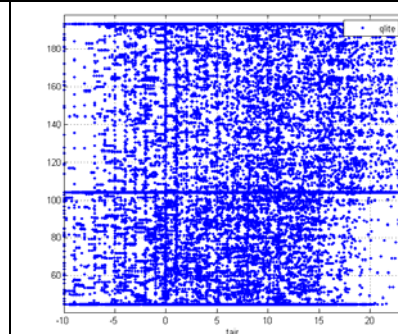
Figur 57c. Värmetillskott från direkt solstrålning.



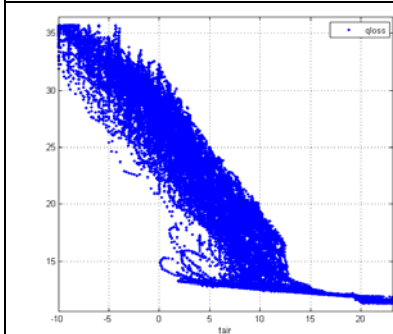
Figur 57d. Värmetillskott från rumsvärmare som försöker hålla +22°C i zonen.



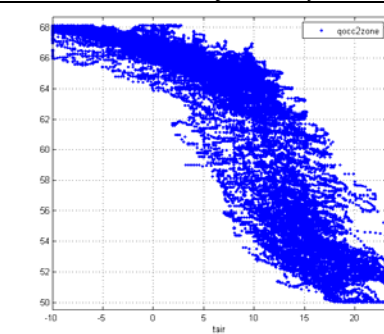
Figur 57e. Värmeutbyte p.g.a. långvågig strålning och konvektion med fönsterytan.



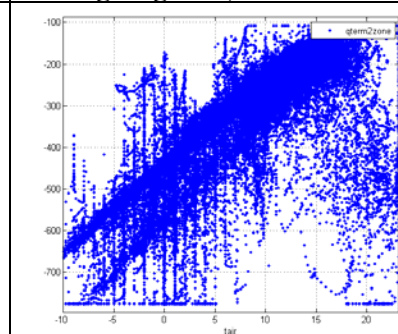
Figur 57f. Värmetillskott från interna värmelaster (belysning, matlagning, etc.)



Figur 57g. Värmetillskott från rörförluster (radiatorer och vvc-slinga).



Figur 57h. Värmetillskott från människor. Tillskottet beror på temperatur och fukt i zonen som i sin tur beror på utomhustemperaturen.



Figur 57i. Värmeförluster p.g.a. luftutbyte via väggventiler, vädning och luftströmning genom öppna dörrar till andra zoner.

Utvärdering av metodfel med simulerade värden

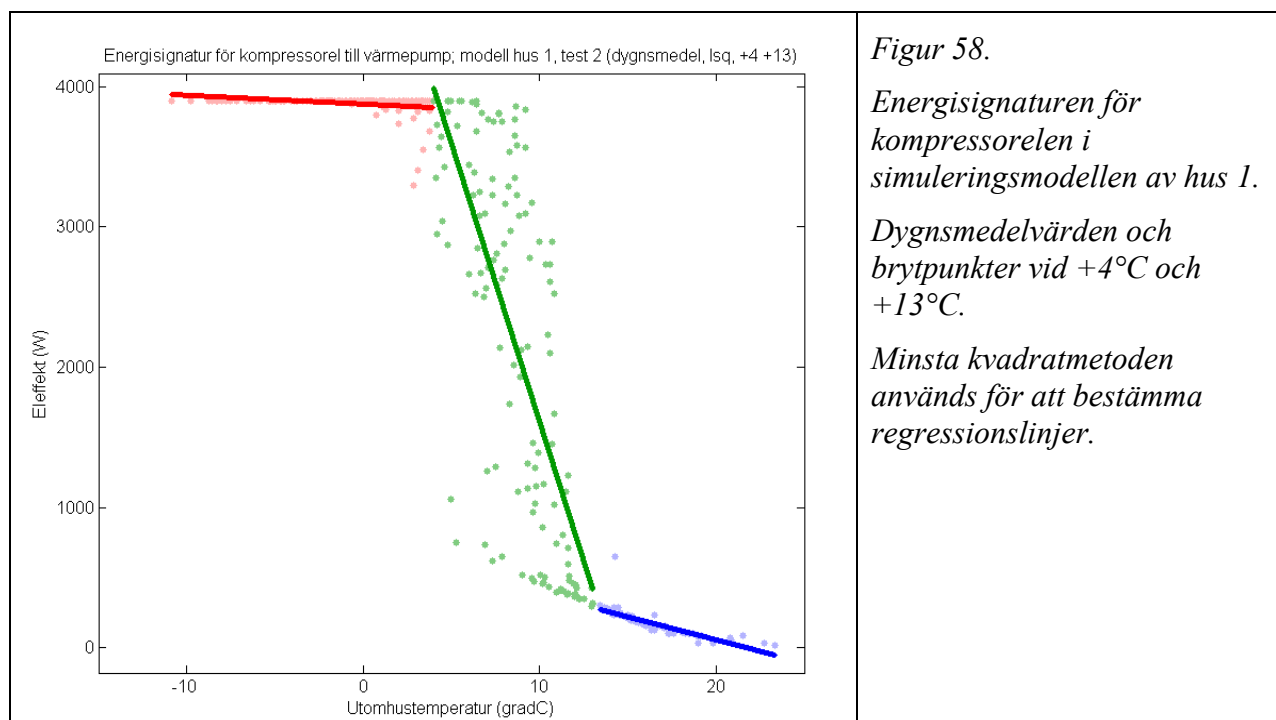
Vi använder nu simuleringsmodellen som beskrevs i förra avsnittet för att testa vilka fel som införs vid prediktion med EnergySignature. Vi gör en enkel känslighetsanalys genom att variera brytpunkt för driftfall, medelvärdesbildning och regressionsmetod.

Från simuleringsmodellen loggar vi 15-minuters momentanvärden som vi läser in i EnergySignature. Som referensår vid prediktionen används samma klimatfil som vid simuleringen (Bromma 1977). Hela det simulerade årets resultat används vid prediktionen.

I IDA Klimat och Energi finns en komponentmodell av en energimätare som summerar energianvändningen för varje tidssteg under året. Det är denna summa som vi anser vara den korrekta energianvändningen och som används för jämförelse med prediktionen. Ekvation 55 definierar den parameter, avvikelse, som redovisas i tabell 6 och 7 som ett mått på överensstämmelsen.

$$\text{Avvikelse} = \frac{\text{Prediktion med EnergySignature} - \text{Simulerad årsenergianvändning}}{\text{Simulerad årsenergianvändning}} \quad (55)$$

Figur 58 visar energisignaturen och regressionslinjer för kompressoren till värmepumpen där vi använder dygnsmedelvärden, minsta kvadratmetoden och där brytpunkterna sätts till +4°C och +13°C. Brytpunkterna innebär i detta fall att värmepumpen går maximalt om utomhustemperaturen understiger +4°C, är avstängd om utomhustemperaturen överstiger +13°C och reglerar däremellan.



Figur 58.

Energisignaturen för kompressoren i simuleringsmodellen av hus 1.

Dygnsmedelvärden och brytpunkter vid +4°C och +13°C.

Minsta kvadratmetoden används för att bestämma regressionslinjer.

Tabell 6 redovisar arton prediktioner av kompressorel till värmepumpen där vi varierar brytpunkt för driftfall, medelvärdesbildning och regressionsmetod.

I samtliga fall är avvikelserna lita då timmedelvärden används. Avvikelsen ökar med medelvärdesbildningen. Orsaken till detta har beskrivits under avsnittet ”Test av metod” ovan. Skillnaden mellan de två regressionsmetoderna är liten. Ändring av brytpunkt och införandet av ytterligare en brytpunkt gör i detta fall inga stora skillnader. Detta behöver dock studeras noggrannare, vi vet inte var de bästa brytpunkterna ligger.

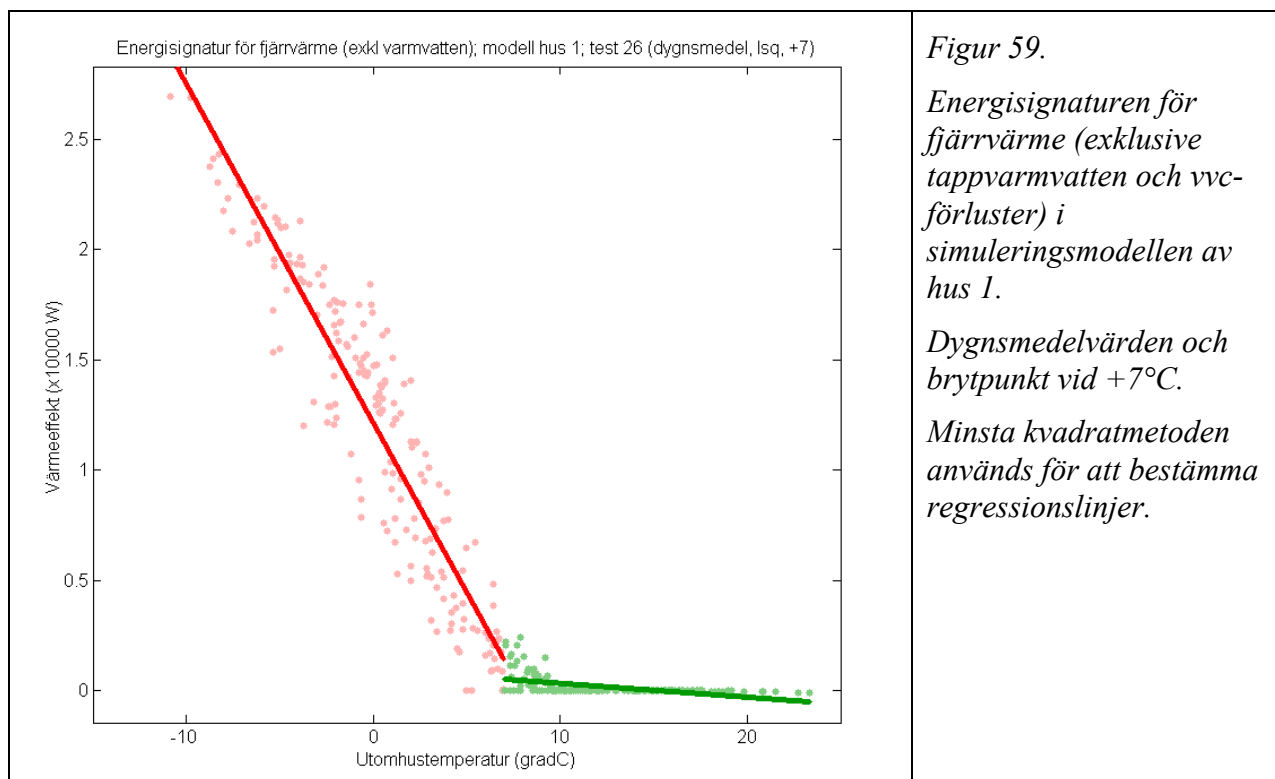
Vid användandet av timmedelvärden är avvikelserna under 1% i samtliga fall. Detta är troligen mindre än de mätfel som kan förväntas vid mätning av eleffekten till en kompressor i en vanlig byggnad. Att det överhuvudtaget finns en avvikelse har tre orsaker:

- ✓ Ur modellerna tar vi ut femtonminutersvärden som är fiktiva momentanvärden som interpolerats fram mellan faktiska integrationspunkter.
- ✓ Femtonminutersvärdena medelvärdesbildas till timmedel. I samband med medelvärdesbildningen införs ett litet fel som tidigare förklarats (se ”Test av metod”).
- ✓ Vid simuleringarna har vi använt default-inställningar för IDA’s ekvationslösare vilket i detta sammanhang var för grovt. En mindre tolerans hade lett till en mindre avvikelse.

Tabell 6. Avvikelse mellan prediktion baserad på simulerade 15-minutersvärden utförd med EnergySignature och simulerad årsenergianvändning enligt summering i en energimätarmodell. EI till kompressor i hus 1.

	Brytpunkter för driftfall, utomhustemperatur (°C)	Medelvärdesbildning data	Regressionsmetod	Avvikelse (%) mellan prediktion och årssumma i modell
Test 1	+4, +13	Timmedel	LSQ	+0.6
Test 2	+4, +13	Dygnsmedel	LSQ	+1.5
Test 3	+4, +13	Veckomedel	LSQ	+4.0
Test 4	+4, +13	Timmedel	LAD	+0.7
Test 5	+4, +13	Dygnsmedel	LAD	+0.8
Test 6	+4, +13	Veckomedel	LAD	+3.1
Test 7	+3, +14	Timmedel	LSQ	+0.7
Test 8	+3, +14	Dygnsmedel	LSQ	+1.7
Test 9	+3, +14	Veckomedel	LSQ	+3.0
Test 10	+3, +14	Timmedel	LAD	+0.8
Test 11	+3, +14	Dygnsmedel	LAD	-0.4
Test 12	+3, +14	Veckomedel	LAD	-1.9
Test 13	+5, +12, +19	Timmedel	LSQ	+0.5
Test 14	+5, +12, +19	Dygnsmedel	LSQ	+1.5
Test 15	+5, +12, +19	Veckomedel	LSQ	+2.5
Test 16	+5, +12, +19	Timmedel	LAD	+0.8
Test 17	+5, +12, +19	Dygnsmedel	LAD	+1.8
Test 18	+5, +12, +19	Veckomedel	LAD	+2.3

Figur 59 visar energisignaturen och regressionslinjer för fjärrvärme (exklusive tappvarmvatten och vvc-förluster) där vi använder dygnsmedelvärden, minsta kvadratmetoden och där brytpunkten sätts till $+7^{\circ}\text{C}$. Brytpunkten innebär i detta fall att fjärrvärmen reglerar om utomhustemperaturen understiger $+7^{\circ}\text{C}$ och är avstängd om utomhustemperaturen överstiger $+7^{\circ}\text{C}$.



Figur 59.

Energisignaturen för fjärrvärme (exklusive tappvarmvatten och vvc-förluster) i simuleringsmodellen av hus 1.

Dygnsmedelvärden och brytpunkt vid $+7^{\circ}\text{C}$.

Minsta kvadratmetoden används för att bestämma regressionslinjer.

Tabell 7 redovisar tolv prediktioner av fjärrvärme (exklusive tappvarmvatten och vvc-förluster) där vi varierar brytpunkt för driftfall, medelvärdesbildning och regressionsmetod.

Återigen ökar avvikelsen då medelvärdesbildning sker. Minsta kvadratmetoden ger generellt sett en mindre avvikelse än minsta avvikelsemetoden. Ändring av brytpunkt gör i detta fall ingen stor skillnad. Detta behöver dock studeras noggrannare, vi vet inte var den bästa brytpunkten ligger.

Vi användandet av timmedelvärden och minsta kvadratmetoden är avvikelsen under 1%. Detta är troligen mindre än de mätfel som kan förväntas vid mätning av fjärrvärmeeffekten för uppvärmning i en vanlig byggnad speciellt om denna beräknas genom subtraktion av effekten för tappvarmvattenvärmning. Orsakerna till att det vid timmedelvärden överhuvudtaget finns en avvikelse har beskrivits ovan.

Tabell 7. Avvikelse mellan prediktion baserad på simulerade 15-minutersvärden utförd med EnergySignature och simulerad årsenergianvändning enligt summering i en energimätarmodell. Fjärrvärme till radiatorer (inkl VS-förlust, exklusive VVC-förlust) i hus 1.

	Brytpunkter för driftfall, utomhustemperatur (°C)	Medelvärdesbildning data	Regressionsmetod	Avvikelse (%) mellan prediktion och årssumma i modell
Test 19	+8	Timmedel	LSQ	+0.8
Test 20	+8	Dygnsmedel	LSQ	+4.0
Test 21	+8	Veckomedel	LSQ	+5.6
Test 22	+8	Timmedel	LAD	+2.8
Test 23	+8	Dygnsmedel	LAD	+6.5
Test 24	+8	Veckomedel	LAD	+8.0
Test 25	+7	Timmedel	LSQ	+0.7
Test 26	+7	Dygnsmedel	LSQ	+3.8
Test 27	+7	Veckomedel	LSQ	+5.5
Test 28	+7	Timmedel	LAD	+2.4
Test 29	+7	Dygnsmedel	LAD	+4.3
Test 30	+7	Veckomedel	LAD	+8.4

Prognos med simulerade värden

Testerna så här långt använder data för hela året. Normaliseringen sker genom att ett referensår används för att hålla rätt på hur många timmar respektive driftfall råder och vilken medeltemperatur som råder i driftfallen. De anpassade regressionslinjerna motsvarar byggnadens egenskaper, signatur.

Vi vill nu prova om vi med hjälp av data endast från del av året kan förutsäga den normaliserade årsenergianvändningen. Vi kan tänka oss en byggnad som färdigställs och där vi så snart som möjligt vill ha svar på var den normaliserade årsenergianvändningen kommer att landa. Hur många månader måste vi vänta innan vi har ett svar med en viss onoggrannhet?

Vi gör detta genom att återigen använda ekvation 55 d.v.s. jämföra prediktionen med årsenergisumman i energimättningsmodellen. Skillnaden är att vi nu använder endast kortare perioder av det simulerade årets data för att rita energisignaturen och göra prediktionerna.

Utifrån tidigare resultat bestämmer vi oss för att använda timmedelvärden och minsta kvadratmetoden. Denna kombination gav ju den minsta avvikelser. Prediktionen av kompressorelen till värmepumpen gav ett något bättre resultat då vi använde tre brytpunkter men eftersom detta kräver data då utomhustemperaturen överstiger $+19^{\circ}\text{C}$ så nöjer vi oss med två brytpunkter och använder $+4^{\circ}\text{C}$ och $+13^{\circ}\text{C}$. För fjärrvärmens använder vi brytpunkten $+7^{\circ}\text{C}$.

Tabell 8 redovisar vilken avvikelse som fås mellan prediktion och energimätning beroende på vilka månaders data ("mätresultat efter färdigställande") som ingår i prediktionen av kompressorelen till värmepumpen.

De kombinationer av månader som ger en avvikelse som är mindre än $\pm 4\%$ är gråmarkerade. Generellt sett behövs det relativt många månaders data för att komma ned i en avvikelse av $\pm 4\%$. Enstaka kombinationer, till exempel september och oktober, kan ge ganska låg avvikelse. Kombinationen januari, februari, mars och april är inte lämplig i detta fall eftersom lutningen på regressionslinjen i driftfallet "varmare än $+13^{\circ}\text{C}$ " då kommer att luta åt fel håll beroende på för litet dataunderlag i detta driftfall.

Tabell 9 redovisar vilken avvikelse som fås mellan prediktion och energimätning beroende på vilka månaders data ("mätresultat efter färdigställande") som ingår i prediktionen av fjärrvärmens (exklusive tappvarmvatten och VVC-förlust).

Återigen är de kombinationer av månader som ger en avvikelse som är mindre än $\pm 4\%$ gråmarkerade och återigen behövs det relativt många månaders data för att komma ned i denna avvikelse. Kombinationen av data från januari, februari och mars är ett undantag som i detta fall gav en avvikelse som var lägre än data från alla månader utom december.

Hur kan man veta vilken kombination av månader som ger en bra prognos? Vi betonar att en mer fullständig analys av detta borde inbegripa fler klimatfiler. Avvikelserna i tabellen beror ju på hur utomhustemperaturen kombineras med solstrålning, vindstyrka och -riktning under de olika perioderna eller enklare uttryckt; hur vädret har varit.

Tabell 8. Avvikelse mellan prediktion med EnergySignature, baserad på ett urval av simuleringsresultatet, och hela årets summerade energianvändning. Kompressorell till värmepumpen i hus 1.

	Prediktion baserad på dataperiod												Avvikelse (%) mellan prediktion och årssumma i modell
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	
Test 101	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+0.6
Test 102	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		+0.3
Test 103	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			-2.3
Test 104	X	X	X	X	X	X	X	X	X				-8.2
Test 105	X	X	X	X	X	X	X	X					-9.9
Test 106	X	X	X	X	X	X	X						-9.0
Test 107	X	X	X	X	X	X							-8.1
Test 108	X	X	X	X	X								-6.9
Test 109	X	X	X	X									Ej lämplig
Test 110		X	X	X	X								-7.2
Test 111			X	X	X								-7.1
Test 112				X	X								-9.0
Test 113		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+0.5
Test 114			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+0.7
Test 115				X	X	X	X	X	X	X	X	X	+0.6
Test 116					X	X	X	X	X	X	X	X	+0.5
Test 117						X	X	X	X	X	X	X	+4.6
Test 118							X	X	X	X	X	X	+6.0
Test 119								X	X	X	X	X	+8.3
Test 120									X	X	X	X	+11.3
Test 121								X	X	X	X		+8.1
Test 122								X	X	X			+7.9
Test 123								X	X				+5.5

Tabell 9. Avvikelse mellan prediktion med EnergySignature, baserad på ett urval av simuleringsresultatet, och hela årets summerade energianvändning. Fjärrvärme till radiatorer.

	Prediktion baserad på dataperiod												Avvikelse (%) mellan prediktion och årssumma i modell
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	
Test 201	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	+0.7
Test 202	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		-4.0
Test 203	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			-7.0
Test 204	X	X	X	X	X	X	X	X	X				-7.6
Test 205	X	X	X	X	X	X	X	X					-6.6
Test 206	X	X	X	X	X	X	X						-6.5
Test 207	X	X	X	X	X	X							-6.5
Test 208	X	X	X	X	X								-6.5
Test 209	X	X	X	X									-4.3
Test 210	X	X	X										+3.1
Test 211		X	X	X	X								-14.7
Test 212			X	X	X								-21.3
Test 213				X	X								-25.2
Test 214		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-3.1
Test 215			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-3.2
Test 216				X	X	X	X	X	X	X	X	X	+2.2
Test 217					X	X	X	X	X	X	X	X	+11.2
Test 218						X	X	X	X	X	X	X	+13.7
Test 219							X	X	X	X	X	X	+13.7
Test 220								X	X	X	X	X	+13.8
Test 221									X	X	X	X	+13.3
Test 222								X	X	X	X		+3.3
Test 223								X	X	X			-27.1

Tester med mätdata från två byggnader

Tester av metodfel lämpar sig bäst med simuleringsmodeller. Mätningar är dyrare och det finns inte samma möjlighet till kontroll över data. Trots detta vill vi gärna konfrontera metoden med mätningar. Det finns flera anledningar till detta:

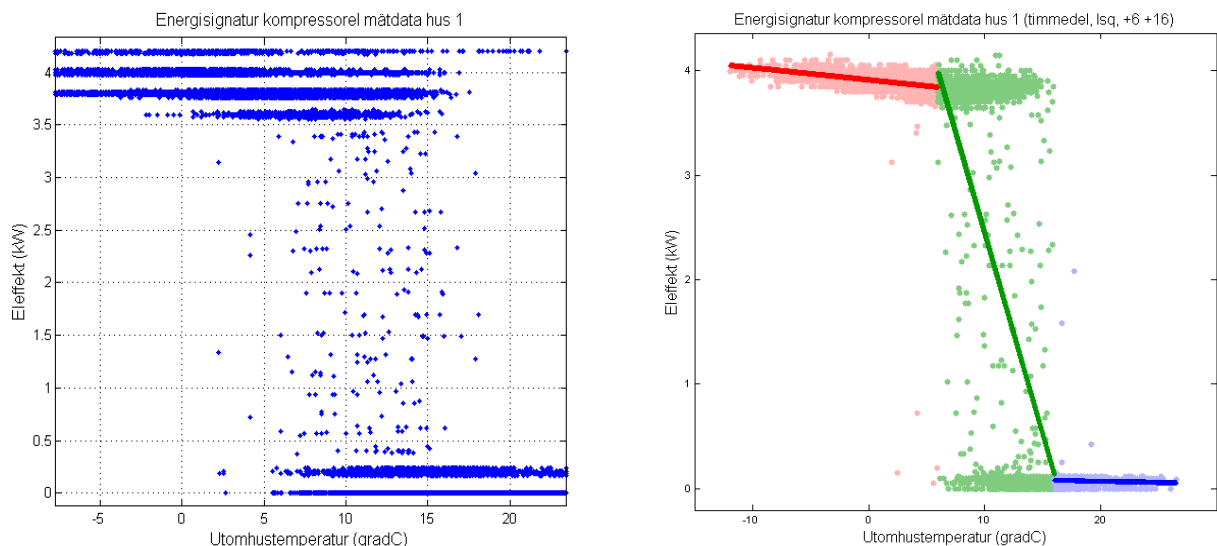
- ✓ Även om vår IDA-modell är detaljerad är modeller ändå bara idealiserade förenklingar av verkligheten. Kommer mätningarna att visa några oväntade effekter som inte gör det möjligt att använda energisignaturen?
- ✓ I de verkliga byggnaderna kommer det säkert, åtminstone periodvis, att finnas avvikelser som inte finns i simuleringsmodellen. Hur fungerar energisignaturen i dessa fall?
- ✓ Kommer själva mätutrustningen att ställa till några problem?

Mätningarna har beskrivits tidigare i rapporten.

Hus 1, kompressorel

Figur 60 (vänster) visas energisignaturen (rådata) för kompressorelen i hus 1. Frånluftvärmepumpen saknar kontinuerlig reglering och är antingen i drift eller avslagen. Elmätaren mäter den ackumulerade elenergin. Effekten har vi beräknat genom att ta differensen mellan två på varandra följande mätvärden och multiplicera med antalet mätvärden per timme. Detta medför att eleffekten kan anta värden som ligger mellan 0 och maxeffekt och det ser skenbart ut som om värmepumpen reglerar kontinuerligt. Upplösningen hos elmätaren är 0.2 kW.

I figur 60 (höger) visas en energisignatur baserad på timmedelvärden och minsta kvadratmetoden.



Figur 60. Energisignatur för kompressorel i hus 1. Till vänster rådata (15-minutersvärden). Till höger timmedelvärden och regressionslinjer.

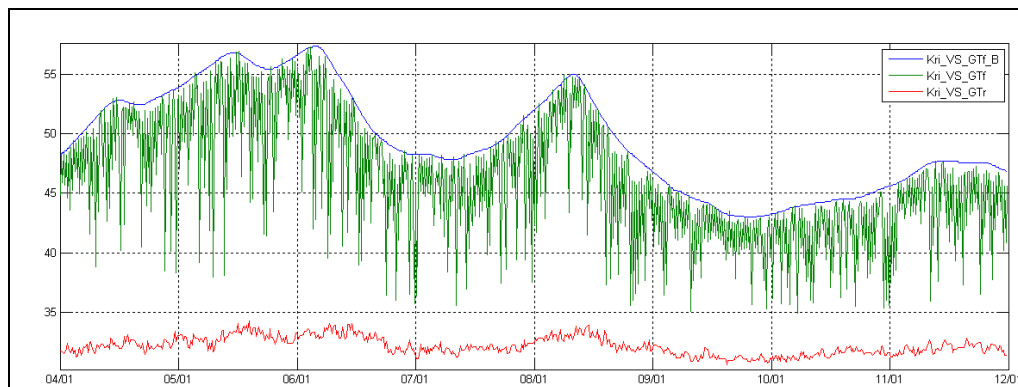
Det finns vissa skillnader mellan mätningar och simuleringsresultat (jämför figur 60 ovan och figur 51 i bilaga 4) vid sidan om att regleringen skiljer. Ett exempel är att modellen har konstant maxeffekt, i verkligheten ökar kompressoreffekten något när det blir kallare ute. Ett annat exempel är att i modellen går effekten ned till 0 vid högre utomhustemperaturer. I verkligheten

kommer det att finnas en mindre basbelastning på grund av kringutrustning som cirkulationspumpar och vevhusvärmare. Skillnaderna beror på att modellen inte tar hänsyn till alla detaljer och spelar ingen roll för möjligheten att använda energisignaturen för de ändamål som diskuteras i detta arbete.

Hus 1, fjärrvärme för uppvärmning

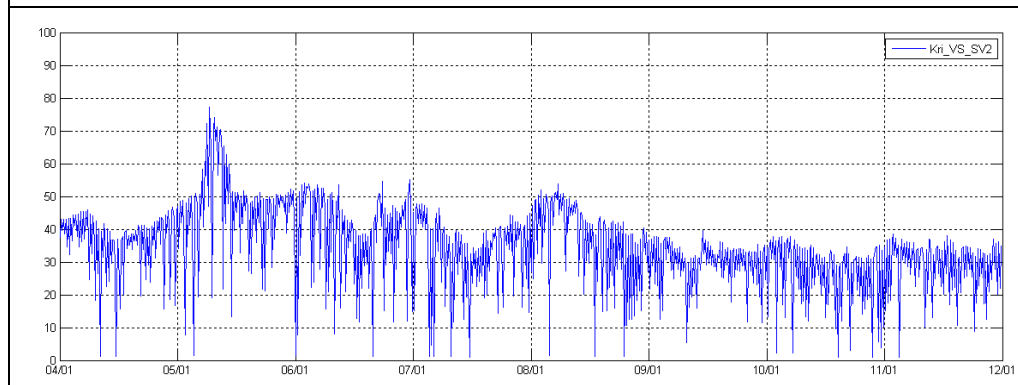
Det finns flera problem med uppvärmningseffekten i hus 1. Denna beräknas som differensen mellan beräknad fjärrvärmeeffekt (baserad på ett uppmätt flöde och två uppmätta temperaturer) och beräknad tappvarmvatteneffekt (baserad på ett uppmätt flöde och två uppmätta temperaturer):

- ✓ För det första saknas mätdata för inkommande kallvatten för en stor del av mätperioden vilket gör att tappvarmvatteneffekten inte kan beräknas noggrant.
- ✓ För det andra har det inte varit möjligt att av styrlieferantören få reda på vilken enhet flödesmätaren för tappvarmvatten har. Vi har provat alla rimliga antaganden för beräkningen men inget antagande ger en rimlig energianvändning för tappvarmvatten. Det kan bero på att flödesmätaren mäter felaktigt. Dessutom har upplösning på mätaren ändrats utan att någon information om vilka upplösningar det gäller gått att få tag på.
- ✓ För det tredje är regulatorn som styr ventilen som eftervärmer framledningstemperaturen för radiatorsystemet dåligt injusterad. Den svänger vilket skapar stor spridning i energisignaturen. I figur 61 visas framledningstemperaturen och dess börvärde, returtemperaturen och styrsignalen till ventilen för åtta dagar. Utseendet är typiskt för hela mätperioden.



Figur 61.

Framledningstemperatur till radiatorsystem, börvärde och returtemperatur i hus 1 under åtta dagar.



Figur 62.

Styrsignal till ventilen som styr framledningstemperaturen till radiatorsystemet i hus 1 under samma period som ovan.

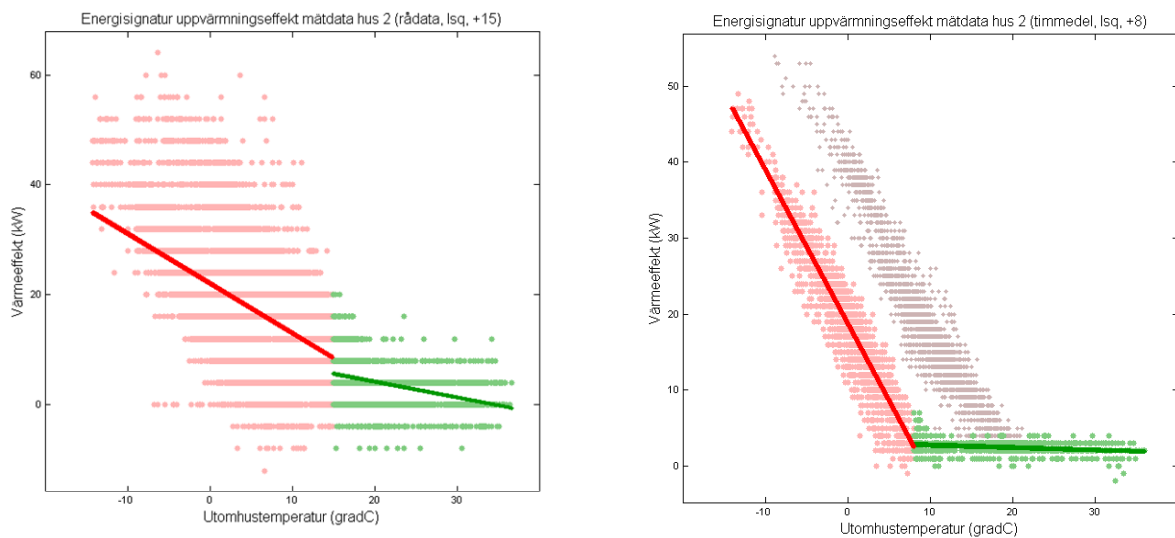
Hus 2; fjärrvärme för uppvärmning

Värmepumpen i hus 2 fungerar inte som tänkt. Den stänger inte av när framledningstemperaturen nått sitt börvärde, istället löser den ut då trycket blir för högt och måste återställas manuellt. Det är alltså inte meningsfullt att granska energisignaturen för kompressoren i detta fall.

Energisignaturen för uppvärmningseffekten i hus 2 redovisas i figur 63a och b. Den beräknas som differensen mellan beräknad fjärrvärmeeffekt (baserad på ett uppmätt flöde och två uppmätta temperaturer) och beräknad tappvarmvatteneffekt (baserad på ett uppmätt flöde och två uppmätta temperaturer). Upplösningen hos båda mätningarna är 4 kW.

Till vänster visas rådata. Anpassningen ser konstig ut vilket beror på att många datapunkter ligger i botten på diagrammet och därför tvingar ned linjen. Dessutom valdes en brytpunkt (+15°C) som ligger för långt till höger.

Till höger visas timmedelvärden. Här tydliggörs två energisignaturer vilket beror på den krånglande värmepumpen. De tydligt rödmarkerade punkterna motsvarar tidssteg då värmepumpen varit i drift. De gråmarkerade motsvarar tidssteg då den inte varit i drift. Om vi är intresserade av hur mycket energi byggnaden skulle använda vid felfri drift bör vi, vid anpassningen, utesluta data då värmepumpen inte fungerat.



Figur 63. Energisignatur för uppvärmningseffekt i hus 2. Till vänster rådata (15-minutersvärden). Till höger timmedelvärden. Data då värmepumpen inte fungerat är uteslutna i anpassningen i det högra diagrammet.

Den uteslutna datamängden i det högra diagrammet motsvarar egenskaperna hos ett hus utan frånluftvärmepump. Genom att jämföra prediktionen för tidssteg med respektive utan en fungerande värmepump kan vi bestämma hur mycket värmepumpen bidrar med. Mer generellt bör detta angreppssätt kunna utvecklas till en metod att bestämma bidraget från värmeåtervinnande utrustning i allmänhet. Experimentet omfattar då en period med värmeåtervinningen i drift och en period då den inte är i drift. Observera att valet av dataperiod är viktigt. Avsnittet ”Prognos med simulerade värden” visade ju att dataperiod måste väljas med omsorg.

BILAGA 6

FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG STYR OCH ÖVERVAKNING.

Krav på trendloggning och export av trenddata

Samtliga krav i detta dokument är obligatoriska.

1	Beteckningar
1.1	Beteckningar hos punkter är unika och ansluter till beteckningar i handlingar ¹ .
1.2	Beteckningar för punkter med flera loggar har tillägg, t.ex. _BV, _BB, _MV för börvärde, beräknat börvärde respektive mätvärde.
1.3	Skillnader mellan beteckningar ligger i bokstäver och siffror – inte i skiljetecken etc ² .
1.4	Beteckningar innehåller inga blanktecken.
2	Omfattning av trendloggning
2.1	Alla punkter, som finns tillgängliga i SÖ-systemet och som har anknytning till inomhusklimat och energianvändning, loggas. Analoga och digitala ³ .
2.2	Alla energimätare ⁴ loggas.
2.3	Energimätare är anslutna till SÖ-system med MBUS.
2.4	Punkterna loggas med ett konstant loggningsintervall av tio minuter eller med COV (change on value) ⁵ .
2.5	Det är möjligt att ta ut en tabell i en textfil över loggningsbara punkter som innehåller punktens namn, dess typ, enhet och tekniska adress.
2.6	Systemet har tillräcklig kapacitet för trendloggning av samtliga punkter med tio minuters upplösning utan att övriga funktioner störs.
3	Format och export av trendloggar
3.1	Trenddata exporteras till textfiler med något av de tre format som specificeras på sidan 2.
3.2	Export av trenddata sker automatiskt via e-post, en gång per dygn.
3.3	Datafiler bifogas e-post som text-filer med suffix <i>.txt</i> eller komprimerade till <i>.zip</i> , <i>.tar</i> eller <i>tar.gz</i> . Komprimerade filer innehåller en eller flera text-filer utan underkataloger. Alla filer i en leverans komprimeras tillsammans.
3.4	I början av varje datafil finns ett antal rubrikrader. En av raderna inleds med strängen <i>Loggpunkt</i> eller <i>Rapport</i> , följt av ett semikolon och därefter punktnamnet.
3.5	Varje datafil innehåller starttid och sluttid för det datumintervall som filen avser rapportera mätvärden för. Starttid och sluttid står på varsin rad och återfinns bland de åtta första raderna i filen. Starttidsraden inleds med strängen <i>Starttid</i> . Sluttidsraden inleds med strängen <i>Sluttid</i> eller <i>Stoptid</i> .
3.6	Dataraderna är ordnade i kronologisk ordning. Varje rad inleds med datum och tid.
3.7	Trenddata som registrerats såsom COV (change on value) exporteras i denna form.
3.8	Tecken i filnamn är tillåtna i operativsystemet, Windows. Speciella tecken (t.ex. ÜÄÖüääö) förvanskas inte vid export.
3.9	Kolumner för siffervärden innehåller inte strängar såsom "missing", "error", etc ⁶ .
4	Kvalitetssäkring
4.1	Resultat från kontroller av export av trenddata redovisas vid slutbesiktning.

Alternativa format hos textfiler

	Format 1	Format 2	Format 3
Filtyp	Text	Text	Text
Teckenkodning	ISO-8859-1	UTF-8	UTF-8
Rubrikrader	8	8	5
Fältseparator	0x09 (tab)	, (komma)	; (semikolon)
Decimalseparator	, (komma)	. (punkt)	, (komma)
Format datumdel	yyyy-MM-dd	yyyy-MM-dd	yyyy-MM-dd
Format tidsdel	HH:mm:ss	HH:mm:ss	HH:mm:ss
Separator datum-tid	(blank) eller , (komma) eller ; (semikolon)	(blank) eller , (komma) eller ; (semikolon)	(blank) eller , (komma) eller ; (semikolon)
Exempel	<pre>Loggpunkt SEB:ST'C '000 'GT31'Trd36 Starttid 2008-03-29 17:00:00 Sluttid 2008-03-30 17:00:00 Enhet °C IOTyp AI Text Temp ute Antal värden 278 Datum Tid Värde 2008-03-29 17:00:00 8,8 2008-03-29 17:05:00 8,69 2008-03-29 17:10:00 8,39 o.s.v.</pre>	<pre>Loggpunkt: SKA1001.DUC001.AI01.Value Beteckning: GT1 Varmvatten.AI.Value Beskrivning: GT1 Varmvatten Enhet: øC Typ: AI Starttid: 2008-07-09,00:00:00 Stopptid: 2008-08-01,00:00:00 Datum,Tid,Värde 2008-07-09,00:15:00,54.6 2008-07-09,00:30:00,54.9 2008-07-09,00:45:00,55 o.s.v.</pre>	<pre>Adress;Hagaporten3 Rapport;370103_FK13PK11 Starttid;2008-10-18;00:00:00 Stopptid;2008-10-19;00:00:00 Datum;Tid;FK13_FO_A;FK13_FO_KW;FK13_FO_Hz 2008-10-18;00:02:12;1,43;0,0862;20 2008-10-18;00:08:33;1,43;0,0855;20 2008-10-18;00:14:56;1,43;0,087;20 o.s.v.</pre>

¹ Beteckningar av typen AS01-DUC01-AI01 får t.ex. inte förekomma.

² Exempel på tecken som inte får utgöra skillnaden mellan två beteckningar är \, /, _, -, *, ?.

³ Punkter med anknytning till brand, sprinkler, larm, hissar, etc. loggas inte.

⁴ I begreppet energimätare ingår elmätare för total fastighetsel respektive total hyresgästel,

⁵ Tröskelvärdet för COV är 0.1°C (eller mindre) för temperaturer och 1% av skalan (eller mindre) för övriga punkter.

⁶ Undantag: strängen "NaN" (IEEE 754) får förekomma.