

# Utveckling av metodik för energieffektivare klimatreglering i växthus

## BAKGRUND

Växthusodling är mycket en energiintensiv bransch. Energikostnaderna har ökat kraftigt de senaste två åren och bedömdes under 2005 utgöra ca 35 % av omsättningen i en tomatodling med olja som energikälla. Hur mycket energi som används för att producera en given mängd varierar mycket mellan olika företag. Många faktorer påverkar energiförbrukningen såsom anläggningens tekniska status och belägenhet. Hur klimatregleringen sker är också avgörande för den totala energiförbrukningen. Framför allt fuktighetsstyrningen i form av eldning och luftning är energikrävande. Felaktig fuktighetsstyrning leder till problem med gråmögel och växtnäringsupptagning vilket kan leda till mycket stora produktionsbortfall.

Det råder dock en stor osäkerhet om hur fuktighetsreglering görs optimalt. Att välja rätt öppningsgrad på luckorna så att fuktighetsnivå sjunker utan att plantorna blir kalla är ett riskmoment. Redskap och modell för utvärdering av klimatstyrningen kan ge stora vinster i form av minskad energiförbrukning men också i form av minskade problem med svampangrepp. De nya växthusdatorerna ger stora möjligheter att inhämta information om förhållandena i växthusen. Kontinuerlig loggning av klimatparametrar i databaser är lätt att skapa. Genom att utarbeta en modell för utvärdering av materialet och sedan analysera olika klimatsituationer kan kunskap om hur styrutrustningen ska ställas in förbättras.

Syftet med projektet har varit att:

1. Att skaffa en god bild över hur den totala energiförbrukningen fördelas på energi för att uppnå önskad temperatur och energi som åtgår för att styra luftfuktigheten.
2. Att jämföra energiförbrukning vid olika sätt att reglera luftfuktigheten i växthus, genom att styra efter relativ fuktighet (RF) eller att styra efter fuktdeficit (delta x).
3. Att testa mätning av planttemperatur som underlag vid klimatreglering.
4. Att utarbeta en skriven anvisning till växthusodlare med förslag på vilka parametrar som bör samlas i databaser och hur dessa sedan kan användas för att utvärdera klimatstyrningen. Vidare att utarbeta förslag på inställningar anpassade till olika vädersituationer.

## METODIK

Basen för projektet är tre tomatföretag. Det är moderna anläggningar med mycket god standard beträffande styr- och reglerteknik för energihantering, värmereglering och klimatreglering. Samtliga växthus är av venlotyp och är utrustade med energiväv (företag B till 62 % 2004 och till 100 % 2005). Företagen är belägna i Skåne och Blekinge. Företagen är utrustade med en Priva Intégro klimatdator med programversion 721. Loggning på hårddisk har skett av klimatdata vilka insamlats var 5:e minut (utgör medelvärden för de senaste 5 minuterna). Insamlade klimatdata från företagen har bearbetats i Excel. Studien har genomförts under 2004 och 2005 års odlingsäsong.

	företag A	företag B	företag C
växthusareal m <sup>2</sup>	25000	10650	14000
energikälla - värme	fjärvärme	naturgas	olja + propan
koldioxidkälla	ren CO <sub>2</sub>	naturgas	propan
odlingsperiod	v 2 - 44	v 2 - 45	v 4 - 44

### **Metod för bedömning av energiåtgång**

Företagarna har fört löpande journaler över energiåtgången med specifikation av använd energikälla. På basis av journalerna har den faktiska energiförbrukningen kunnat beräknas i kWh per m<sup>2</sup>. Denna har jämförts mot en teoretisk beräkning av energiförbrukningen baserad på de temperaturer man strävat efter att hålla (A). Den faktiska förbrukningen har också jämförts mot en teoretisk beräkning som görs i Privas klimatprogram (B).

#### *A Användning av energiberäkningsprogram*

Det hjälpmedel som använts i studien är LRF Konsults energiberäkningsprogram, som är ett specialprogram utvecklat för beräkning av energiåtgång för växthus. Det baseras på det enskilda växthusets utformning och utrustning. Programmet tar hänsyn till växthusets typ, storlek, täckmaterial, isoleringsåtgärder (vävar mm), energikällornas verkningsgrad, aktuella utetemperaturer, vindhastighet och klimatzon. Programmet beräknar energiförbrukningen veckovis utifrån de natt- och dagtemperaturer som man eftersträvat att hålla i växthuset under respektive vecka.

#### *B Användning av energiberäkning i Privas klimatprogram*

I Privas klimatprogram finns det möjlighet till kontinuerlig loggning av parametrar som rör energihanteringen. Genom en kontinuerlig mätning av värmekapaciteten görs i programmet en teoretisk beräkning av hur energiåtgången ser ut i respektive växthus. Värmekapaciteten baseras på aktuella rörtemperaturer i växthuset och kan därför sägas vara ett mått på hur mycket värme som levereras ut till växthuset. Någon flödesmätning förekommer dock inte.

### **Metod för jämförelse av fuktstyrning baserad på relativ fuktighet (RF) med fuktstyrning baserad på fuktdeficit (delta x).**

Fuktregeringen kan antingen baseras på relativ fuktighet (RF) eller fuktdeficit (delta x). Programversion 721 till Priva Intégré dator lanserades till odlingssäsongen 2003. Funktionen att styra olika avdelningar i ett företag efter olika sätt att ange fukthalten finns inte med i den versionen utan lanserades först i version 724, som kom i slutet av 2005. Det innebär att det inte gått att fullfölja projektiden att i företag A som har två mycket likvärdiga avdelningar jämföra styrning efter de olika sätten att ange fukthalt. Loggning av fuktighetsnivån i växthusen och därefter bearbetning och analys av värdena har dock ingått i studien.

### **Metod för mätning av planttemperatur**

Priva har utvecklat en pyrometer anpassad till växthusändamål vilken man benämner pt-meter (planttemperaturmätare). Samtliga tre företag har installerat en pt-meter i ett av sina växthus. En pyrometer mäter den infraröda strålningen (värmestrålningen) från en kropp eller yta och den uppmätta strålningen anges som en temperatur. pt-metern mäter värmestrålningen från en ellipsformad yta som med lämplig placering i växthuset enligt leverantörens anvisning gör att mätning sker på en horisontell yta om 5-10 m<sup>2</sup>. Placering av pt-metern har skett på likartad sätt i de tre företagen. En särskild upphängningsanordning som fästs i en stolpe har använts för pt-metern. Pt-metern har placerats ovan trådarna i huset så att en mätning kunnat ske av planttopparna. Med den särskilda upphängningsanordningen blir vinkeln mot mätytan (planttopparna) konstant. På grund av att planttopparna ändras i höjddled beroende på tillväxt och sänkning av plantorna kommer mätytans storlek att variera något. Avståndet från pt-metern till planttopparna när det varit nysänkt har varit 40-60 cm. pt-metern har haft en placering så att mätningen skett i nordvästlig eller nordostlig riktning. Mätning av

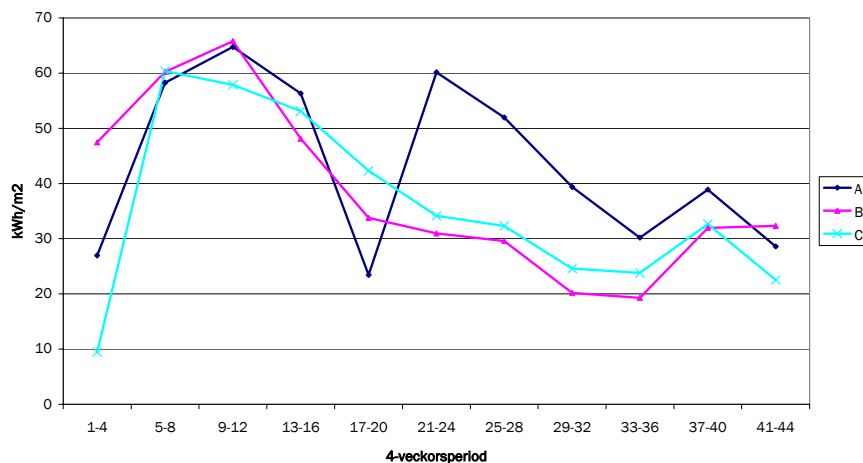
planttemperatur har skett med samma tidsintervall som för temperaturen vilket innebär loggning var 5:e minut.

## RESULTAT

### Resultat av energiförbrukning

Energiförbrukningen för 2004 och 2005 redovisas i nedanstående diagram för perioden vecka 1-44. För 2004 redovisas energin i 4-veckorsperioder medan den för 2005 avser veckovis. Förbrukningen avser hela företagen och anges i kWh/m<sup>2</sup> som bruttovärden (utan hänsyn tagen till verkningsgrad).

Energiförbrukning 2004 i 4-veckorsperioder



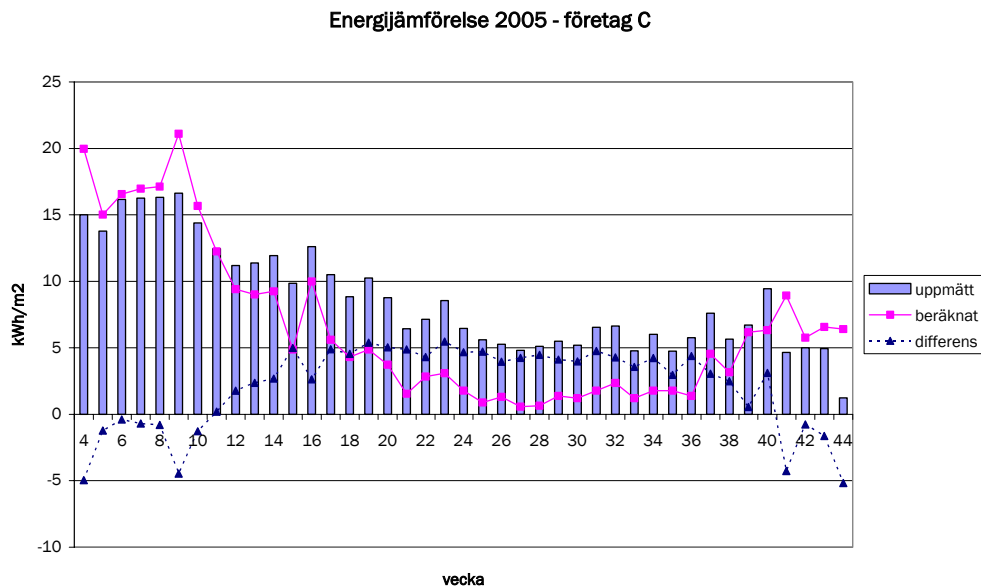
Energiförbrukning 2005 - veckovis



Värt att notera är att förbrukningen under juni-juli 2004 var klart större än den var under efterföljande år. Klimatmässigt präglades perioden 2004 av ostadigt och svalt väder med mycket nederbörd. Den höga energiförbrukningen i företag A under 2004 under vecka 21-32 kan förklaras med att man pga. stora gråmögelpölsor valde att hålla höga rörtemperaturer för att kontrollera angreppen. Under 2005 följs förbrukningen i de tre företagen tämligen väl åt under de flesta veckorna. Den totala förbrukningen är högst i företag B och lägst i företag A.

## Resultat av beräkning av energiförbrukning med energiberäkningsprogram

Med hjälp av energiberäkningsprogram har energiförbrukningen beräknats för respektive företag med de förutsättningar som rått i varje företag beträffande växthusens utformning och de aktuella temperaturer som man haft som börvärden. Energiprogrammet utgår från skillnaden mellan temperaturen utomhus och den temperatur som ska hålla i växthuset. Det tar vidare hänsyn till den normala instrålningen under dagperioden vilken är baserad på väderstatistik. Det innebär att det teoretiska värde man får vid beräkningen endast tar hänsyn till värmekravet för att hålla temperaturen i huset. Resultaten av dessa beräkningar visar ett mycket likartat mönster i samtliga företag och ser för företag C ut enligt följande:



Det finns två mönster som framkommer vid energijämförelsen:

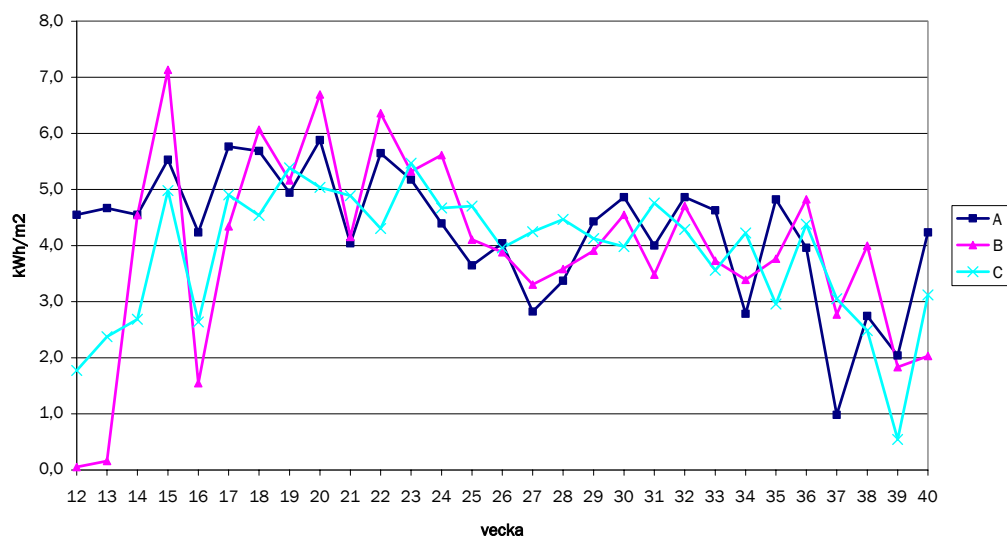
1. I början och slutet av året visar den teoretiska beräkningen på en högre energiförbrukning än den faktiskt uppmätta
2. Från mitten av mars till slutet av september visar den teoretiska beräkningen på en klart lägre nivå än den faktiskt uppmätta

En förklaring till avvikelserna i början av året kan delvis vara att odlaren använt väven i större utsträckning än den som beräkningsprogrammet kunna ta hänsyn till (t.ex. delar av dagar eller hela dagperioder då instrålningen varit mycket liten;  $< 80 \text{ W/m}^2$ ). En annan orsak kan vara att man i praktiken inte kunnat uppnå den temperatur man strävat efter att hålla t.ex. under mycket kalla perioder eller perioder med nederbörd.

Avvikelsen under perioden mars-september mellan uppmätt och beräknad energi bör tolkas som den energi som använts utöver vad som krävs för att hålla den inställda temperaturen i växthuset. Det är energi som använts dels för att fuktighetsreglera, dels för att tillverka koldioxid.

I nedanstående diagram visas avvikelserna från uppmätt och beräknat värde veckovis för 2005 för resp. företag för veckorna 12-40. Under de första veckorna varierar avvikelserna, vilket kan förklaras av att företag A varit något tidigare i utvecklingen av kulturen, vilket krävt en tidigare insats för fuktighetsreglering. Under maj och första halvan av juni är skillnaden som störst för att sedan minska något under senare delen sommaren och under hösten.

### Skillnad uppmätt-beräknad energiförbrukning veckovis 2005



Resultaten från samtliga beräkningar visar att de beräknade värdena uppgår till i genomsnitt 71 % av den faktiska förbrukningen för 2005 för odlingsperioden vecka 4-44. Under den period där fuktighetsreglering normalt förekommer (v 12-40) uppgår det beräknade värdet i genomsnitt till 46 %.

Tabell Jämförelse mellan uppmätt och beräknad energiförbrukning vecka 4-44 resp. vecka 12-40 2005 (kWh/m<sup>2</sup>)

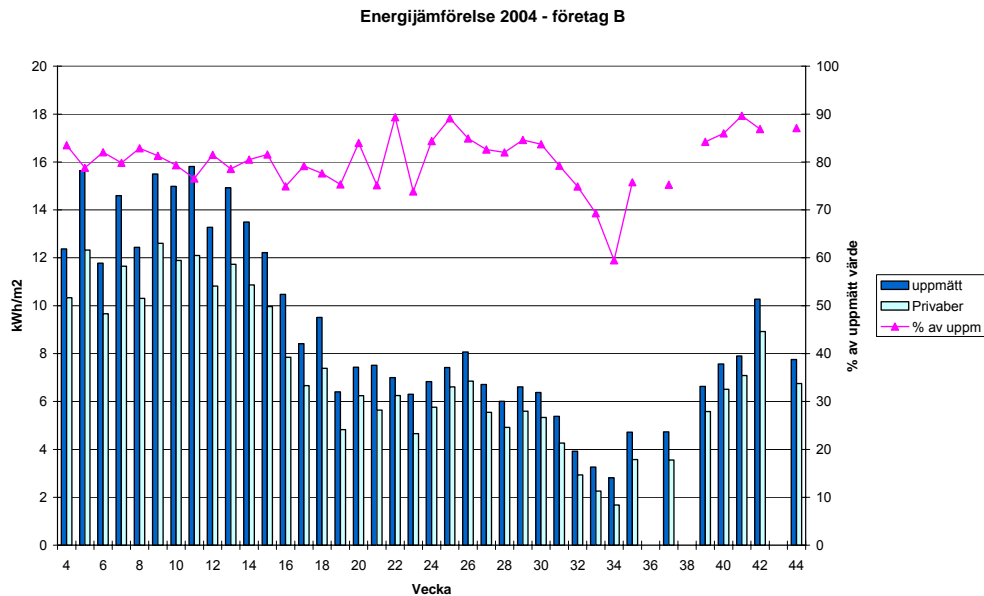
Företag	Uppmätt energiåtgång		Beräknad energiåtgång		Skillnad uppmätt – beräknad		Beräknat värde i procent av uppmätt	
	v 4-44	v 12-40	v 4-44	v 12-40	v 4-44	v 12-40	v 4-44	v 12-40
A	348	209	227	86	121	123	65	41
B	387	223	283	108	104	115	73	48
C	356	219	269	107	87	112	76	49
medeltal	364	217	260	100	104	117	71	46

Av detta material kan man dra slutsatsen att mellan 1/3-1/4 av energin under odlings säsongen går åt till fuktighetsreglering och koldioxidtillverkning. Under den period som fuktighetsregleringen är igång (mitten mars-slutet september) rör det sig om ca hälften av energin. Under sommarperioden kan så mycket som 75 % av energin uppskattas ha åtgått för klimatreglering – enstaka dygn troligen mer än så. Intressant är att företag A ej har någon energiåtgång för koldioxid och att företag B under delar av odlingsperioden använder ackumulatortank vid sin koldioxidtillverkning. Varaktighetsberäkningar av klimatdata som gjorts tyder på att koldioxidtillverkningen under perioder då fuktighetsreglering ej varit igång eller då värmebehov ej funnits kan stå för totalt 20-25 kWh/m<sup>2</sup> under perioden vecka 12-40. Med ett sådant beräkningsunderlag skulle energin som åtgår för fuktighetsreglering hamna i intervallet 90-120 kWh/m<sup>2</sup>.

### Resultat av bedömning av energiförbrukning med Privas beräkningsmodell

I företag B har det för såväl 2004 som för 2005 loggats mätningar i Privas program av den beräknade energiförbrukningen från värmerören. Beräkning har använts för att göra en jämförelse med den faktiskt uppmätta energimängden i företaget. Fördelen med detta sätt att mäta skulle vara att man får en bild av energiförbrukningen i varje enskilt växthus och

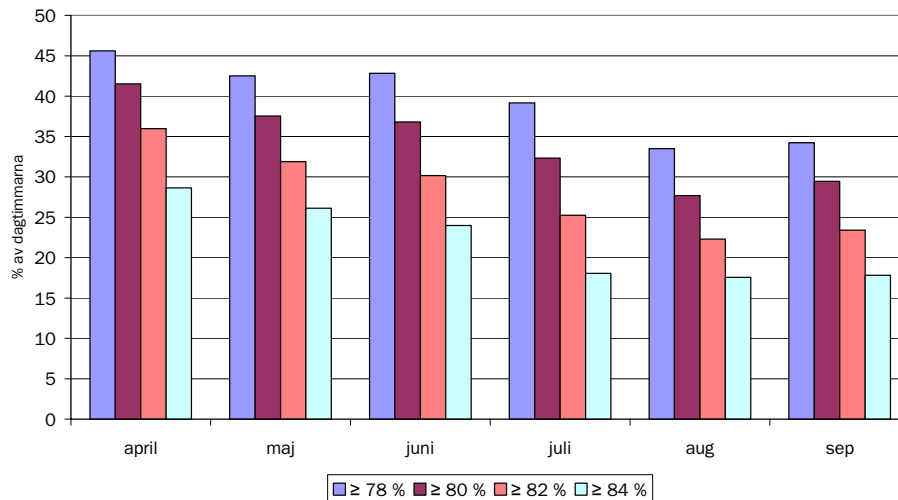
förbrukningen specificeras också på olika shuntgrupper. Resultaten visar att det beräknade värdet ligger ca 20 % lägre än det uppmätta värdet (då har hänsyn tagits till en verkningsgrad på pannan om 90 % i det aktuella företaget). Avvikelsen varierar mera längre fram under säsongen då fuktighetsregleringen varit mera frekvent. Resultatet tyder på att det finns faktorer som inte beaktats fullt ut i Privas beräkningsmodell alternativt inte har åsatts rätt värde i det bedömda företaget.



### Resultat av bedömning av fuktstyrning baserad på relativ fuktighet (RF) jämfört med fuktstyrning baserad på fuktdeficit (delta x).

Hög fuktighet som kräver fuktighetsreglering förekommer i huvudsak vid låg instrålning. Temperaturen i växthuset anpassas hela tiden efter instrålningen och det gör att fuktstyrning till största delen kommer att ske i temperaintervall 17-20°C. Fuktstyrning görs dagtid och innebär en viss luftning samt en ökning av rörtemperaturen. Startvärden för fuktreglering är ofta en relativ fuktighet på 80 % eller delta x-värde på 3,0 g/m<sup>3</sup>. Fuktigheten ligger alltid betydligt över denna nivå när fuktstyrningen startar på morgonen. Det innebär att man inte kan förvänta sig någon skillnad i värmebehov beroende på sättet att mäta luftfuktighet. Vid styrning efter delta x kommer dock fuktstyrningen att avslutas något tidigare än vid styrning efter RF på grund av den effekt som en ökning av temperaturen har på de båda sätten att mäta. Under dagar när fuktnivån ligger nära börvärdet för reglering och det blir en temperatursänkning kommer en delta x styrning ge ett större utslag och därmed något mer energikrävande. Beroende av det snäva temperaturintervallet blir antagligen skillnaderna mellan att styra efter RF eller delta x ganska små. Större effekt på energiförbrukningen har en höjning/sänkning av startvärdena från RF 80 % till RF 82 % eller delta X på 3 g/m<sup>3</sup> sänks till 2,8 g/m<sup>3</sup>. Följande diagram visar hur stor del av dagen som fuktigheten ligger över olika fuktighetsnivåer.

Andel av dagtimmarna med hög RF 2005 - företag B



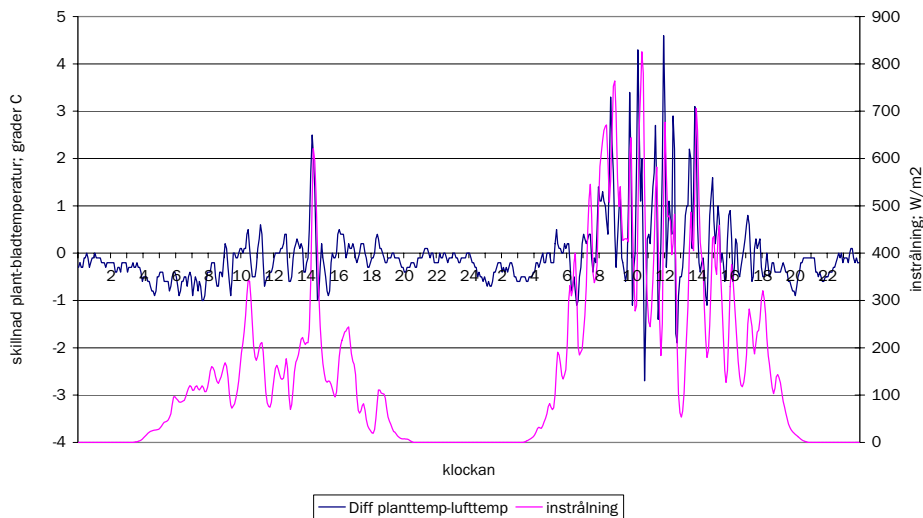
### Resultat av planttemperatur mätningar med pt-meter

Planttemperaturen ligger under natten vanligen något under lufttemperaturen. Tydligast är detta i början av året då den ligger ca 0,5-1,5°C under lufttemperaturen, trots att energiväv används. När ljuset kommer på morgonen ökar planttemperaturen och blir högre än lufttemperaturen. Det sker vid en instrålning på ca 200-250 W/m<sup>2</sup>. Dagar då instrålningen varit lägre än denna nivå ligger ofta planttemperaturen något under lufttemperaturen. På kvällen sjunker åter planttemperaturen under lufttemperaturen.

Skillnaden mellan luft och planttemperatur är större under dagen och visar värden på ± 4°C. Enstaka värden visar på en planttemperatur på drygt 5°C över lufttemperaturen. I början på året är variationen mindre. Instrålningen har mycket stor betydelse för såväl luft som planttemperatur. Planttemperaturen reagerar något snabbare på förändring av instrålning än vad lufttemperaturen gör. Vid samma instrålning och utetemperatur visar mätningarna att luft och planttemperatur kan variera mycket mellan företagen. Det är troligen resultat av företagens olika strategier för att minska effekter av stor instrålning såsom luftning, taksprinkling och vävanvändning.

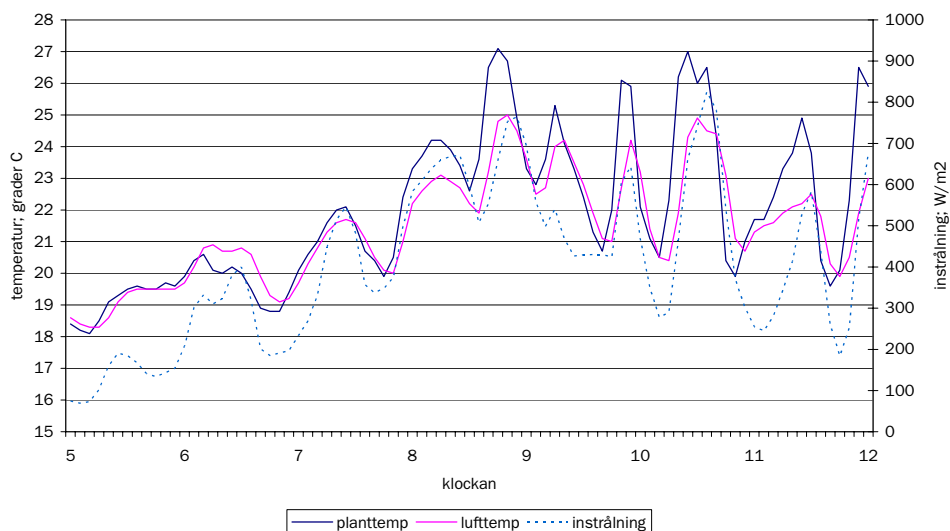
Nedanstående diagram visar för två dagar i slutet av maj 2004 skillnaden mellan planttemperatur och lufttemperatur samt aktuell ljusinstrålning. Dag ett (26 maj) är en mulen dag med låg instrålning och en tillfällig solglimt på eftermiddagen. Planttemperaturen ligger under större delen av dagen något under lufttemperaturen. Dag två (27 maj) är en kylig dag med växlande molnighet och med stunder med stark instrålning. Variationen i planttemperatur är stor och växlar snabbt mellan att ligga flera grader över lufttemperaturen till att sjunka ett par grader under lufttemperaturen.

Skilnad plant-bladtemperatur 26-27/5 2005 - företag C



I följande diagram visar hur planttemperatur och lufttemperatur förändras i förhållande till instrålningen. Svängningarna i planttemperatur har större amplitud än svängningarna i lufttemperatur. Planttemperaturen reagerar något snabbare än lufttemperaturen på förändringar i instrålningen och ligger vanligen 5-10 minuter före.

Plant- och lufttemperatur 27/5 2004 - företag C



## DISKUSSION

Olika typer av energisparåtgärder har gjort att energiförbrukningen i tomatföretagen successivt har minskat år från år. Stora besparingarna har gjorts genom ökad användning av energivävar och med förbättringar i pannanläggningar och i värmedistribution. Företagen i studien har i jämförelse med andra tomatföretag med samma odlingsperiod en förhållandevis låg energiförbrukning och har vidtagit olika energisparåtgärder både när det gäller vävar, pannanläggningar men också när det gäller klimatreglering. Trots detta finns det en besparingspotential även i dessa företag och det rör sig i första hand om att minska på den energi som åtgår till fuktighetsreglering vilken beräknas uppgå till storleksordningen 90-120 kWh/m<sup>2</sup>.



I första hand rör det sig om finjustering av klimatregleringen innebärande små men många förbättringar enligt osthyvelsprincipen. Energibesparing i tomatodling måste också ha ett gråmögelfokus. Energibesparing måste vägas mot risken för etablering och utveckling av gråmögel. Har man fått problem med gråmögel krävs det ökade energiinsatser och energisparåtgärder måste prioriteras bort.

Några möjligheter till besparingar vid fuktighetsreglering utifrån studien:

Tidpunkten för start av fuktighetsreglering har betydelse för energiförbrukningen. Ju längre tid som fuktighetsreglering är i gång desto större blir energiåtgången. Det gäller såväl tidpunkten på säsongen som tidpunkten på dagen. När tomatplantorna i mitten av mars är 1,5 m stiger fuktigheten under dagtimmarna till >85 % RF. Det finns dock ingen anledning att påbörja fuktighetsreglering om det bara rör sig om några få timmar mitt på dagen. Vid odling med energiväv är fuktigheten under natten och morgonen högre jämfört med odling utan väv och situationen med för hög fuktighet uppkommer tidigare i mars. Fuktperioden blir också något längre under dagperioden vid odling med väv, vilket gör att fuktighetsreglering behöver starta tidigare i hus med väv. Det ser ut som om lämplig tidpunkt för start av fuktighetsreglering är ca kl. 8 i mitten/slutet av mars och att den behöver vara igång till ca kl. 16. I hus utan väv kan perioden kortas med 0,5-1 timmar på såväl morgon som eftermiddag. Tidpunkterna för start och stopp av fuktighetsluftning behöver sen successivt anpassas till dagslängden. Odling med väv kommer att "kosta" lite mera energi för fuktighetsreglering under en period från mitten av mars till mitten av april då väven inte används mera. Fuktstyrning nattetid saknar betydelse och är ur energisynpunkt enbart negativt.

Fuktighetsnivån för start av fuktighetsreglering kan sannolikt höjas under vissa förutsättningar. Det innebär i så fall färre antal timmar med förhöjd rörtemperatur. Att påbörja fuktighetsreglering (dvs. höjd rörtemperatur på bottenrören med i genomsnitt 10°C) 82 % RF i stället för 80 % RF skulle innebära ca 200-250 färre timmar med ökad rörtemperatur. En uppskattning av hur mycket energi som kan sparas genom denna åtgärd skulle schablonmässigt kunna beräknas till 4-5 kWh/m<sup>2</sup>. Under dagar då vädret kan förväntas bli stabilt och instrålningen ser ut att bli god bör det vara möjligt att vänta med att starta fuktighetsstyrningen, vilket ytterligare skulle kunna innebära energibesparing.

Valet av rörtemperatur vid fuktighetsreglering har betydelse för energiåtgången. Vanligen får temperaturen på bottenrören öka med 10-15°C i ett linjärt intervall från 80-88 % RF utifrån en grundtemperturnivå på 35-40°C på rören, vilket innebär en rörtemperatur på 45-55°C. Av materialet framgår att tiden med relativ fuktighet över 84 % är ca 1000 timmar under perioden april-september. Att minska rörtemperaturen för hög fuktighet med 2°C bedöms minska energiförbrukningen med 4 kWh/m<sup>2</sup> under denna tid. En minskning med 5°C bedöms minska energin med ca 10 kWh/m<sup>2</sup>. Det finns inget i materialet som tyder på att det inte går att sänka rörtemperaturen några grader utifrån gråmögelssituationen.

Av de registreringar som projektet har gett kan man urskilja ett par olika odlingssituationer då man kan ha god nytta av en pt-meter. Vid luftning vill man undvika stora temperaturvariationer och en låg planttemperatur men i praktiken är det inte ovanligt att temperaturen sjunker snabbt och till en alltför låg nivå i synnerhet när det är svalt men soligt utomhus. Planttemperaturen ger här ett tydligare utslag än lufttemperaturen och kan ge goda signaler om att luftningsstrategin behöver förändras.

Kondens på plantorna bör man alltid undvika för att minska riskerna av framförallt gråmögel. Vi låg instrålning är ofta fuktigheten i växthuset hög. Relativt små temperatursänkningar kan innebära att man når kondenspunkten. Mätningarna har visat att temperatursänkningen på kvällen kan vara ett känsligt moment. Den allmänna uppfattningen har hitintills varit att plantorna är varma på kvällen och det är därför riskfritt att sänka temperaturen på kvällen. Mätningarna har visat att mulna fuktiga dagar gäller inte detta.

Att man skulle kunna minska energiförbrukningen genom att styra klimatet efter pt-metern istället för lufttemperaturen ger projektet inga direkta indicier på. Skillnaden i planttemperatur och lufttemperatur är ofta mycket liten under de perioder då man har ett värmekrav. Vid finjusteringar av klimatstyrningen bedöms dock pt-metern vara till god hjälp.

Av den beräknade energiåtgången om 90-120 kWh/m<sup>2</sup> för fuktighetsreglering bedöms det fullt möjligt att minska förbrukningen med 15-20 kWh/m<sup>2</sup> genom finjustering av fuktighetsstyrningen. Då ska tilläggas att de medverkande företagen redan ligger på en låg energiförbrukningsnivå jämfört med andra företag och det gör det sannolikt att många företag kan göra väl så stora besparingar vid förändringar av fuktighetsregleringen.

Basen vid förändringar av klimatstyrning är att man har något att relatera förändringar till och att man får ett svar på vad förändringar lett till – det behövs något form av uppföljning. Handboken som utarbetats inom projektet har som syfte att underlätta för den enskilde odlaren att skapa ett eget system för uppföljning och utvärdering av klimatet. Den ger exempel på olika en rad olika klimatsituationer och vilka åtgärder som kan vara lämpliga att vidta.

## **Resultatförmedling**

### **Kurser**

2004 12 02, GROs växthussektion för grönsaker har möte i Åstorp. Projektet presenterades och resultat från mätning av planttemperatur diskuterades

2005 12 01, Projektets resultat var underlag för kurs med inriktning på energibesparing vid klimatstyrning.

Fortlöpande information har givits i odlarbrev och vid rådgivningsarbete

Referensgrupp bestående av deltagande företag har träffats två gånger och varav en tillsammans med representanter från Priva.

### **Publikationer**

Anvisning till klimatstyrning baserad på SLF-projekt "Utveckling av metodik för energieffektivare klimatreglering"

Malmö 2006-06-30

LRF Konsult AB

Inger Christensen och Torbjörn Hansson