

Energi i växthusodling, energianalys och energieffektiv odlingsteknik – underlag till utbildningsmodul

*Energy in greenhouses, energy analysis
and energy efficient growing techniques
- education module for extension services*

Tillväxt Trädgård

Inger Christensen och Torbjörn Hansson

Grön Kompetens AB

Sven-Erik Svensson

Område jordbruk – odlingssystem, teknik och produktkvalitet, SLU Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2010:36

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86373-43-6

Alnarp 2010



LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK

Rapportserie

Energi i växthusodling, energianalys och energieffektiv odlingsteknik

– underlag till utbildningsmodul

*Energy in greenhouses, energy analysis
and energy efficient growing techniques*

- education module for extension services

Tillväxt Trädgård

Inger Christensen och Torbjörn Hansson

Grön Kompetens AB

Sven-Erik Svensson

Område jordbruk – odlingssystem, teknik och produktkvalitet, SLU Alnarp

Tillväxt Trädgård

Är ett projekt som syftar till att ge förutsättningar för ökad konkurrenskraft och tillväxt inom trädgårdsnäringen genom nytänkande och samarbete.

Projektet finansieras av Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling: Europa investerar i landsbygdsområden, SLU, LTJ-fakulteten Alnarp, LRF/GRO, Hushållningssällskapen i Malmöhus, Halland och Kristianstad, Lovang Lantbrukskonsult AB, Mäster Grön samt Prysek.



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling. Europa
investerar i landsbygdsområden

Innehållsförteckning

FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	5
SUMMARY	6
INLEDNING	7
ALLMÄNT OM VÄXTHUSFÖRETAGETS ENERGIANVÄNDNING	7
ENERGIANALYS	8
<i>Data behövs till energianalysen</i>	8
<i>Vad ska ingå i energianalysen?</i>	9
<i>Lämpliga nyckeltal</i>	9
KULTURANALYS PARALLELLT MED ENERGIANALYS	10
EGEN ENERGIBEDÖMNING ÖVER ÅRET	11
<i>Testa energianvändningen mot en värmeberäkning</i>	11
ENERGIEFFEKTIV ODLINGSTEKNIK	13
EN GRUNDFÖRUTSÄTTNING – KALIBRERADE KLIMATGIVARE	13
TEMPERATURSTRATEGI	13
<i>Vad betyder en ökning eller minskning av temperaturen under dag resp. natt?</i>	13
<i>När på året har man nytta av att höja dagtemperaturen?</i>	14
<i>När på dagen har man mest nytta av att höja dagtemperaturen?</i>	15
<i>Olika tankar kring temperaturprogram</i>	16
<i>Håll frostfritt med god energieffektivitet</i>	17
<i>Bedömning av hur väl temperaturstyrningen fungerar</i>	18
LUFTNINGSSTRATEGI	19
UNDVIK JO-JO-REGLERING AV LUCKORNA	19
PARAMETER FÖR ENERGIEFFEKTIV LUFTNING	19
<i>P-band enligt Privas senare modeller</i>	20
<i>P-band hos äldre klimatdatorer</i>	21
KONTROLL AV LUFTNINGEN	21
<i>Bedömning av hur väl styrning av luftningen fungerar</i>	22
VÄVSTYRNING	22
VAD KAN EN EXTRA VÄV GÖRA?	22
MERA VÄVTID GER ENERGIBESPARING	22
FÖR STOR VÄVSPALT KAN GE ENERGIFÖRLUST	24
BELYSNING	25
ANPASSA VÄV, BELYSNING OCH INSTRÅLNING	25
ANPASSNING AV BELYSNINGSTIDEN EFTER LJUSSUMMA	26
BELYS ENBART YTA MED KULTURER	26
FUKTIGHETSSTYRNING	27
NÅGRA BEGREPP	27
MINSKA FUKTIGHETEN I VÄXTHUSET	27
UNDVIK KLIMATZONER I VÄXTHUSET	28
FÄRRE TIMMAR MED FUKTIGHETSREGLERING SPAR ENERGI	29
VAL AV RÖRTEMPERATUR	30
REFERENSER	30
INTERNET	30
ÖVRIGA REFERENSER	30

Förord

Tillväxt Trädgård är ett projekt i samverkan mellan LTJ-fakulteten vid SLU Alnarp, LRF/GRO samt företag och organisationer inom trädgårdsnäringen och som syftar till att ge förutsättningar för ökad konkurrenskraft och tillväxt inom branschen genom nytänkande och samarbete. Samarbetet sker bland annat i form av forskningsprojekt, utvecklingsprojekt, kompetensutveckling etc.

Inom Tillväxt Trädgård är delprojekt 3, som finansieras av det nationella Landsbygdsprogrammet via Jordbruksverket, inriktat på att genom utbildningsinsatser introducera hållbara produktionssystem inom prydnadsväxter, potatis, frukt, bär och grönsaker. Flera utbildningsmoduler kommer att tas fram och genomföras under projektiden för att sprida forskningsresultat och andra rön till landsbygdsföretagare.

Föreliggande rapport ”Energi i växthusodling, energianalys och energieffektiv odlingsteknik – underlag till utbildningsmodul”, som är framtagen inom delprojekt 3, är ett exempel på hur erfarenheter från forskning, utveckling och rådgivning kan omsättas till utbildningsmoduler, vilka kan genomföras individuellt eller i grupp beroende på företagarnas behov.

Denna rapport och utbildningsmodul behandlar energianalys och energieffektiv odlingsteknik i samband med produktion av grönsaker och prydnadsväxter i växthus. Den utgör en del i ett informations- och rådgivningsmaterial kring hållbara produktionssystem för trädgårdsbranschen, där syftet är att minska miljöbelastningen från produktionen i enlighet med de nationella miljökvalitetsmålen. Rapporten, som vänder sig till växthusodlare och rådgivare i branschen, är tänkt att användas i olika former av kompetensutvecklingsinsatser.

Rapporten och utbildningsmodulen har utarbetats, på uppdrag av Tillväxt Trädgård, av hortonomerna Inger Christensen och Torbjörn Hansson, Grön Kompetens AB, som båda har mångårig erfarenhet av odlings- och energiteknik i växthus. Klara Löfkvist HIR Malmöhus, Borgeby har bidragit med synpunkter på rapporten. Sven-Erik Svensson, processledare vid Tillväxt Trädgård och verksam inom Område Jordbruk – odlingsystem, teknik och produktkvalitet, vid SLU Alnarp, har varit projektledare.

Författarna ansvarar för rapportens innehåll. De eller utgivaren kan dock inte ställas till ansvar för läsarens tolkning och användning av informationen i rapporten som finns i text och bild.

Alnarp i december 2010

Sven-Erik Svensson
Projektledare
Område Jordbruk
SLU Alnarp

Erik Steen Jensen
Områdeschef
Område Jordbruk
SLU Alnarp

Sammanfattning

Det enskilda växthusföretagets energianvändning beror av en lång rad faktorer. Det yttre klimatet såsom instrålning, temperatur, vind och nederbörd har en direkt påverkan på värmebehovet i växthuset och följaktligen på energianvändningen. De yttre faktorerna varierar med årstiderna och kan också variera kraftigt från dag till dag, liksom från år till år. Växthusets tekniska utrustning, utformning och kondition har också stor betydelse. Hur den tekniska utrustningen utnyttjas och styrs har stor påverkan på energianvändningen. I rapporten behandlas möjligheterna till energieffektivisering genom förändringar och justeringar i odlingsteknikens klimatrelaterade frågeställningar.

Inledningsvis beskrivs nyttan av att göra en energianalys och att arbeta systematiskt enligt en arbetsmodell för ständiga förbättringar. För att kunna göra jämförelser av olika slag ges exempel på olika sätt att beskriva energianvändningen vid växthusproduktion.

Energieffektiv odlingsteknik med inriktning på klimatfrågor delas in i områdena: temperaturstrategi, luftning, vävstyrning, belysning och fuktighetsstyrning. Temperaturstrategierna syftar till att i möjligaste mån utnyttja den energi som solens instrålning ger. Exempel visar på att det under vintern behövs mindre energi att hålla temperaturen på natten med fördragen väv än under dagen utan väv. Först 1,5-2 timmar efter soluppgång och fram till 1,5-2 timmar före solnedgång ger instrålningen ett tydligt energitillskott. Energivinster fås genom att tillåta en högre temperatur i växthuset på dagen när instrålningen ger ett värmetillskott och en något lägre temperatur när värmeförlusterna från växthuset är stora. Den högre temperaturen uppnås genom att tillåta en högre temperatur i växthuset innan luftningsluckorna öppnar.

Rätt luftningsstrategi och korrekta inställningar på klimatdatorn är avgörande både för att uppnå ett gott odlingsresultat och bedriva en energieffektiv produktion. En viktig parameter är att ha rätt inställda P-band (regleringsfunktion) för luckorna, vilket påverkar hur luckorna öppnar och stänger. I rapporten beskrivs hur P-bandet fungerar för de vanligaste förekommande klimatdatorerna.

Väv är den enskilt största åtgärden för att minska energianvändningen i ett uppvärmt växthus. Längre tid med väv på morgonen och tidigare pådragning av väven under eftermiddagen innebär energibesparing. I rapporten ges exempel på hur detta kan göras utan att produktionen påverkas negativt. Med stor bladmassa under en väv kan det dock bli mycket fuktigt och man kan behöva öppna väven något. Exempel på fuktighetsnivåer att styra efter och val av fuktspaltens storlek diskuteras i rapporten.

Från mitten av oktober till mitten av mars är assimilationsbelysning avgörande för att producera prydnadsväxter eller grönsaksplantor av god kvalitet. Anpassning av belysningstiden efter ljussumma är en intressant strategi för att minska elanvändningen och tas upp som ett område att utveckla.

Av den totala energianvändningen i en tomatodling står ofta fuktighetsstyrningen för ca 20 %. I en gurkodling är motsvarande siffra ca 15 %. I ett växthus utan varierande klimatzoner och med en väl fungerande styrning av temperatur och luckor går det att tolerera en något högre nivå när fuktighetsregleringen ska gå in och en något lägre rörtemperatur när fuktigheten bedöms för hög. I rapporten beskrivs anledningar till att det uppstår olika klimatzoner i ett växthus och hur de kan elimineras.

Summary

Energy use by individual greenhouse producers depends on a wide range of factors. Features of the external climate such as solar radiation, temperature, wind and rainfall have a direct impact on the heating requirement in the greenhouse and consequently on energy use. These external factors vary with the season and can also fluctuate sharply from day to day or from year to year. The technical equipment in the greenhouse and its design and condition are also very important. How the technical equipment is used and regulated has a major effect on energy use. This report examines the possibilities for increasing energy efficiency through changes and adjustments in climate-related parameters in greenhouse cultivation.

The report begins by describing the benefits of carrying out an energy analysis and working systematically according to a working model for continual improvements. In order to make comparisons of different types, examples are provided of different ways to describe energy use in greenhouse production.

Energy-efficient cultivation technology relating to climate issues is divided into the areas of temperature strategy, ventilation, screen regulation, lighting and humidity regulation. The temperature strategy aims to exploit the energy provided by solar radiation to the maximum extent possible. Examples show that during the winter, less energy is needed to maintain the temperature at night with the screens closed, than during the day with the screens open. Solar radiation only provides a clear energy boost from 1.5-2 hours after sunrise until 1.5-2 hours before sundown. Energy can be saved by allowing a higher temperature to develop in the greenhouse during the day when solar radiation provides additional energy and a somewhat lower temperature when heat losses from the greenhouse are great. The higher temperature is achieved by raising the ventilation temperature threshold.

An appropriate ventilation strategy and correct settings of the climate computer are critical for a good crop and for energy-efficient production. An important parameter is to have correctly set P-band (regulation function) for vents, which determines how these open and close. This report describes the P-band function for the most commonly available climate computers.

Having greenhouse screens is the single most important measure to decrease energy use in a heated greenhouse. Keeping the screens closed for a longer period in the morning and closing them earlier in the afternoon results in energy savings. This report provides examples that this can be achieved without any negative effects on production. However, a dense plant canopy under screens can create very humid conditions and it may be necessary to open the screens slightly to ventilate out this humidity. Examples of humidity levels to aim for and choice of screen opening width are discussed in the report.

From mid-October until mid-March, assimilation lighting is essential for producing good quality ornamental plants or vegetables. Adjustment of the lighting period according to total cumulative light is an interesting strategy for decreasing electricity use and is discussed here as an area for development.

Humidity regulation often contributes around 20% of the total energy use in a tomato crop, while in a cucumber crop the corresponding value is around 15%. In a greenhouse without variable climate zones and with efficient regulation of temperature and ventilation vents, it is possible to tolerate a slightly higher threshold at which humidity regulation is activated, and a slightly lower pipe temperature when the humidity is too high. The report describes why different climate zones develop in a greenhouse and how they can be eliminated.

Inledning

Allmänt om växthusföretagets energianvändning

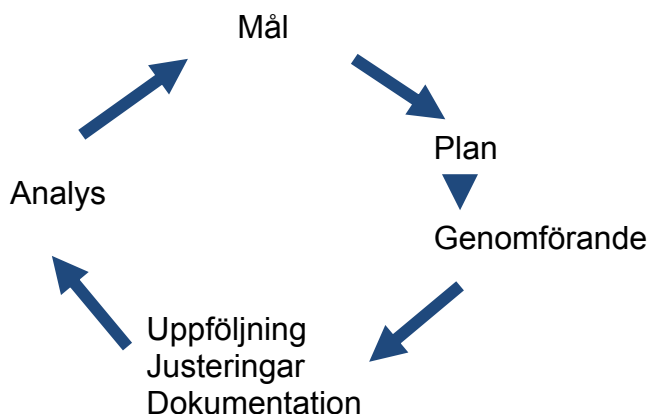
Det enskilda växthusföretagets energianvändning (tillförsel av extern energi) beror av en lång rad faktorer. Det yttre klimatet såsom instrålning, temperatur, vind och nederbörd har en direkt påverkan på värmebehovet i växthuset och följaktligen på energianvändningen. De yttre faktorerna varierar med årstiderna och kan också variera kraftigt från dag till dag, liksom från år till år.

Växthusanläggningens geografiska belägenhet i landet och placering i den nära omgivningen (utsatthet för vind, kyla, växthusens placering i förhållande till vegetation och byggnader) har stor betydelse för energianvändningen. Växthus som ligger öppet i terrängen och som på så vis kan fånga maximalt med ljus kan till exempel vara mera utsatt för vindar, vilket medför en ökad energianvändning. Växthusens tekniska utformning, utrustning och kondition har också stor betydelse och större samlade block av växthus kräver mindre energi per växthusyta än motsvarande yta med friliggande växthus. Växthusens allmänna kondition när det gäller till exempel täthet kring luckor, spröjs och dörrar har betydelse för värmeförlusternas storlek. Förekomst och användning av isolerande material såsom dubbla täckmaterial, olika slag av energi- och mörkläggningsvävar, plastfolier och isolerskivor gör det möjligt att begränsa energianvändningen på ett betydande sätt. Pannans storlek, kondition och styrning samt hur distributionen ut till växthuset sker har även den stor påverkan på den totala energianvändningen. En väl intrimmad och rengjord panna som sotar minimalt ger till exempel en hög verkningsgrad och minskad energiåtgång.

I den här utbildningsmodulen behandlas i huvudsak möjligheter att minska energianvändning genom att göra förändringar och justeringar i odlingstekniken. Hur kan t.ex. den befintliga tekniska utrustningen utnyttjas på ett mera energieffektivt sätt? Hur kan temperaturstrategier justeras på ett sätt som ger bibehållen produktionskapacitet, men som kan innebära energibesparingar?

Energianalys

Att veta sin nuvarande energianvändning och var man står idag är grunden i arbetet med att göra förbättringar i företaget. Först när man har siffror på hur man ligger till, går det att göra bedömningar av vad som kan vara lämpliga åtgärder att gå vidare med. Man kan då sätta upp en rimlig målsättning som man kan planera efter. Genom att sedan följa upp hur det går och analysera resultatet, skapar man goda förutsättningar att finna nya möjligheter till energi-effektivisering. Ett systematiskt arbetssätt såsom förbättringssnurran visar kan bli mycket lönsamt, se figur 1.



Figur 1. Förbättringssnurran systematiserar arbetet med energieffektiviseringen.

En energianalys bör ge svar på:

- Hur ligger energianvändning till som helhet
- Hur har *utvecklingen varit i företaget* – vilken är trenden
- Vilka perioder ligger förbrukningen bra till
- Vilka perioder ligger förbrukningen dåligt till
- Vilka perioder finns det möjligheter att göra förbättringar
- Hur stor är förbättringspotentialen

Data behövs till energianalysen

Det går oftast att finna möjligheter till energieffektivisering både i nya anläggningar med senaste teknik och i äldre anläggningar med enkel utrustning. Det viktiga är att man känner till vilka situationer som är mest energikrävande. Ju noggrannare uppdelning av energianvändningen man önskar, desto noggrannare behöver också basuppgifterna vara. Man behöver hitta en form för insamling/registrering av energianvändning i företaget som ger en ”lagom” grad och mängd av basuppgifter. De ska vara hanterbara samtidigt som de ska ge den information som behövs för att ge underlag till förbättringsåtgärder.

Det ska vara enkelt att registrera förbrukningen, då blir den ofta utförd. Vanligt är att notera energianvändningen per vecka eller åtminstone per 4-veckors period eller månadsvis. Bra hjälpmedel är Miljödatan via Grön kompetens (www.gronkompetens.se) och IP Sigills journaler. Kan man komma ner på dygnsvis mätning, har man särskilt stora möjligheter att göra kvalificerade bedömningar. Man bör utnyttja möjligheten till loggning via klimatdator eller avläsning hos energileverantör (t.ex. för el och gas). Värdefull information får man också genom att studera kurvor på klimatdatorn och här gäller det att presentera och ställa lämpliga

klimatparametrar mot varandra, vilket kan ge goda idéer till förbättrande klimatinställningar. Det kan t.ex. röra sig om rörtemperatur kontra instrålning, vävposition och lucköppningar. Genom att ringa in situationer när energibehovet är extra stort kan man ofta med små korrigeringar i klimatinställningarna minska energitoppar.

Vad ska ingå i energianalysen?

Det är viktigt att se till hela företagets energianvändning, eftersom det är den som belastar företagets ekonomi. Utöver uppvärmning så behöver man inkludera energi som går till kylar och belysning mm. En bra bild av företagets totala energianvändning och CO₂-belastning kan man få med hjälp av uppgifterna i tabell 1, vars uppgifter är en bearbetning av information från Naturvårdsverket rörande "Klimat i förändring" (www.naturvardsverket.se).

Tabell 1. Energianvändning samt beräkning av CO₂-ekvivalenter

	enhet	Egna värden på använda energislag	Energi-innehåll i MWh	Energi-användning MWh	CO ₂ -ekvivalenter per MWh	CO ₂ -ekvivalenter per MWh	Förnybar energi %
Olja 1	m ³		10,0		270		0
Olja 2-5	m ³		10,5		280		0
Naturgas	1000m ³		11,0		206		0
Gasol/ Propan	ton		12,8		256		0
Trädbränsle pellets	ton		4,7		24		100
Trädbränsle flis	m ³		0,8		24		100
Halm	m ³		400		24		100
Nordisk elmix	MWh		1		123		50
Grön el	MWh		1		1		100
			Summa:		Summa:		

Lämpliga nyckeltal

För att kunna göra jämförelser av olika slag behöver energianvändningen uttryckas i användbara nyckeltal. Beroende av vilken typ av odling man har och i vilket sammanhang som siffrorna ska användas kan man t.ex. välja att räkna energianvändningen per ytenhet eller per producerad enhet.

Några olika sätt att beskriva energianvändningen kan vara:

- Energianvändning/areal – t.ex. kWh/m²
- Energianvändning/producerad enhet – kWh/kg, kWh/st
- Andel förnybar energi – % av total energiåtgång
- Koldioxidpåverkan/areal – CO₂e/m²
- Koldioxidpåverkan/producerad enhet – CO₂e/kg, CO₂e/st

Genom att dividera de uppgifter som man räknat fram i tabell 1 med t.ex. odlingsyta, skörd eller mängd producerad vara, kan man lätt beräkna företagets energinyckeltal, tabell 2 och 3.

Tabell 2. Beräkning av energinyckeltal

			kWh per enhet		CO ₂ ekvivalenter per enhet	
Odlingsyta		m ²		kWh/m ²		CO ₂ e/m ²
Skörd		kg		kWh/kg		CO ₂ e/kg
Antal		st		kWh/st		CO ₂ e/st

Tabell 3. Beräkning av andelen förnybar energi

		% av totalt använd energi
Total energianvändning, kWh		
Ej förnybar energi, kWh		
Förnybar energi, kWh		

Klimatpåverkan redovisas som koldioxidekvivalenter

De viktigaste växthusgaserna är koldioxid CO₂, metan CH₄, lustgas N₂O och industrigaser t.ex. freoner. För att kunna jämföra och addera effekterna som de olika växthusgaserna har, räknar man om dem till koldioxidekvivalenter, CO₂e. Med det menas att man har 1 kg CO₂ som mått. Ett kg metan, CH₄ har samma klimatpåverkan som 21 kg CO₂ och därför uttrycks det som 21 koldioxidekvivalenter för metan (tabell 4).

Tabell 4. Koldioxidekvivalenter för några vanliga växthusgaser

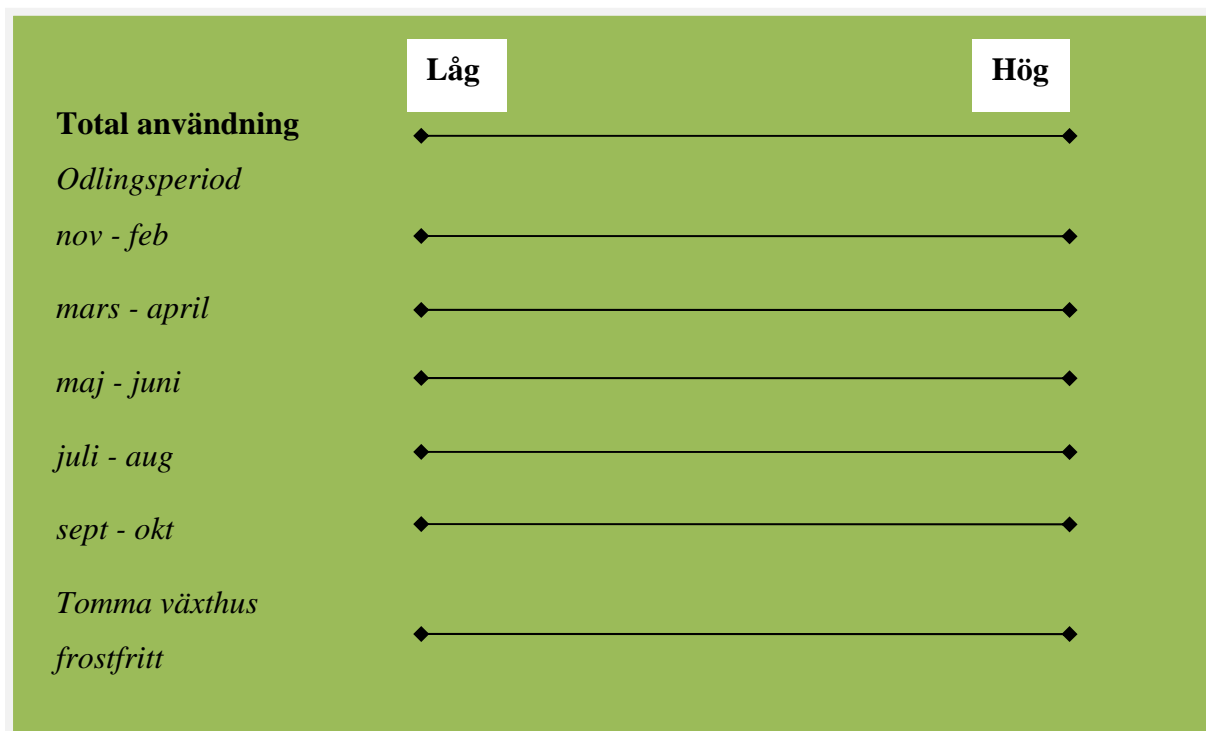
Växthusgas	CO ₂ e/kg gas	Utsläpp kommer i huvudsak från	Procent av utsläpp i Sverige räknat på CO ₂ e
CO ₂	1	Fossila bränslen	79
CH ₄	21	Idisslarnas matsmältning, gödsel, soptippar m.m.	12
N ₂ O	310	Tillverkning av N-gödsel, stallgödsel, överskott av kväve i mark	8
Freon	>1000	Industrier	1

Kulturanalys parallellt med energianalys

Det är viktigt att man ställer energiåtgärderna i relation till vilket resultat det ger för kulturens utveckling. Ett mått på energieffektiviseringen kan vara att det ska leda till en minskad energiinsats per producerad enhet. En bedömning av hur kulturen utvecklas behöver därför göras parallellt med energianalysen. Att sänka temperaturen för att minska energiåtgången, men som samtidigt medför försenad utveckling hos plantorna, t.ex. att de inte blir färdiga till ett bestämt datum, kan lätt bli en felaktig strategi. Detta bör man ha preciserat för sig själv innan. Kan jag göra avkall på produktionen? Eller ställa frågan hur mycket min produktion får påverkas av de energisparåtgärder jag gör? Ofta ställer man nog kravet att kunna behålla utvecklingstid, skördestart och skördenivå.

Egen energibedömning över året

Vad som är normal energianvändning hos den enskilde odlaren är sällan definierat och flera faktorer såsom det yttre klimatet har stor betydelse. Stor nytta kan man ha av att jämföra mot tidigare år och med andra odlare. En översiktlig bedömning över året hur den egna energianvändningen ser ut, kan hjälpa till att ringa in perioder som kan kräva särskilda insatser. Praktiskt kan då vara att dela upp året i perioder, figur 2.



Figur 2. Bedömning av energianvändningen över året.

Energianvändningen är ett resultat av tekniska förutsättningar och hur man använder utrustningen. Den kan delas in i följande fyra områden:

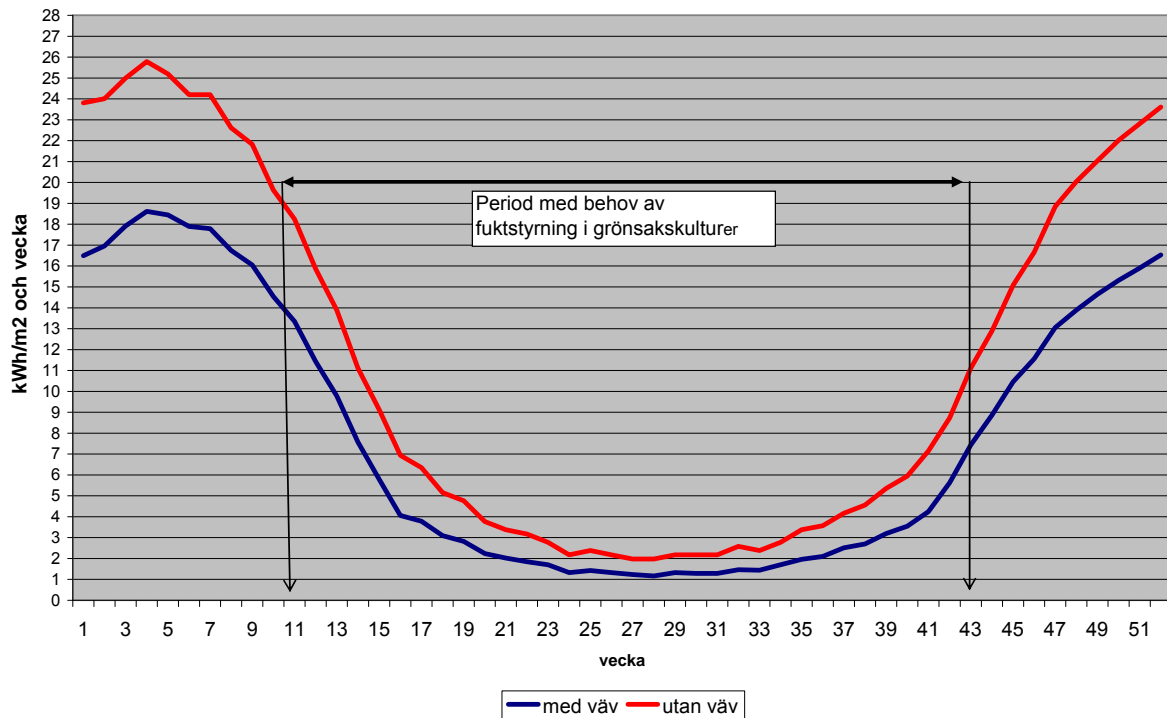
1. Värmeproduktion - pannrummet
2. Värmedistribution med pumpar, shuntar och ledningar
3. Växthusets konstruktion, kondition, täthet, isolering, vävar
4. Energianvändning t.ex. styrning av väv, lampor, fukt

För genomgång av punkt 1-3 ovan är Svenskt Sigills Energihusesyn version 2009 ett bra hjälpmedel (www.svensksigill.se). Den sista punkten hör samman med odlingstekniken och behandlas i denna utbildningsmodul.

Testa energianvändningen mot en värmeberäkning

Det går att teoretiskt beräkna energianvändningen för ett visst växthus med en viss utrustning. Ett hjälpmedel för detta är Kalkyllådan – ett webbaserat arbetsverktyg för bl.a. beräkning av energiåtgången i växthus (www.gronkompetens.se).

I figur 3 visas energibehovet per kvadratmeter och vecka för att värma ett växthus till 17°C natt och 19°C dag, utan respektive med energiväv nattetid. Huset i beräkningen är på 5 000 m², har plexiglas i sidorna och är beläget i västra Skåne. Beräkningen visar enbart den energi som går åt för värmebehovet – till detta kommer energianvändning för odlingstekniska åtgärder t.ex. fuktighetsreglering.



Figur 3. Energiförbrukning veckovis enligt beräkning i Kalkyllådan.

I Kalkyllådan finns det goda möjligheter att göra beräkningar för olika utrustning och jämföra olika strategier såsom:

- Vad betyder extra isolering med vävar i sidor och gavlar?
- Hur mycket sparar en väv till?
- Vad betyder det att låta väven ligga på två timmar dagtid under perioden vecka 2-18?
- Hur påverkar belysningen energianvändningen och hur blir fördelningen el – värme?
- Hur blir energiåtgången med lika dag- och nattetemperatur jämfört med 2°C skillnad?

Genom att jämföra beräknad energianvändning med verkligt värde går det att skaffa sig en uppfattning om hur mycket som används till t.ex. fuktighetsstyrning. Avvikelsen mellan beräknad och uppmätt energiåtgång är större för grönsaksodlingar än för krukväxtodling på grund av mer fuktighetsreglering i grönsaksodlingar.

Energieffektiv odlingsteknik

Energieffektiv odlingsteknik omfattar många frågeställningar. Den här rapporten behandlar enbart klimatrelaterade frågor. Översiktligt kan de delas in i fem olika områden:

- Temperaturstrategi
- Luftning
- Vävstyrning
- Belysning
- Fuktighetsstyrning

Inom varje område finns ett antal olika åtgärder som kan leda till en minskad energi-användning. En utgångspunkt har varit att de förändringar och åtgärder som presenteras ska vara genomförbara med en bibehållen produktionsperiod, kvantitet och kvalitet.

En grundförutsättning – kalibrerade klimatgivare

Rätt skötta och kalibrerade givare är en förutsättning för energieffektiv klimatstyrning. De ska också vara placerade så att de representerar kulturen så bra som möjligt. Nära yttervägg eller värmerör bör undvikas. Givarna bör heller inte sitta inbäddade i ett tätt plantbestånd.

Alla givare, även de utomhus, bör regelbundet tvättas, kontrolleras och i tillämpliga fall kalibreras. För att utföra kalibreringen bör man anlita servicetekniker från leverantören av utrustningen.

Kontroll av fuktighetsgivare gör man lätt själv om man har en givare med våt och torr termometer. Ta av den våta strumpan. När båda temperaturgivarna är torra ska de visa samma temperatur. Skillnaderna mellan de båda givarna får inte vara större än 2 gånger givarnas noggrannhet. Om noggrannheten är 0,1° C får skillnaden inte vara större än 0,2° C.

(www.svensktsigill.se).

Det är viktigt att ljusgivarna, både ute och inne, är placerade så att de inte skuggas. Vindmätaren måste placeras så att den känner av vindriktningen, vilket innebär att den ska sitta högre än nockarna på växthuset.

Temperaturstrategi

Växthus är solfångare under rätt förutsättningar. Att i möjligaste mån utnyttja den energi som instrålningen ger är energieffektivt. Kan man låta temperaturen bli högre när det krävs liten eller ingen tillskottsenergi och lägre temperatur under perioder när det behövs mer tillskottsenergi minskas energibehovet. I praktiken innebär det att solens energi tillåts stå för större andel av det totala uppvärmningsbehovet.

Vad betyder en ökning eller minskning av temperaturen under dag resp. natt?

Justering av uppvärmningstemperaturen någon grad upp eller ner och dess betydelse för energiåtgången visas i tabell 5. Där visas medeltemperatur för olika natt- och daginställningar och hur mycket energi som går åt ett normalår för perioden vecka 13-17. Dag- och nattinställningarna förutsätts följa det astronomiska uret för vad som är natt resp. dag och värdena avser Lund. Nattetid används en energiväv, som spar 45 % av energiförlusten. Några slutsatser från tabellen är:

- Att höja medeltemperaturen 1°C grad innebär en ökning av energibehovet med ca 11 %. På helår innebär 1°C skillnad i medeltemperatur ca 8 % skillnad i energiåtgång.
- Det är en obetydlig energivinst att hålla 19°C dag och natt jämfört med 18°C natt och 20°C dag.

Att tillåta en betydligt större höjning av temperaturen när instrålningen ger möjlighet, är mera energieffektivt än att ändra börvärde för natt och dag. Den högre temperaturen får man i huvudsak genom att sätta en högre luftningstemperatur, vilket är ett ”billigt” sätt. Det innebär mindre lucköppningar, vilket medför att det blir mindre CO₂-inläpp utifrån. För att effektivt kunna utnyttja bra ljusnivå och hög temperatur krävs det att CO₂-nivån kan hållas på en tillräcklig nivå, vilket innebär tillförsel av CO₂. Val av såväl temperatur som CO₂-nivå är kopplat till kultur och ljusnivå.

Tabell 5. Medeltemperatur och energiåtgång vid olika natt/dag inställningar

vecka	natt/daginställning, °C				
	19/19	18/20	19/20	20/20	18/21
13	19	19,1	19,5	20	19,6
14	19	19,2	19,6	20	19,7
15	19	19,2	19,6	20	19,8
16	19	19,2	19,6	20	19,9
17	19	19,3	19,6	20	19,9
medeltemp v 13-17	19	19,2	19,6	20	19,8
Energiåtgång kW/m ² vecka 13-17	43	44	46	48	48

En kort sammanfattning av temperaturstrategin:

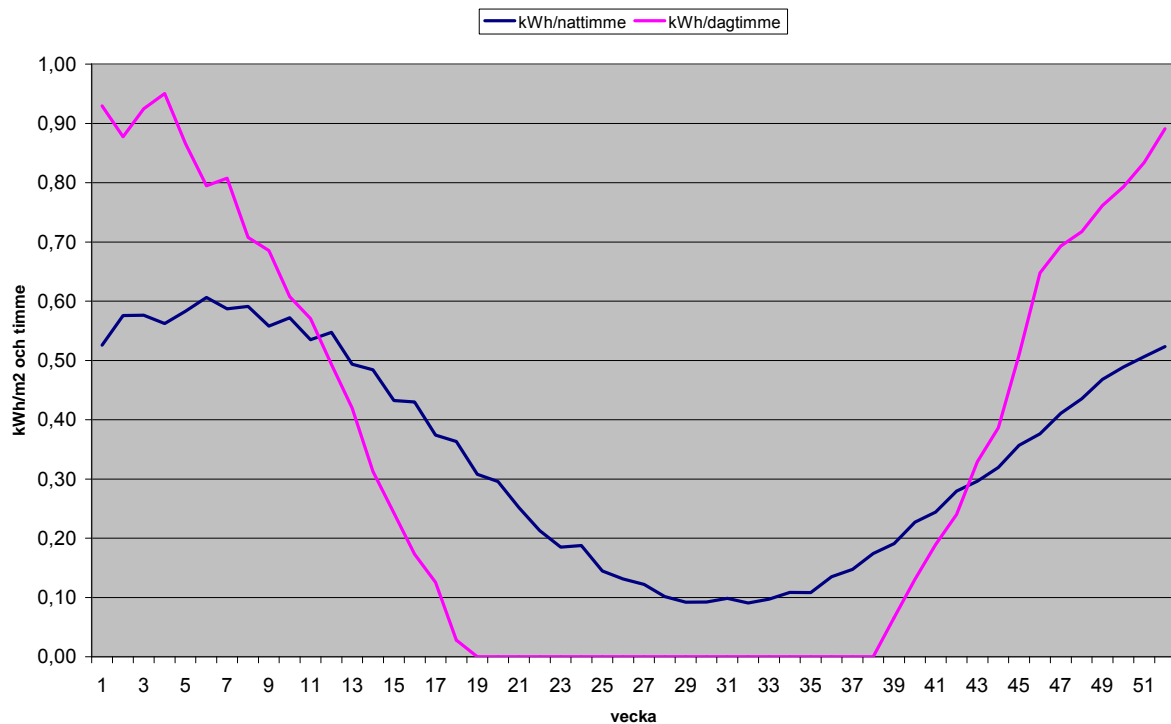
- Ha en grundtemperatur som utgör minimumnivå och som inte bör underskridas.
- Ha koll på medeltemperaturen
- Höj temperaturen när ljusnivån är bra
- Arbeta med större ljustillägg

När på året har man nytta av att höja dagtemperaturen?

Under perioden november-februari har vi begränsad nytta av instrålningen, då värmestillskottet från solen är litet pga. den låga solvinkeln. Energianvändningen i genomsnitt per dag- resp. nattimme under ett normalår i södra Sverige kan se ut som i figur 4. Beräkningen är gjord med en nattemperatur på 17°C och en dagtemperatur på 19°C. Energiväx med 45 % energi-besparing används nattetid.

Beräkningen visar att under vinterperioden, vecka 44 – 10, är energianvändningen betydligt lägre under nattimmarna än under dagtimmarna eftersom energitillskottet från solen är så litet och väven är fördragen på natten. Under perioden vecka 11-43 gäller det motsatta, och här är energianvändningen som lägst under dagtimmarna. Skärningspunkterna där energi-användningen är lika stor för dag- och nattimmarna, kommer att förändras vid andra temperaturval. Vid t.ex. 18°C dag och 18°C natt flyttas skärningspunkterna till ca två veckor tidigare på våren och ca två veckor senare på hösten.

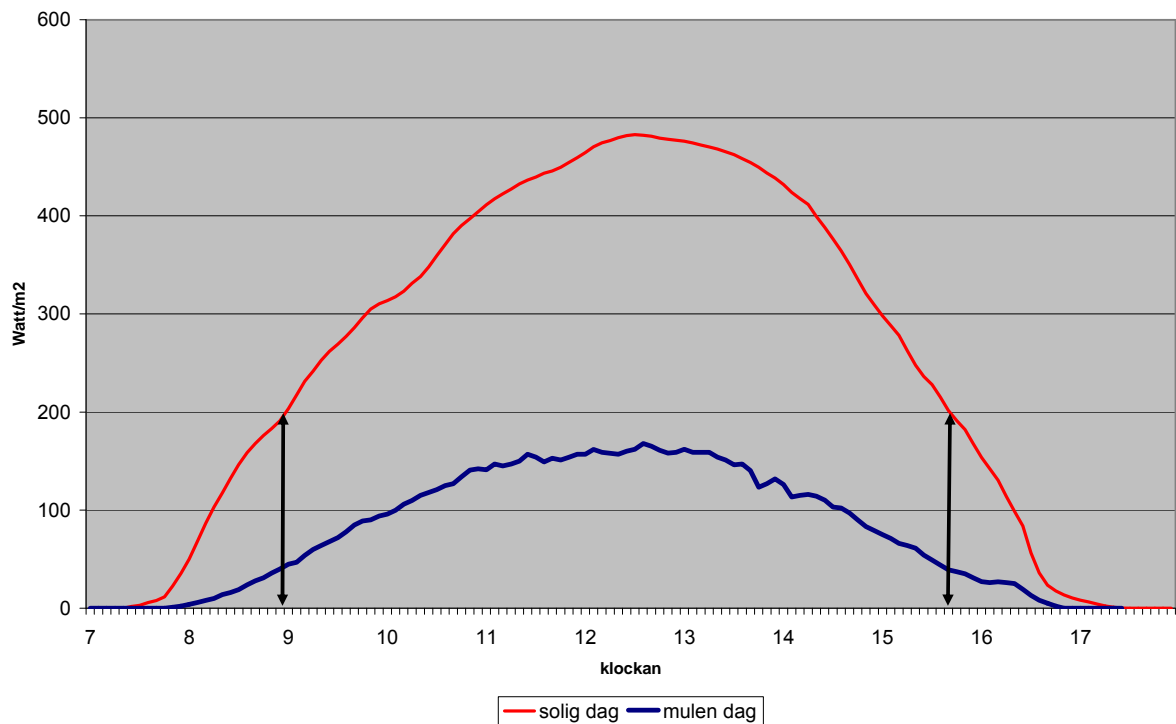
Under perioden april – oktober finns det goda förutsättningar att höja dagtemperaturen på ett energieffektivt sätt då solen hjälper till. I mars och november finns det troligen också en del vinster att göra och då fina dagar ger ett stort värmetillskott. Viktigt är när man ändrar temperaturprogram att ta det i små steg och successivt utvärdera hur växterna reagerar. Snabba temperaturförändringar ökar risken för kondens. Lämplig ökningstakt av temperaturen är 1°C per timme.



Figur 4. Energianvändning veckovis för natt- resp. dagtimme.

När på dagen har man mest nytta av att höja dagtemperaturen?

Mest energieffektivt är det att låta solens energi stå för temperaturhöjning på dagen. Erfarenheter visar att 1,5-2 timmar efter soluppgång respektive före solnedgång ger instrålningen ett tydligt energitillskott. På en utomhusmätare som visar oducerat ljus kan man då avläsa 180-200 W/m². Är det kallt utomhus, är det mycket energikrävande att hålla 18-19°C om instrålningen ligger under denna ljusnivå, såtillvida man inte samtidigt har en bra väv fördragen figur 5.

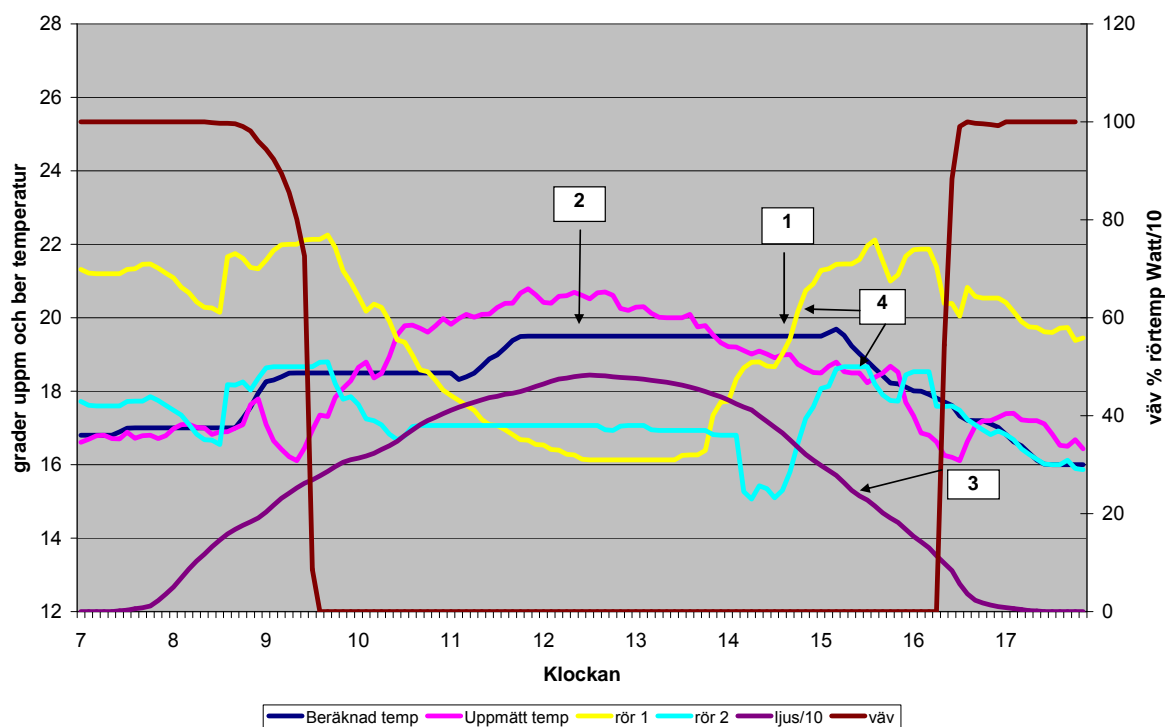


Figur 5. Instrålning en solig och en molnig dag i mitten av februari.

Olika tankar kring temperaturprogram

I grönsaksodlingar söker man balansen mellan vegetativ och generativ tillväxt. Hög skörd är avgörande för det ekonomiska resultatet. En god instrålning ger förutsättningar för att utnyttja högre medeltemperatur och därmed få en snabbare utveckling. Det kan då vara aktuellt att utnyttja ljusställag för såväl dag-, natt- som luftningstemperaturer. Speciellt i början på året har det stor inverkan på energianvändningen hur man lägger dessa temperaturstrategier. En temperaturstrategi där man vill hålla kvar eftermiddagstemperatur så som exemplet visar i figur 6 en kall dag i februari är energikrävande. Det man kan fundera kring är:

- att sänka börtemperaturen tidigare på eftermiddagen (1)
- att låta dagtemperaturen bli något högre då solen står som högst (2)
- att låta väven dra på tidigare på eftermiddagen (3) så att rörtemperaturen (4) inte behöver gå upp så högt under så pass lång tid

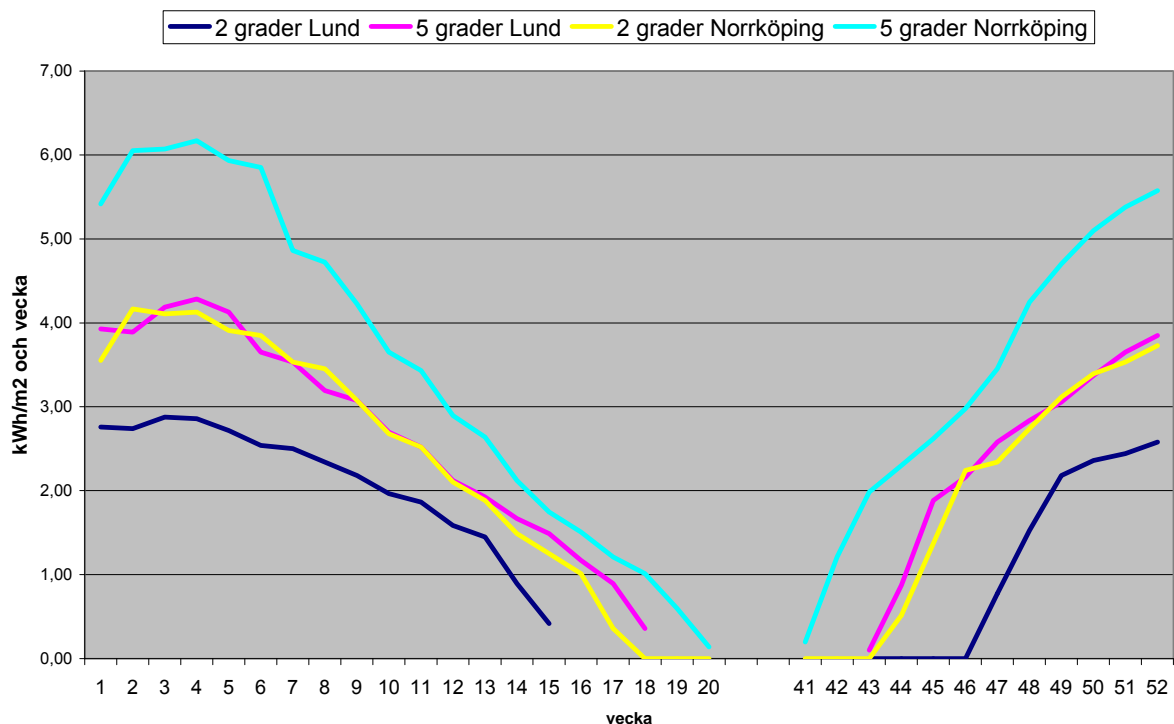


Figur 6. Exempel på en klimatsituation en dag i februari.

I prydnadsväxtodlingar där man ofta ska ha produkten saluklar till en bestämd tidpunkt, kan det vara aktuellt att i högre grad låta medeltemperaturen styra. Har det varit några dagar med god instrålning och därmed högre temperatur, kan det kompenseras med att under någon eller några dagar hålla en något lägre temperatur och på så vis styra efter temperatursumman. Man kan också tänka sig att hålla en något lägre nattetemperatur efter en solig dag. Formen på plantan styrs till stor del av temperaturregimen, vilket gör det extra viktigt att koppla temperaturinställningarna till aktuell och önskad utveckling. Skillnaden mellan dag- och nattetemperatur, s.k. negativ och positiv diff, påverkar olika växtslag olika mycket och det är mycket viktigt att man tar med denna aspekt vid temperaturinställningarna. Viktigt är att finna gränserna som man kan jobba emellan, både vad gäller medeltemperatur och hur stora svängningar i temperatur man kan tillåta.

Håll frostfritt med god energieffektivitet

Många vill ha det frostfritt i växthusen under vintern för att rören inte ska frysa sönder. Att sätta termostaten på några plusgrader kostar en hel del i energi. Energianvändningen för att hålla det frostfritt med olika temperaturer framgår av figur 7. Exemplet utgår från att det används en energiväv hela dygnet med 40 % energibesparing.



Figur 7. Energianvändning per vecka för frostfrihet i växthusen.

Har man god kontroll på rörtemperaturen och noggrant följer väderprognoserna kan man köra betydligt energisnålare. Ett exempel från ett framgångsrikt företag är följande:

Uppvärmningstemperaturen sätts på 0°C. Max rörtemperatur sätts på 5°C och min rörtemperatur sätts på 2°C. Shuntarna stängs av och sätts på först vid behov. Om temperaturen sjunker under 0°C grader i växthusen ökas max rörtemperatur med 1-3 grader beroende på hur kallt det förväntas bli utomhus. På det här sättet kan man tillåta ett par minusgrader i växthuset utan att det blir bekymmer med rören.

Vilka temperaturinställningar som fungerar är beroende av hur kallt det blir utomhus och vilken växthusanläggning man har. Den beskrivna modellen kräver en del passning och en kontinuerlig uppföljning av klimatet i växthuset.

Bedömning av hur väl temperaturstyrningen fungerar

För att kunna utvärdera såväl temperaturstyrning som energieffektivitet är det väsentligt att uppmätt temperatur stämmer överrens med önskad temperatur. Det kan finnas en hel del temperaturskillnader inom en växthusavdelning, vilket kan ha stor betydelse för plantutvecklingen. Man bör kontrollera:

- Att medelvärdet av uppmätt temperatur är lika med önskad temperatur under de perioder då instrålningen inte påverkar uppvärmningsbehovet
- Att temperaturstyrningen har en svängning på $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. En avvikelse på $> 1^{\circ}\text{C}$ är inte tillfredställande
- Temperaturvariation inom ett växthus kan kontrolleras med hjälp av klimatloggar. På marknaden finns ett antal enkla och prisvärda loggar som kan ge bra underlag för t.ex. behov av fläktar och hur fläktarna i så fall bör placeras för att få en jämnare fördelning av värmen i växthuset.

Luftningsstrategi

Rätt luftningsstrategi och korrekta inställningar är avgörande både för att kunna uppnå ett gott odlingsresultat och kunna bedriva en energieffektiv produktion.

Fallgropar vid luftning kan vara:

- Luckorna öppnar för fort och för mycket, vilket medför stora svängningar i temperaturen och därmed också i värmebehovet
- Ventilationstemperaturen är ställd lägre än värmekravet
- Minimumtemperaturen på rören är så hög, så att temperaturluftningen går in, vilket kan ge ett ökat värmekrav.

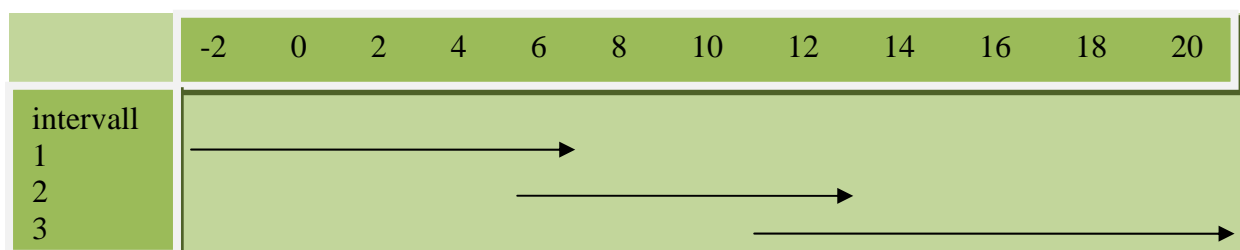
Undvik jo-jo-reglering av luckorna

Luftning som leder till att luckorna går upp och ner hela tiden (jo-jo-reglering) ökar energi-användningen utan att ge några positiva effekter på kulturen. En orsak till detta kan vara att temperaturen faller för mycket vid öppning, vilket medför temperaturfall i huset och krav på mera värme på rören. När luckorna sedan stänger är temperaturen på rören för hög, vilket i sin tur kan medföra att temperaturen stiger snabbt, vilket kan medföra krav på luftning osv. Man kommer lätt in i en ond cirkel med snabba öppningar och stängningar av luckorna.

Parameter för energieffektiv luftning

Vilken typ av luckor växthuset är utrustat med har naturligtvis stor betydelse för vilka inställningar för reglering av luckorna som fungerar bra. I ett hus med stora luckor bör det öppnas försiktigare, än i ett hus med sämre utluftning. Temperatur och vindförhållande har också stor betydelse för hur effektiv utluftningen blir. I de moderna klimatstyrnings-programmen finns avancerade modeller som tar hänsyn till detta vid regleringen. Men odlaren behöver komplettera med ett antal inställningar på datorn. Under en odlingssäsong brukar man behöva korrigera hur luckorna ska arbeta för tre utetemperaturintervall, figur 8.

En parameter som är viktig att ha rätt inställd är P-bandet för reglering av luckorna, vilket påverkar hur luckorna öppnar och stänger. På nyare odlingsdatorer av Priva (modell 721-727) och DGT (modell 900 samt Completa) bör lucköppningar i första hand regleras med hjälp av P-bandinställningar. På äldre datorer av såväl Priva som DGT behöver maxöppningen av luckorna justeras regelbundet. Det är viktigt att känna till hur den egna klimatdatorn reglerar – först då kan man göra inställningar som ger en fungerande reglering.

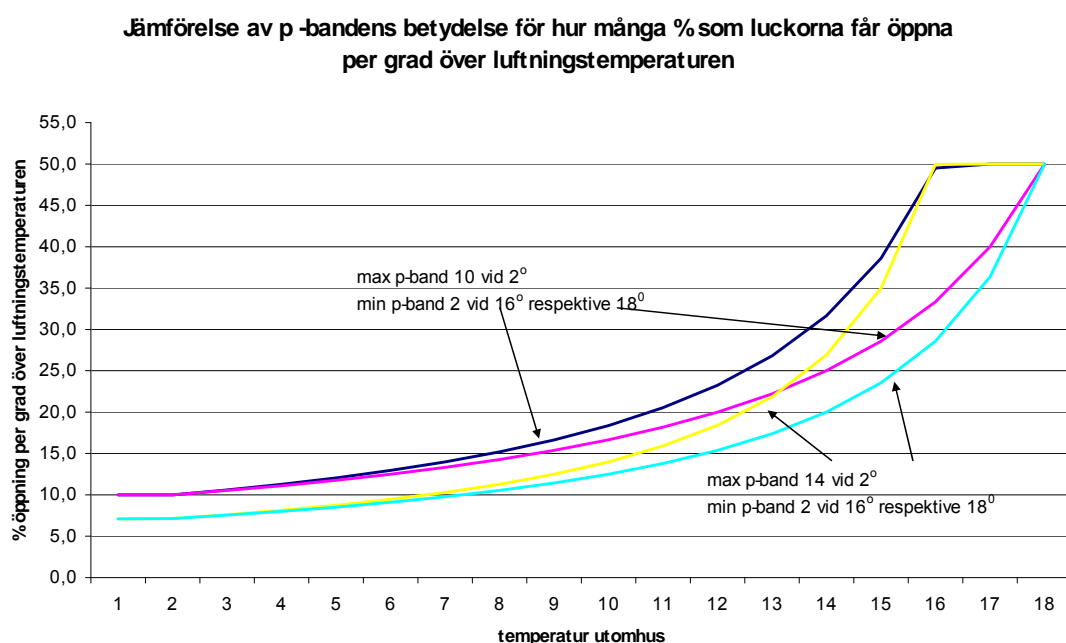


Figur 8. Utetemperaturnivåer för inställning av P-band.

P-band enligt Privas senare modeller

Det finns olika modeller för hur inställningar av P-banden påverkar öppningen av luckorna. Så här fungerar P-bandet på Priva klimatdator modell 721-727:

P-bandet ändras modulerande efter utetemperatur. P-bandet anger hur många °C över beräknad ventilationstemperatur som får luckorna att öppna till 100 %. Ett inställt P-band på 10 innebär en lucköppning på 10 % per °C över luftningstemperaturen och ett P-band på 5 ger en lucköppning på 20 % per °C. Inställning görs av ett max P-band som får gälla vid en inställd lägsta utetemperatur och ett min P-band som gäller vid en inställd högsta utetemperatur. Mellan dessa två temperaturnivåer är P-bandet modulerande. I figur 9 illustreras hur luckorna tillåts öppna vid olika val av P-band och utetemperaturnivåer. Viktigt att notera är att **hastigheten** på lucköppningen inte kan påverkas av vilken maxöppning man väljer, utan enbart efter hur P-bandet ställs in.



Figur 9. P-bandreglering hos Priva 721-727.

Vid låga utetemperaturer ger en justering av max P-band en god anpassning. Under varmare dagar ökar luftningsbehovet och då ger en sänkning av temperaturen för min P-band en bra anpassning (tabell 6).

Tabell 6. Inställning av max och min P-band kontra utetemperatur

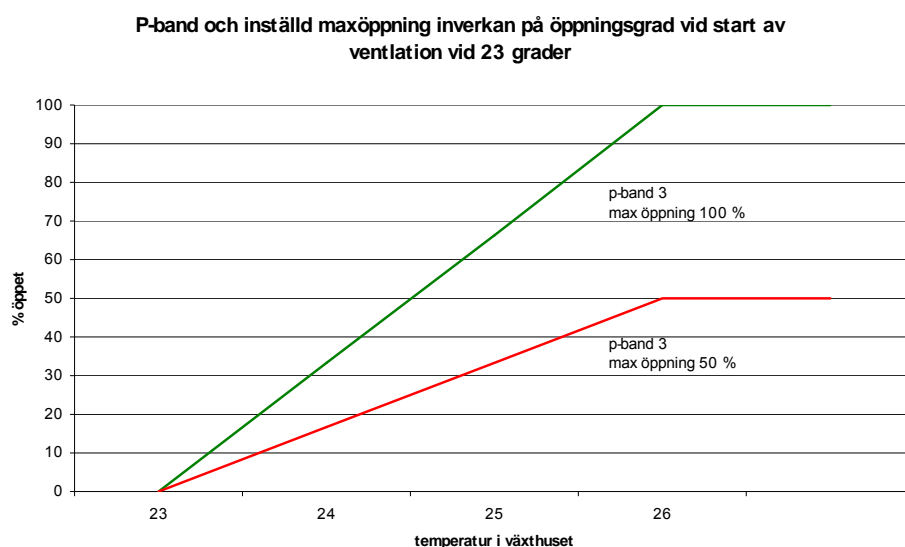
Utetemperatur -intervall enligt figur 8	Max P-band	Vid inställd utetemperatur	Min P-band	Vid inställd utetemperatur
1	14	2°C	2	18°C
2	12	2°C	2	18°C
3	10	2°C	2	16°C

Ibland finns det behov av att justera öppnings- och stängningshastighet av luckorna och det gäller särskilt när det är kallt ute och vädret växlar mycket (aprilväder). För att klara detta

behöver luckorna öppna långsamt och stänga snabbt. Det kan vara en god idé att följa hur luckorna arbetar i detalj under några dagar och sen prova sig fram till bra inställningar. Man kan också behöva ta hjälp av klimatdatorleverantören med montörinställningar.

P-band hos äldre klimatdatorer

Hos äldre odlingsdatorer anger P-bandet hur många °C över beräknad ventilationstemperatur det ska vara för att uppnå det inställda värdet för max lucköppning. Det blir då ett linjärt förhållande för lucköppningen och som inte påverkas av uttemperaturen (figur 10).



Figur 10. P-band med linjärt förhållande mellan luftningstemperatur och öppningsgrad.

Vid denna reglering är det mest effektivt att justera värdet för max lucköppning och i mindre grad ändra P-bandet. Det går att uppnå en bra reglering anpassad efter utetemperatur genom att ändra P-bandet efter utomhusklimatet. Vid en max öppning på 100 % kan P-bandet i figur 11 vara aktuella för läsidan.

	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
P-band		8	6	4	2	1						

Figur 11. Inställning av P-band för läsidan efter utetemperatur vid rak reglering.

Kontroll av luftningen

Luftningstemperatur bör alltid vara högre än temperaturkravet. Har man ett temperaturprogram där dygnet är indelat i flera perioder och har en luftningstemperatur, som varierar efter luftfuktigheten, kan det uppstå situationer då luftningstemperaturen hamnar under eller för nära uppvärmningstemperaturen. Ett bra hjälpmedel är att lägga upp kurvor på klimatdatorn där man kan följa beräknad uppvärmningstemperatur och beräknad luftningstemperatur. Hur liten differens mellan uppvärmningstemperatur och luftningstemperatur som kan tolereras, är beroende av uttemperaturen. På sommaren kan man i kulturer där det är viktigt att få ut fukten t.ex. på morgonen tolerera 0,8°C differens, annars är 1-1,5°C en mera säker och lämplig nivå.

Bedömning av hur väl styrning av luftningen fungerar

En hög energieffektivitet ställer krav på god reglering av luckorna och följande normer för bra reglering kan vara ett riktmärke:

- Temperaturen i huset får vid luftning sjunka maximalt 0,5° under önskad temperatur
- Vid fuktighetsluftning bör luckorna inte öppna mera än att temperaturen i huset kan hållas stabil med max 50° på rören
- Temperatursvängningar under soliga och kyliga dagar bör inte vara större än ±3°
- Luftfuktigheten får inte sjunka för mycket. För grönsaker bör man överväga åtgärder om relativa fuktigheten, $RF < 68\%$ eller om man styr efter fuktdeficit, $\Delta X > 6$.

Vävstyrning

Väv är den enskilt största insatsen för att minska energianvändningen i ett uppvärmt växthus. Ju större energibesparingen är hos väven desto mera kan energianvändningen minskas, men valet av väv och vilken energibesparing man kan uppnå, hänger ofta samman med kulturval och odlingsteknik. I kulturer som avger mycket fukt, får väven inte vara alltför tät om den ska kunna användas under en längre period. Genom att kombinera två vävar går det att uppnå en bra isolering både under mörka timmar och under ljusa timmar, när det går åt mycket energi för att hålla temperaturen uppe.

Vad kan en extra väv göra?

En extra väv gör det möjligt att uppnå stora energibesparingar. Med en kombination av en grönsaksväv (43 % energibesparing) och en energiväv (70 % energibesparing) finns det möjligheter att under långa tider minska energianvändningen med 35-40 % jämfört mot endast en väv. Energiväven (med 70 % besparing) används då endast nattetid och dras av och på efter solens upp- och nedgång. Grönsaksväven (med 43 % besparing) kan däremot ligga på längre tid under morgon och kväll, samt under ljusmässigt svaga dagar, även resten av dagperioden. En annan kombination är att använda två energivävar med vardera 70 % energibesparing. De spar naturligtvis mer energi när båda är fördragna, men eftersom de släpper igenom dåligt med ljus, kan de inte vara fördragna under dagen. Beräkningar visar att under perioden vecka 1-20 är det energieffektivare med en kombination av en energiväv och en grönsaksväv (med 70 resp. 43 % energibesparing) där grönsaksväven ligger på i genomsnitt 4 dagstimmar, jämfört med att ha två vävar med 70 % besparing och som båda är fördragna endast nattetid.

Erfarenheter från holländska försök visar på en möjlighet att för t.ex. tomatodling komma ner till närmare 200 kWh/m² för en helårskultur med dubbla vävar. Då har man använt sig av en energiväv med 70 % besparing, vilken uteslutande används under nattimmarna och en ”vanlig” energiväv med 43 % besparing som använts nattetid samt vid ”övergångstimmar” morgon och kväll. Tiden med fördragen väv har t.ex. under perioden vecka 4-18 varit 1170 timmar för väven med 70 % besparing och 1660 timmar för väven med 43 % besparing. Den stora utmaningen är att kunna klara produktionen utan stora problem med gråmögel, något som i försöksväxthuset visat sig vara fullt möjligt. (www.energiek2020.nu)

Mera vävtid ger energibesparing

Längre tid med väv på morgonen och tidigare pådragning under eftermiddagen kan innebära energibesparing. Morgonen är ju den kallaste tiden på dygnet och att spara värme här ger relativt stort utslag i energianvändningen.

Hur ska man styra inställningen av väven efter ljuset morgon och kväll – vad kan vara lämpliga ljusnivåer? En väv som släpper in lite eller inget ljus vill man ha av snabbare än en väv som endast reducerar ljuset med 20 %. Oavsett typ av väv bör man ta hänsyn till ljussumma, såväl gårdagens som prognos för kommande dag. Väntar man med att dra av väven till dess att instrålningen hjälper till med uppvärmningen kan man dra av väven fortare. Det innebär att man börjar dra av väven ca 1 timme efter soluppgång. En dag med bra solinstrålning är det säkert för flertalet en hållbar strategi.

Tabell 7. Lathund för strålningsnivåer – oreducerade värden

Strålning, W/m ²	Tid efter soluppgång/före solnedgång, minuter
50	30
100	60
150	90

Beräknat på hela veckans energianvändning innebär varje timma mer vävanvändning morgon och kväll ca 2-3 % besparing (tabell 8).

Tabell 8. Energibesparing med fler timmar fördragen väv under morgon och kväll

Väv fördragen dagtid	Procent besparing under en vecka genom att tillåta energiväven att vara fördragen längre tid (utgångspunkt: energiväv med 43 % besparing)
1 tim	2-3
2 tim	5-6
3 tim	7-8
4 tim	8-10

Omräknat för en hel odlingssäsong skulle det för en grönsaksodling innebära en besparingspotential på 10-15 kWh/m² med att ha väven fördragen i genomsnitt 2 timmar under dagperioden (morgon och kväll).

Att beakta vid förlängning av tiden med väv dagtid:

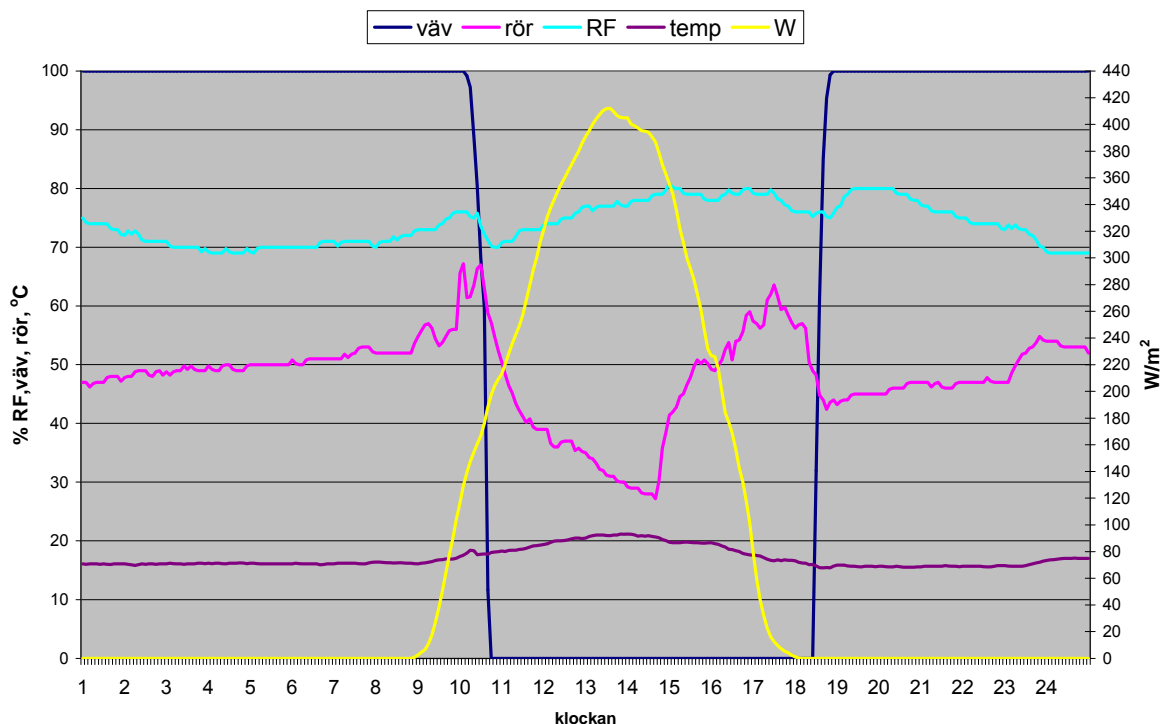
- Är det mycket kallt utomhus kan rutorna få en isbeläggning på morgonen och för att få bort denna krävs värme. Ser det ut att bli en solig dag med plusgrader kan man med fördel vänta tills solen hjälper till. Blir det en kall dag med eventuellt lätta moln kommer is och väv göra det mycket mörkt i växthuset och att elda bort isen kan vara enda möjligheten att få ljusinsläpp och undvika att kulturen tar skada
- En grå dag efter en period med god instrålning kan man ofta låta väven ligga på, men är det en längre period med svag instrålning kan man behöva ta av väven tidigare för att få in ljus.

I figur 12 illustreras hur rörtemperaturen stiger kraftigt under eftermiddagen innan väven dras för. I detta fall skulle en tidigareläggning av vävfördragning på eftermiddagen ge energivinst utan att det skulle påverka plantans utveckling negativt. Det är två saker som man bör ta ställning till för att åstadkomma detta:

- Vid vilken tidpunkt ska väven vara fördragen?
- Hur ska inställning på klimatdatorn göras för att uppnå detta?

Det är vanligen så att det finns en anpassningstid för värmesystemet mellan den tidpunkt då ljusnivån hamnat på en så pass låg nivå att styrsystemet kallar på vävstängning och när väven faktiskt börjar stänga. Det är individuellt för olika klimatdatorer och det är viktigt att man har kunskap om hur den egna utrustningen arbetar:

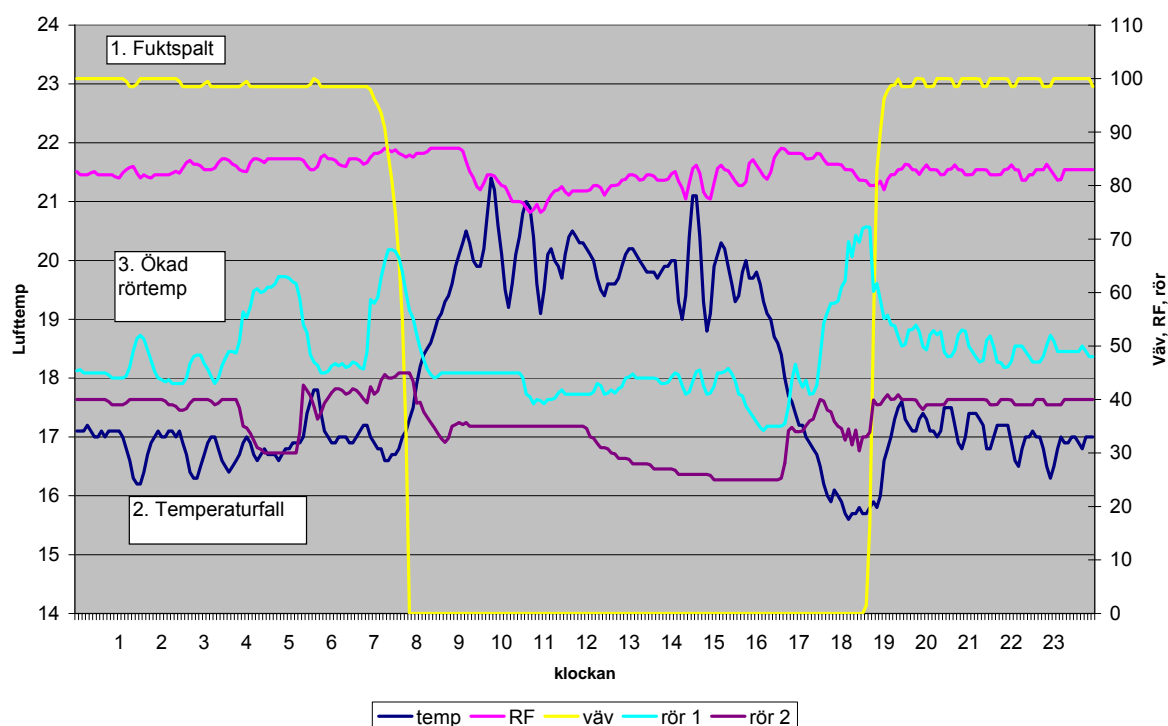
- Dra för väven på eftermiddagen innan rörtemperaturen stiger för kraftigt då solen börjar sjunka.
- Det kan vara aktuellt att begränsa rörtemperaturen (maxvärdet) innan/vid vävstängning



Figur 12. Exempel på från- och fördragning av väv i februari.

För stor vävspalt kan ge energiförlust

För vissa kulturer behöver man öppna väven något för att luftfuktigheten inte ska bli för hög. Hur den inställningen görs har stor betydelse för energiåtgången. I figur 13 illustreras en odling där man valt att ha en fuktspalt på väven vid 83 % RF. Spalten har satts till 1,5 %. Vävöppning leder snabbt till temperaturfall och krav på ökad rörvärme. Åtgärder som leder till mindre energiåtgång är att öka gränsvärdet för fuktspalten till 87-88 % RF. Erfarenheten visar att ett högre gränsvärde inte ger några negativa effekter. Spalten på väven bör inte vara större än att temperaturen i växthuset kan hållas stabil. Lämplig spalt ska också sättas i förhållande till utetemperatur. För många vävinstallationer gäller att 1% öppet = 4 cm spalt och endast i undantagsfall bör man sätta en större spalt än så. För stor spalt leder ofta till kallras vilket ger större negativa konsekvenser än en något högre fuktighetsnivå. I figur 13 kan man, liksom i figur 12, se att en tidigare stängning av väven på kvällen med ca 1 timme antagligen hade hindrat både temperaturfall i växthuset och en ökning av rörtemperaturen alldeles innan väven går på.



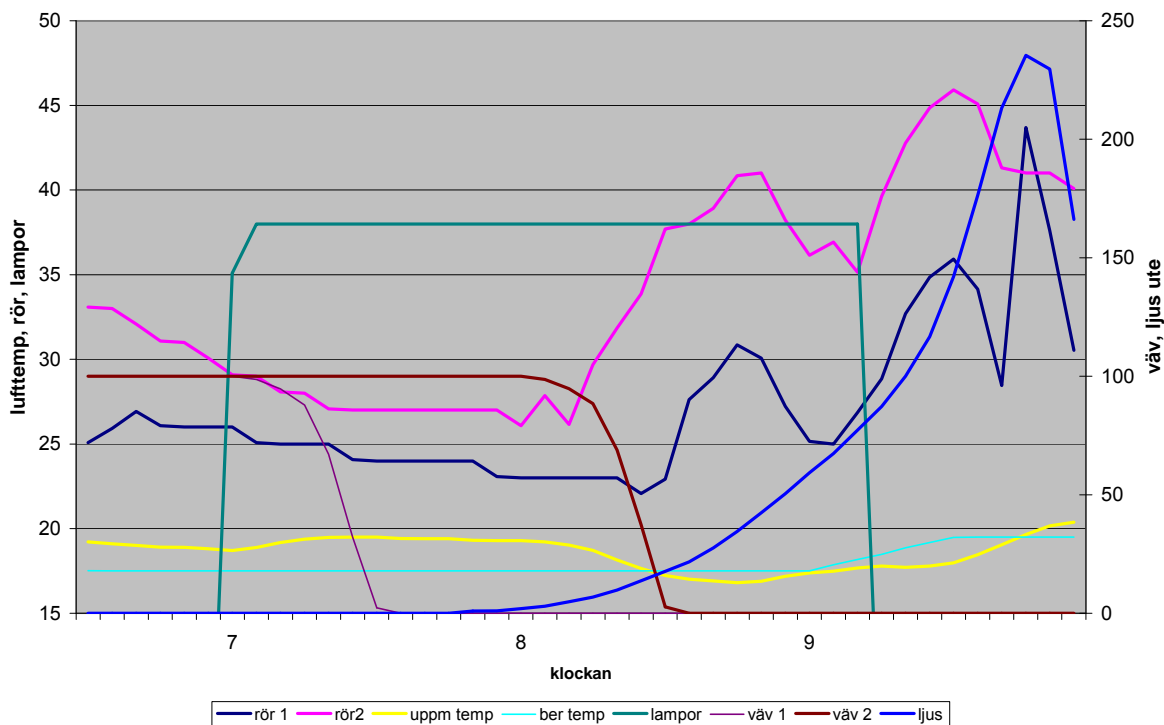
Figur 13. Effekt av fuktspalt i väven nattetid på rörtemperatur och lufttemperatur.

Belysning

Från mitten av oktober till mitten av mars är det naturliga ljuset ofta begränsande för växtproduktion. Assimilationsbelysning under den perioden är avgörande för att producera prydnadsväxter eller grönsaksplantor med god kvalitet. Det mesta av elenergin som används till lampor ger också ett värmetillskott och minskar därmed behov av annan uppvärmning. Schablonmässigt kan man räkna med att 85 % av tillförd energi för högtrycksnatriumlampor blir värme. Det innebär i praktiken att det går åt ungefär lika många kWh (brutto) att värma ett hus med lampor som det gör att ge värmen via en flispanna (med 85 % verkningsgrad). Det kan t.o.m. vara mera energieffektivt att använda belysning som energikälla om det medger fler timmar med fördragen väv. En fördel med belysning är också att den höjer bladtemperaturen. El är dock en högförädlad energiform med ett betydligt högre kWh-pris än t.ex. flis, men här är fokus lagt på möjligheten att minska belysningstiden och antal använda kWh el.

Anpassa väv, belysning och instrålning

När det är kallt ute, ner mot noll grader, bör man ha extra fokus på anpassning av väv och belysning i förhållande till instrålning. Figur 14 visar hur det kan bli en morgon i slutet av oktober. Belysningen har tänts ungefär en timme innan soluppgång. Väven har börjat dra ifrån vid soluppgången, vilket medför ökat värmekrav på rören. Samtidigt bidrar instrålningen utifrån med endast några få W/m^2 . Möjlig åtgärd för att minska på energianvändningen kan här vara att låta väven ligga kvar ytterligare 1 timme, vilket minskar behovet av rörvärme.



Figur 14. Exempel på klimatsituation med belysning.

Anpassning av belysningstiden efter ljussumma

En daglig jämn och god ljusmängd ger bäst förutsättningar för tillväxt och utveckling. I verkligheten är det stora skillnader mellan årstiderna och det är ofta stor skillnad i ljusintensitet under en och samma dag. Erfarenheten visar dock att efter en period med bra ljus ser man ingen negativ effekt av en kortare period med sämre ljus. Det gör det möjligt att styra belysningen efter ljussumma, men frågan är alltid, hur långa perioder man behöver räkna på? Det finns inga generella normvärden att gå efter och olika växtslag har olika behov. Man behöver alltså ta fram sina egna normvärden. Här kan insamling på klimatdator av ljussumma i kombination med plantbedömningar vara till stor hjälp. Att inte tända belysningen efter en dag med bra instrålning och att inte tända på morgonen om kommande dag har god väderprognos kan säkert fungera för många. En sådan regim kräver dock passning och dagliga beslut.

Belys enbart yta med kulturer

Att belysa tomma bord är inte energieffektivt. Har man installerat belysningen så att den enkelt går att stänga av över enskilda bord eller avdelningar, då blir energianvändningen lägre. Det man bör beakta är om det leder till större ojämnheter i temperaturen i huset.

Fuktighetsstyrning

Att sänka fuktighetsnivån i ett växthus är oftast mycket energikrävande. Av den totala energianvändningen i en tomatodling står ofta fuktighetsstyrningen för ca 20 %. I en gurkodling är motsvarande siffra ca 15 %. För prydnadsväxter varierar det mycket mellan kulturlagen. Vid drivning av tulpaner är det viktigt att få ner fuktighetsnivån, medan luftfuktigheten i en odling av Kalanchoë sällan blir för hög.

Några begrepp

Luften kan innehålla en bestämd mängd vattenånga. Mängden ånga är beroende av luftens temperatur. Luften kan hålla mer vattenånga ju varmare den är. Vid 15 °C är t.ex. den maximala ånghalten i luften 12,5g/m³ luft och vid 25 °C 23,6g/m³ luft. Relativ fuktighet, RF, anger hur många % av luftens maximala ånghalt luften innehåller. Klimatdatorerna ger också möjlighet att styra efter ångtrycksdeficit, vilket man ofta benämner som delta x. Begreppet anger skillnaden mellan luftens maximala ånghalt och den faktiska ånghalten i luften. Vid samma delta x värde stiger relativa fuktigheten med ökande temperatur (tabell 9).

Tabell 9. RF vid delta x= 3 och stigande temperatur

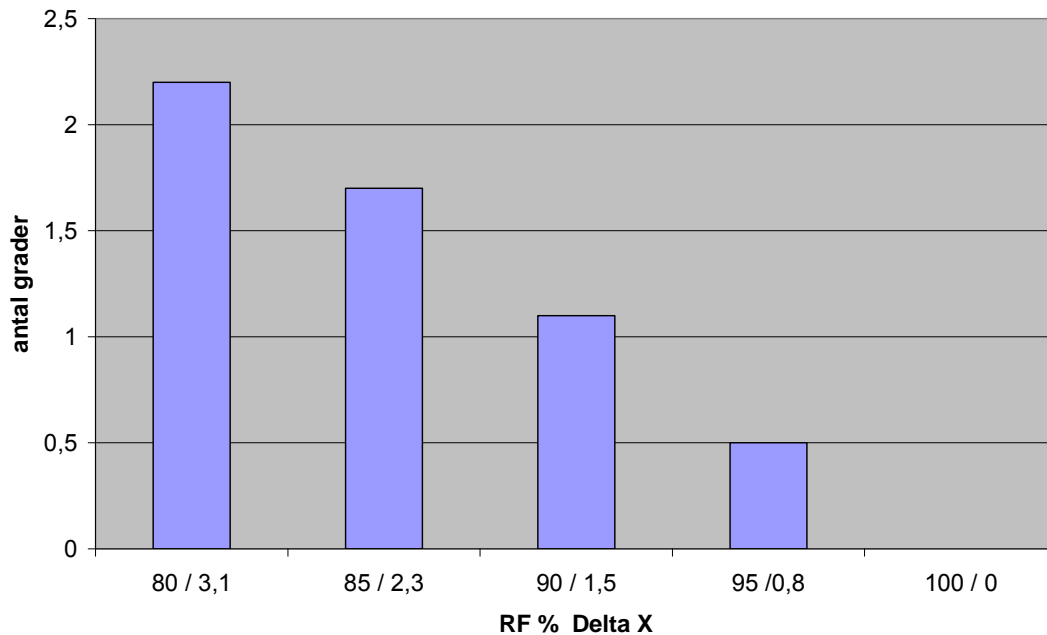
Lufttemperatur	Max ånghalt g/ m ³	Ånghalt vid delta x=3g g/ m ³	RF%
15 °C	12,5	9,5	76
20 °C	17,2	14,2	83
25 °C	23,6	20,6	87

Minska fuktigheten i växthuset

Hur fuktigt det är i ett växthus varierar mycket mellan olika företag, men det kan också vara stora variationer mellan olika växthus inom samma företag. Fukten kommer både inifrån och utifrån. Ligger växthuset nära havet med vindriktning från havssidan, då har man ett fuktigt läge. Är det fallet blir det extra viktigt att få bort onödig fukt inne i växthusen. Fukt inne i växthuset kan komma från:

- marken, växthuset ligger på fuktig mark
- stående vatten i växthusgångarna
- onödigt stor bladmassa

Är fukthalten i växthuset ofta hög (långa perioder med RF > 85 %) blir kravet på värmesystem och klimatreglering betydligt större, jämfört med något lägre nivåer. Känsligheten illustreras i figur 15, som visar hur många grader som temperaturen kan sjunka vid 18°C med olika fuktighetsnivåer, innan det blir kondens. När avståndet till kondens närmar sig 1°C, vilket det gör vid 90 % RF eller delta x 1,5g/m³ är marginalen till kondens mycket liten och risken för att bladblöta ska uppstå någonstans i ett växtbestånd är mycket stor.



Figur 15. Antal grader till kondenspunkt vid lufttemperatur 18°C.

Luftning i kombination med värme på rören är gängse metod att få torrare i växthuset. Resultatet av luftningen varierar med hur fuktig uteluften är. Om uteluften är torr kan en kortvarig och snabb öppning av luckorna ge bra resultat på fuktighetsnivån. Samma manöver när såväl uteluft som inneluft är fuktig ger inte avsedd effekt, utan istället ökar risken för kondens på plantans översta delar och därmed också risken för gråmögetablering.

Kondensationen som sker på insidan av glaset har också betydelse för fuktbalansen i växthuset. Kondensationen sker när glasytorna är kalla och när detta inträffar fungerar glasytorna som en avfuktare och hjälper till att hålla luftfuktigheten nere. När utetemperaturen stiger över inneluftens daggpunktstemperatur, sker vanligen ingen kondensation på glaset och det ställs då större krav på god luftväxling i växthuset för att kunna reglera luftfuktigheten i växthuset.

Undvik klimatzoner i växthuset

Ojämnt klimat i växthuset gör att det uppstår olika klimatzoner. Klimatzoner är ofta en orsak till etablering av svampar, t.ex. gråmögel. Ibland är det lätt att se vad som gör att klimatzoner uppstår, men ofta behövs en mer systematisk genomgång. Växthusets kondition och utformning samt hur värmesystemet fungerar är avgörande för ett likformigt klimat. När man går i ett växthus kan man ibland känna att det i vissa områden i huset:

- drar kallt
- känns svalt
- känns rått
- känns varmt och instängt

Anledningar till att det uppstår klimatzoner kan vara flera.

Brister i växthuset:

- sprickor i glaset
- luckor som inte sluter tätt
- väggar med dålig eller obefintlig isolering

Brister i värmesystemet:

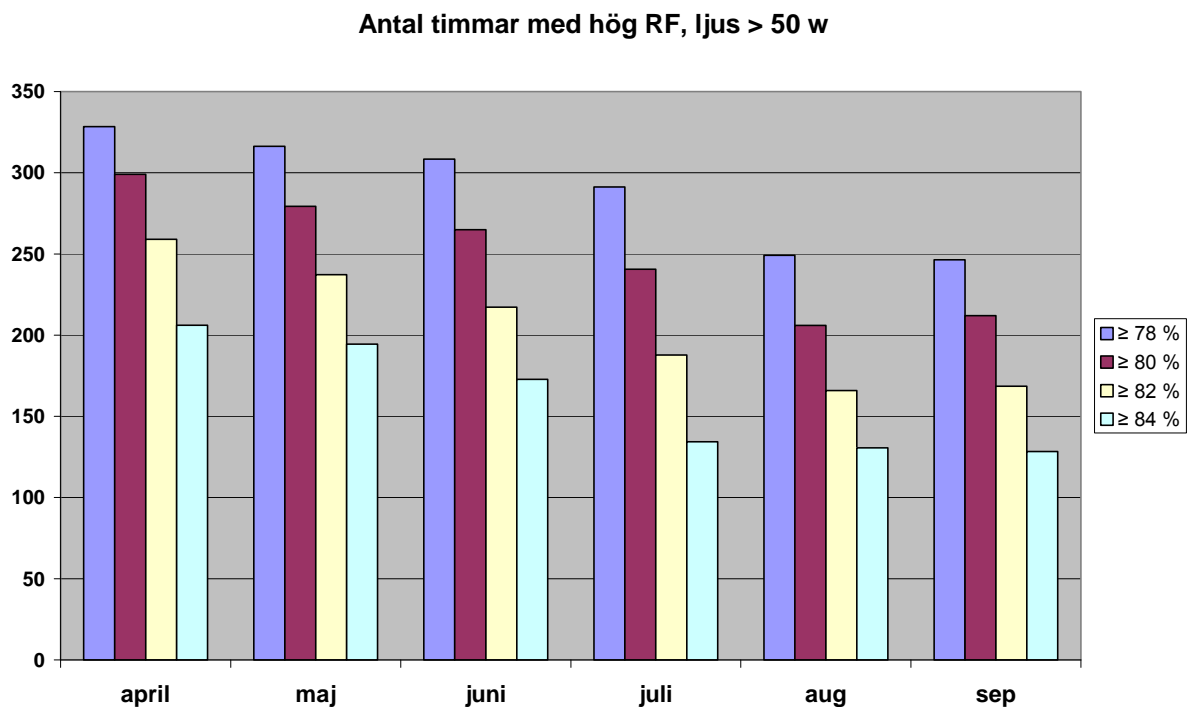
- olika temperatur på värmeslingorna på grund av igensatta rör/ledningar
- långsamt, trögt system med kanske för liten cirkulationspump
- matarledningar till värmesystemet som behöver isoleras

Växthusets utformning och placering:

- utsatthet för vind och behov av bättre vindskydd
- långt och smalt hus eller tydliga nivåskillnader i huset – behov av fler fläktar eller omplacering av fläktar för bättre klimatutjämning - eventuellt kan det vara aktuellt att flytta på klimatgivarna

Färre timmar med fuktighetsreglering spar energi

I ett växthus utan varierande klimatzoner och med en väl fungerande styrning av temperatur och luckor går det att tolerera en något högre nivå för när fuktighetsstyrning ska gå in. Det innebär i så fall färre antal timmar med förhöjd rörtemperatur. Att det har mycket stor betydelse vid vilken nivå som fuktighetsregleringen startar framgår av figur 15. Här illustreras hur många timmar varje månad som fuktigheten ligger över en viss nivå.



Figur 15. Antal timmar med viss fuktighetsnivå under perioden april-september.

Att påbörja fuktighetsreglering (dvs. höjd rörtemperatur på bottenrören med i genomsnitt 10°C) vid 82 % RF i stället för 80 % RF skulle innebära 200-250 färre timmar med ökad rörtemperatur för hela den redovisade perioden. En uppskattning av hur mycket energi som kan sparas med en sådan åtgärd hamnar på 4-5 kWh/m².

Val av rörtemperatur

Valet av rörtemperatur vid fuktighetsreglering har stor betydelse för energiåtgången. Vanligen hålls en grundtemperatur på bottenrören på ca 35°. När luftfuktigheten stiger tillåts en höjning av rörtemperaturen med 10-20° i fuktighetsintervallet 80-88 % RF, så att rörtemperaturen slutligen hamnar på 45-55°. Att minska rörtemperaturtillägget vid hög fuktighet med 2°, beräknas minska energianvändningen med 4 kWh/m² under tiden april-september. En minskning med 5° kan minska energiåtgången med ca 10 kWh/m². Erfarenheter visar att detta är möjligt i många fall, utan negativa konsekvenser i form av t.ex. gråmögel.

Under dagar då vädret kan förväntas bli stabilt, med en luftfuktighetsnivå som under större delen av dagen inte ligger för högt, bör det vara möjligt att begränsa rörtemperaturen till max 40° vid hög fuktighet under de första morgontimmarna.

Referenser

Internet

www.energiek2020.nu

Information om hur energivävar påverkar energianvändningen i växthus

<http://www.energiek2020.nu/tomaat/grafieken/>

www.gronkompetens.se

Kalkyllådan – ett webbaserat arbetsverktyg för bl.a. beräkning av energiåtgången i växthus.

www.gronkompetens.se välj kalkyllådan och välj värmeberäkning

Alternativ genväg: <http://www.gronkompetens.se/kalkyl/varme0.aspx>

www.naturvardsverket.se

Klimat i förändring. Naturvårdsverket.

www.naturvardsverket.se/sv/Kimat-i-forandring/

www.svensksigill.se

Energihusesyn version 2009. Kompendium, Sigill kvalitetssystem AB, Stockholm.

http://www.svensksigill.se/website1/1.0.1.0/629/Energihusesyn_version_2009.pdf

Alternativ genväg: [www.gronproduktion.se/website1/sv/stoedmaterial-](http://www.gronproduktion.se/website1/sv/stoedmaterial-prydnadsvaexter/stoedmaterial-prydnadsvaexter.php)

[prydnadsvaexter/stoedmaterial-prydnadsvaexter.php](http://www.gronproduktion.se/website1/sv/stoedmaterial-prydnadsvaexter/stoedmaterial-prydnadsvaexter.php)

Övriga referenser

Under rapportens utarbetande har nedanstående källor fungerat som kunskapsunderlag:

Christensen, I. & Hansson, T. 2004. (SLF-projekt)

Utveckling av metodik för energieffektivare klimatreglering i växthus

<http://ams.orbelon.com/slf/pdf/srp0356012.pdf>

Christensen, I. & Hansson, T. 2009. (SLF-projekt)

Utveckling av analysverktyg för att minska gråmögelproblemen inom tomatodlingen

<http://ams.orbelon.com/slf/pdf/srpV0656002.pdf>

www.gartnerinfo.dk/teknik/energisparkatalog/startside.htm

