

Naturgasbaserad infravärme jämför med naturgasbaserad vattenburen värme i växthus

Rotning av sticklingar och produktion av färdigvara



©Svenskt Gastekniskt Center - Januari 2002

Mikael Näslund
Lunds Tekniska Högskola
Hartmut K Schüssler
Lantbruksuniversitetet i Alnarp

SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC's hemsida www.sgc.se.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energi AB och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Statens Energimyndighet
AB Kjell Ingvars
AMGAS Industrigas AB
AB Uno Borgstrand
Predator AB
Sydgas AB
Öresundskraft AB
Nova Naturgas AB
Birka Värme AB
Göteborg Energi AB

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Johan Rietz

Sammanfattning

Uppvärmning med infrarödteknik har provats i ett mindre växthus hos Kjell-Ingvars i Sunnanå utanför Malmö. Avsikten har varit att studera energianvändning, växternas tillväxt och ekonomi. I andra lokaluppvärmningsapplikationer uppvisar infraröduppvärmning god potential för energibesparingar. I detta fall har justeringar av uppvärmningssystemet under projektperioden gjort att ett definitivt svar inte kunnat ges, men indikationer tyder på lika eller lägre energianvändning. En något lägre lufttemperatur i växthuset med infravärme observerades. Projektet har också inneburit att viktiga parametrar identifierats avseende både komponenter och systemet som helhet.

Växtresultaten har varit goda. Sticklingar har odlats i växthusen och de är speciellt känsliga under rotbildningen. De skillnader som iakttagits mellan växter från försöksväxthuset och referenshuset har reducerats när växterna odlats till salufärdigt skick.

Ekonomiskt skulle infraröduppvärmning innebära lägre energikostnader om tekniken gav samma verkningsgrad som med andra uppvärmningssystem eller gav ett inomhusklimat som reducerade uppvärmningsbehovet. Kostnaderna för infrarödsystem synes vara högre än för traditionella system, men skillnaden kan reduceras med en utvecklad systemlösning. Infraröduppvärmning innebär att värmen produceras lokalt i växthuset till skillnad från ett traditionellt uppvärmningssystem. Ett annat argument för infrarödteknik är också att den kan användas vid en utbyggnad där befintligt värmesystem inte kan utnyttjas mer.

Summary

Infrared heating (IR) has been tested in a small greenhouse. The purpose was to investigate energy utilisation, plant growth and economy. In other space heating applications has infrared heating shown a significant potential for energy savings. Adjustments of the infrared system during this investigation have made it impossible to give a final answer but an equal or lower energy use is indicated. A slightly reduced air temperature was observed in the greenhouse with infra-red heating. Important parameters regarding components as well as the whole system have been identified.

The growth results have been good. Cuttings are especially sensitive during the root development. Differences observed between the plants from the infrared heated greenhouse and a reference house have diminished when the plants reached the finished state, and was ready for sale.

The infrared heating would show lower energy costs if it offered either higher efficiency as other heating alternatives or a indoor climate that reduced the heating demand. The investment for an infrared heating system seems to be higher than for a conventional heating system but it can be reduced with an improved system design. The infrared heating is made locally as opposed to the traditional heating system. This is an advantage in the case of added greenhouse area and a heating system with no extra heating capacity.

Innehåll

Sammanfattning	1
Summary	2
1 Inledning	5
1.1 Energitekniska mål	6
1.2 Biologiska mål	6
1.3 Tidigare erfarenheter	6
1.4 Projektadministration	7
2 Energianvändning	8
2.1 IR-systemets uppbyggnad	10
2.2 Systemdimensionering och investering	11
2.2.1 Dimensionering	11
2.2.2 Investeringskostnader	16
2.2.3 Drifterfarenheter och tillgänglighet	16
2.3 Jämförelse av energianvändningen med de olika systemen	16
2.3.1 Växthusens inomhusklimat	17
2.3.2 Värmesystemens prestanda	28
2.3.3 Strålningsfördelning	30

3 Växternas utveckling	33
3.1 Målsättning för den biologiska odlingsprocessen	33
3.1.1 Växtslag och odlingsperiod	33
3.1.2 Provkörning och intrimning av anläggningen ur biologisk synvinkel	34
3.1.3 Växternas utveckling i jämförelse med konventionell upp- värmning	36
3.2 Mätningar och bedömningar	36
3.2.1 Pelargon, <i>Pelargonium x hortorum</i> L.H.Bailey 'Rokoko' . .	39
3.2.2 Småpetunia <i>Calibrachoa</i> Cerv. 'Trailing Million Bells Blue' .	41
3.2.3 Buskmargerit, <i>Argyranthemum frutescens</i> (L.) Sch.Bip. 'Dana'	45
4 Diskussion och slutsatser	47
Litteraturförteckning	48

Kapitel 1

Inledning

”Som odlare i 15 år har länge kostnaderna för energi alltid varit ett orosmoln. Både jag och min produktionschef Lennart Johnsson, reser väldigt mycket i Europa och besöker ofta andra odlare. Genom dessa besök föddes en idé att kunna spara energi. Utgångspunkten var att vända på begreppen på hur man styr klimatet idag. Från att styra klimatet för växterna med hjälp av sk. Lufttemperatur ville vi styra med hjälp av bladtemperatur. Genom att dessutom kombinera detta med hjälp av IR-uppvärmning var vår teori att vi dels inte skulle få effekt förluster dels skulle få en exaktare styrning för det optimala klimatet för plantan. Vi trodde även att vi skulle få ett snabbare styrsystem, samt att det skulle vara möjligt att kunna sänka de styrtemperaturer vi jobbar med idag. Med hjälp av detta trodde vi det var möjligt att dels spara en hel del energikostnader samtidigt som vi trodde det var möjligt att förbättra plantkvalitén.”

Owe Dahlqvist
AB Kjell-Ingvars

Uppvärmning och klimatisering av växthus kan ofta vara en komplicerad uppgift eftersom växthusen har en termiskt lätt konstruktion som enkelt påverkas av ändringar i väderförhållande och därmed kräver en snabb och exakt reglering av värmesystemet. Växtkulturen, speciellt sticklingar och småplantor, kan vara känsliga för små växlingar i inneklimatet och ställer därför ännu högre krav på en mycket god reglering av klimatet i substratet och luften så att rötter och skott utvecklas optimalt. Dessa höga krav på god reglering av växtförhållanden samt relativt sett höga energikostnader för uppvärmning av växthus, gjorde det intressant att undersöka effekten av gasdrivna infravärmare eller -strålare (IR). Placeringen av strålare med separat styrning ovanför

och under odlingsborden gav goda förutsättningar att samla tillväxterfarenheter hos olika växtkulturer.

1.1 Energitekniska mål

I korthet kan frågeställningarna avseende energianvändning med infravärme summeras med följande punkter:

- Hur påverkas energianvändningen då IR-uppvärmning nyttjas med bibehållet växthusklimat och plantkvalitet?
- Investeringskostnader
- Innebär IR-teknik fördelar avseende uppvärmningssystemets utbyggnadsmöjligheter och flexibilitet?

1.2 Biologiska mål

I korthet kan frågeställningarna avseende rotning och tillväxt av sticklingar med infravärme summeras med följande punkter:

- Vilken inverkan har IR-strålningsvärme, som kan betraktas som ”pulserande”, det vill säga periodiskt varierande, jämfört med jämn vattenburen värme på sticklingars rotbildning och tillväxt?
- Kan luftfuktigheten vid IR-uppvärmning hållas tillräckligt hög för att orotade sticklingar skall hinna bilda rötter?
- Är värmefördelningen i växthuset tillräckligt jämn för att småplantor skall bli saludugliga samtidigt?

1.3 Tidigare erfarenheter

En litteratursökning gjordes på Institute of Gas Technology's litteraturdatabas GasLine för att söka efter tidigare publikationer om infravärme i växthus. Infrarödteknik har tidigare använts för växthusuppvärmning, men dokumentation om erfarenheterna tycks vara mycket sparsam. I en holländsk artikel från 1980 [1] beskrivs försök med

mörkerstrålare i växthus. Här fann man att energibesparingarna kunde uppgå till 30–40% jämfört med dåvarande konventionella uppvärmningssystem. Vid försöken tycks man ha odlat färdigvara och inte sticklingar som i denna undersökning.

Tre amerikanska patent från 1985 och 1987 berör växthus och infravärme. De berör utformningen av strålningsröret så att temperaturfördelningen blir jämn, vilket skulle minska risken för lokal uttorkning av växterna, samt utvinning av energin ur avgaserna från strålningsvärmarna för vattenvärmning. Inga andra publikationer om infravärme i amerikanska växthus hittades vid litteratursökningen.

Det italienska företaget Systema, som levererat infravärmesystemet, har tidigare erfarenhet av infravärme i växthus från installationer i Italien och Israel. Här har systemen använts till exempelvis tomatodling. Man har då bara använt ovanvärme, det vill säga att strålningsvärmarna placerats ovanför växterna. I detta projekt används även infrastrålare under de bord där växterna är placerade. Dessutom används infravärmen i detta projekt för sticklingar där rötterna inte utvecklats. Detta innebär en mer känslig installation än tidigare beskrivna.

1.4 Projektadministration

Under projektets gång har en referensgrupp träffats vid flera tillfällen och diskuterat genomförandet. Denna grupp har förutom rapportens författare varit Owe Jönsson (SGC), Staffan Ivarsson (Sydgas), Pieter Kronqvist (Sydkraft), Owe Dahlqvist (Kjell-Ingvars), Johan Peterson (Amgas) och Åke Möller (UBA). Utöver denna referensgrupp har Arne Wahlkvist (Ohlsson och Wahlkvist) bidragit med arbete avseende förändringar i styr- och reglersystemet samt anpassning av datainsamlingssystemet. Projektet omfattar tiden 1 juli 1999–30 juni 2000 och utfördes vid Kjell-Ingvars växthus i Sunnanå utanför Malmö.

Vid ett möte fanns även personer från systemtillverkaren (Systema, Italien) för att diskutera installationen och resultaten, vilket medförde en del förändringar och justeringar av installationen.

Ett speciellt tack riktas till Håkan Carlsson på Kjell-Ingvars för arbetet med såväl växterna som installationen under försöken.

Kapitel 2

Energianvändning

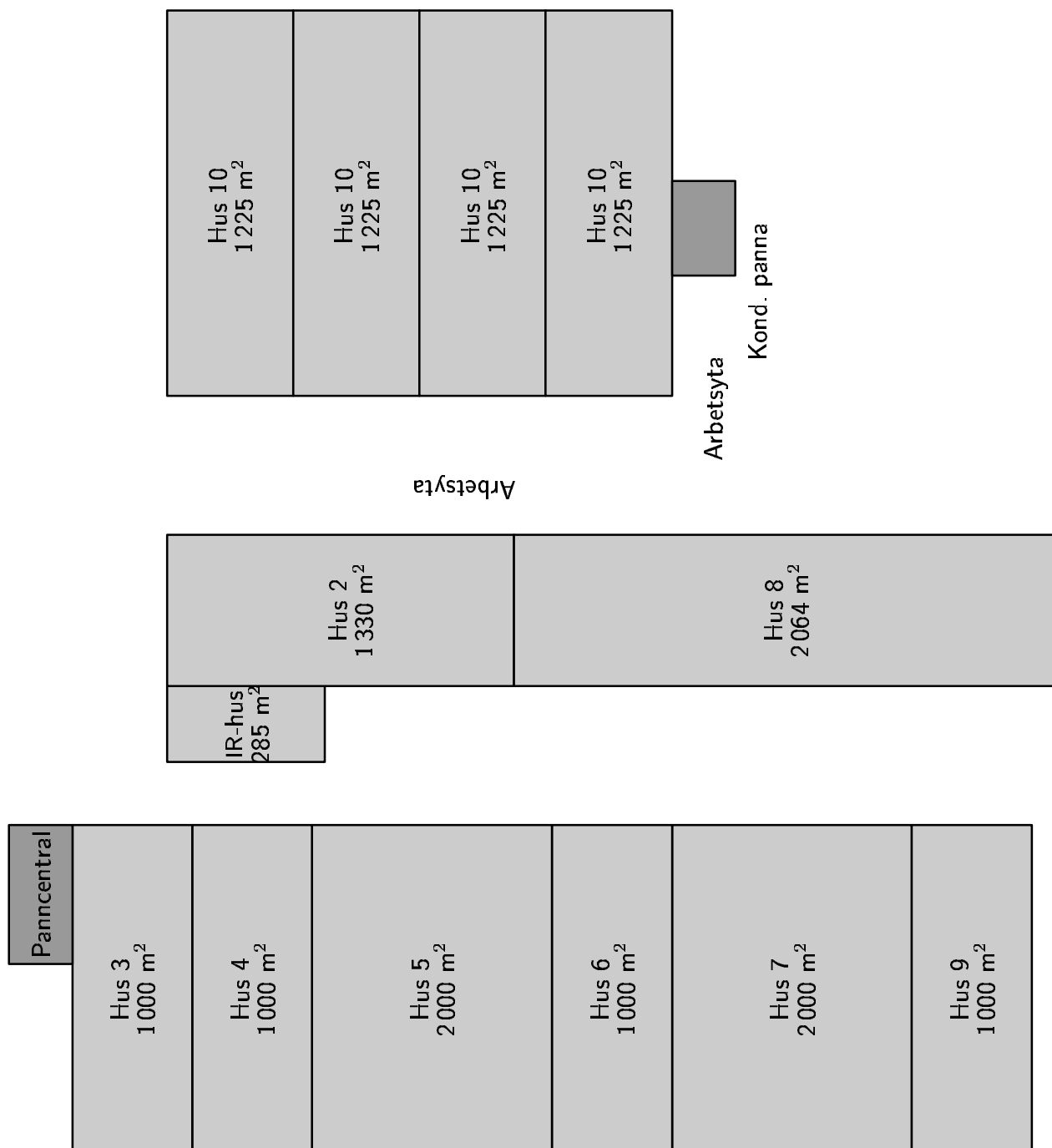
Växthus karakteriseras av ett stort uppvärmningsbehov på grund av glasytor och högt luftombyte. Detta ger traditionellt goda förutsättningar för infravärme. Dock är takhöjden i växthus sällan så hög som oftast önskas vid uppvärmning med IR-teknik.

Idag värms växthusen med tre olika system:

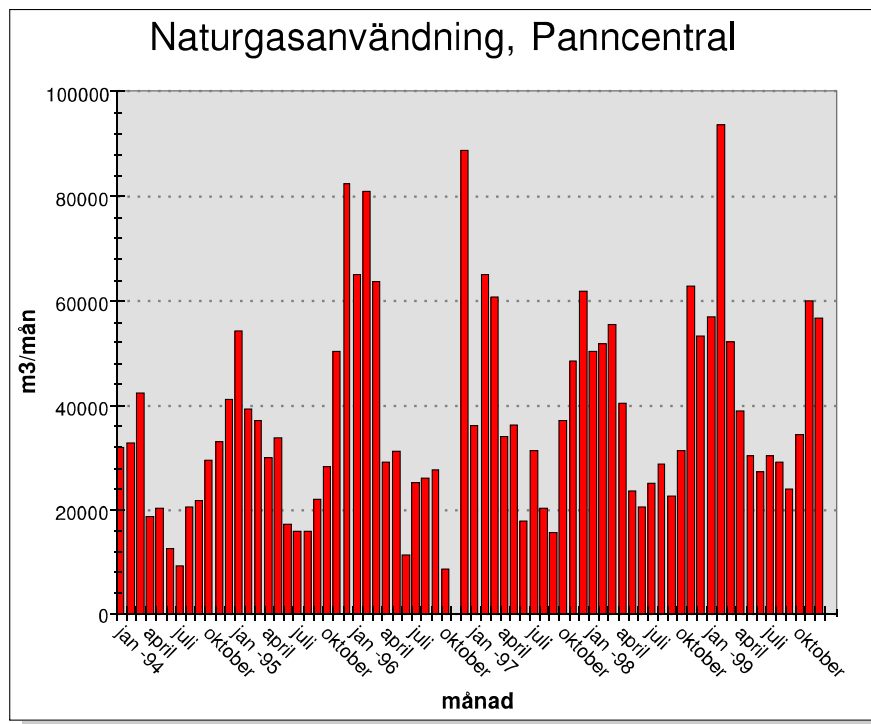
- Ett vattenburet system med två ickekondenserande gaspannor. De försörjer de äldre delarna av anläggningen.
- Infravärmesystemet, som installerats i ett litet växthus i den äldre delen av anläggningen, och som är det primära målet för denna undersökning.
- Ett vattenburet system med en ickekondenserande gaspanna med en separat avgaskondensor. Detta försörjer den nybyggda delen av anläggningen och togs i bruk kring årsskiftet 1999–2000.

Den gamla värmeanläggningen i panncentralen består av två pannor med värmeeffekten 1 respektive 2 MW. Under hösten 2000 reparerades den mindre av pannorna; rost i tuberna orsakade vattenläckage. Den nya pannan med avgaskondensering är en Viessmann Paramat Simplex med en modulerande brännare från Weishaupt. Effekten är maximalt 2200 kW. Efter pannan har en separat avgaskondensor monterats.

Kjell-Ingvars växthus i Sunnanå ses i figur 2.1. Anläggningen har byggts ut successivt och omfattar idag ca 18000 m². I hus 1 används infravärmesystemet. Hus 5 (värms med de gamla pannorna) och hus 10 (värms med den nya pannan med avgaskondensor) används som referenshus.



Figur 2.1: Skiss av Kjell-Ingvars växthus. Endast växthusen och värme pannornas placering är markerade



Figur 2.2: Historisk månadsvis naturgasförbrukning i Kjell-Ingvars växthus

2.1 IR-systemets uppbyggnad

Infrarödsystemet är tillverkat av det italienska företaget Systema, som tidigare levererat anläggningar för växthustillämpningar. Systemet består av både över- och undervärme, som kan användas oberoende av varandra under olika faser av plantornas tillväxt. Över varje växthusbord hänger ett strålningsrör med reflektor och under har två rör med plan reflektor placerats, över- och undervärme. Strålningsrören för övervärmern har haft oisolerade reflektorer medan de plana reflektorerna för undervärmen haft ca 50 mm isolering mot golvet. Till varje strålningsrör finns två brännare. Dessa kan justeras till en gaseffekt på 16–40 kW. Rörens ytemperatur justeras dels med brännareffekten dels med utspädningsluft som kan tas in i rörets

inloppsände. Utomhusluft används som förbränningsluft och hämtas via flexibla slangar som anslutits till nya hål i ytterväggar och tak.

Övervärmen visas i ritningen i figur 2.3 och undervärmen i figur 2.4. Infrastrålaren för övervärme ses i figur 2.5. Varje strålningsrör kan vara i drift oberoende av varandra och representerar därför 6 olika zoner. Ovanvärmen benämns ”zona 1” och ”zona 2” medan undervärmen benämns ”zona 3–zona 6”. Fotografierna i figur 2.6 visar dels hela växthuset där infravärmen användes dels de två bordstyperna som användes i växthuset med infravärme.

2.2 Systemdimensionering och investering

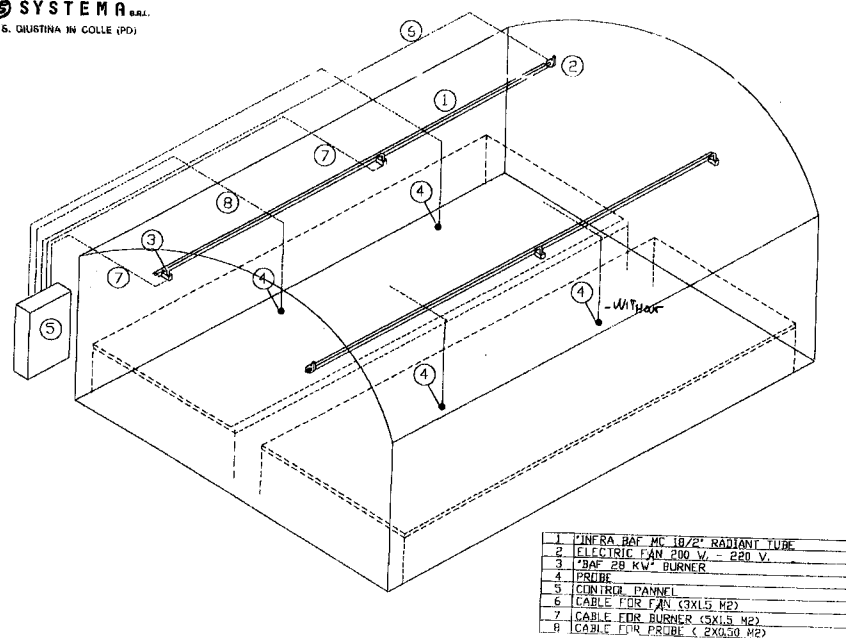
Uppvärmningssystem till växthus dimensioneras ungefär enligt $200\text{--}300\text{ W/m}^2$ (växthusyta). Glasets isolerförmåga avgör vilken del av intervallet som används. Det högre värdet används vid enkelglas och det lägre då kanalplattor används.

Ett traditionellt värmesystem för växthus består av en värmepanna och ett värmedistributionssystem. Detta är ofta vattenburet men varmluft kan även användas för uppvärmningen. För att kontrollera växthusen inomhusklimat används även öppningsbara takluckor och gardiner som exempelvis används nattetid för att minska strålningsförluster till omgivningen och att reducera kallras. Brännarna till pannorna är oftast modulerande, vilket är en skillnad från de enstegsbrännare som används i strålningsrören. Det traditionella värmesystemet har således två egenskaper som underlättar anpassningen mellan brännareffekt och värmebehov, modulerande brännare och värmekapaciteten i värmedistributionssystemet.

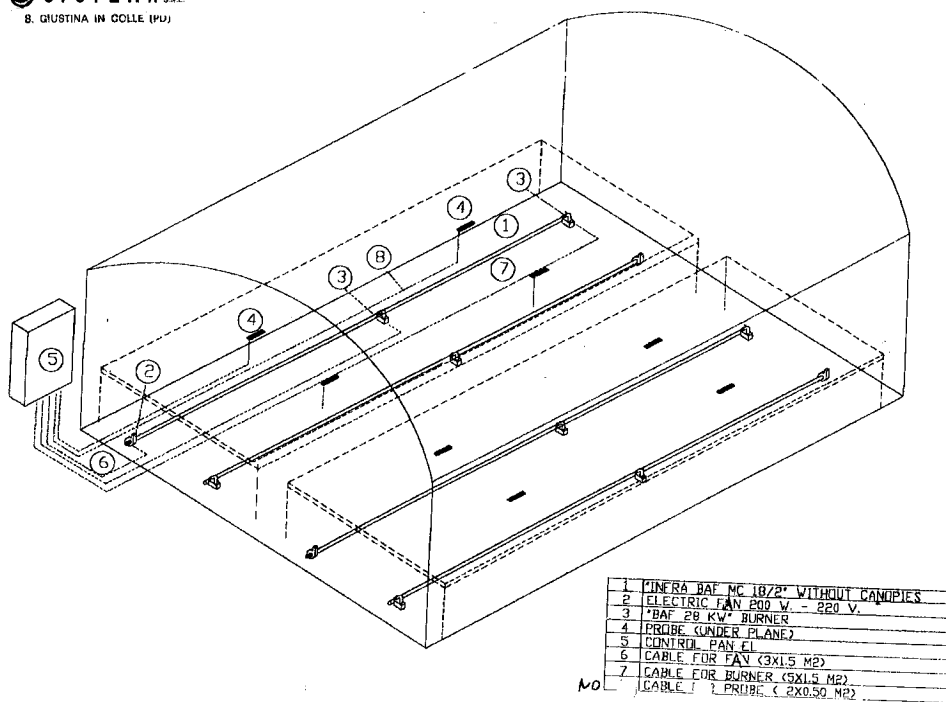
2.2.1 Dimensionering

Det installerade infrarödsystemet innehåller både över- och undervärme, och de måste var för sig dimensioneras för att klara växthusets värmebehov. I försöken användes ett litet växthus varför tillgängliga infrarödutrustningar inte erbjuder ett helt fritt val av installerad effekt. Utrustningen som installerades är därför överdimensionerad. Enkla raka strålningsrör valdes för att i möjligaste mån anpassa strålningsintensiteten men också för att minimera antalet hål i växthusets ytterväggar och tak.

SYSTEMA s.r.l.
S. GIUSTINA IN COLLE (PD)



Figur 2.3: Övervärmen i IR-huset, zona 1 och 2



Figur 2.4: Undervärmen i IR-huset, zona 3-6



Figur 2.5: Infrastrålarer för övervärmnen (Foto: H.K. Schüssler)



Figur 2.6: Fotografier från växthuset där infravärmen provades. Överst ses hela växt-huset och underst ses de olika bord som användes. Till vänster finns plastbord och till höger bord av aluminum. (Foto: H.K. Schüssler)

2.2.2 Investeringskostnader

Det i försöken installerade infrarödssystemet kostade knappt 400 000 kronor, varav 3/4 gällde utrustningen och 1/4 gällde installationen. Ett system med dubbla värmeeffekten skulle enligt leverantören kosta ungefär 30% mer i utrustningskostnad medan installationskostnaden skulle vara uppskattningsvis 80% högre.

Installationen i försöken är dock inte representativ för en fullskaleanläggning. I samband med en utbyggnad av Kjell-Ingvars anläggning offererades ett system baserat på infrarödteknik. Detta avsåg växthus 10 i figur 2.1 på s. 9. Det offererade systemet avsåg endast undervärme (2,7 MW totalt installerad effekt, vilket ligger betydligt över dimensioneringskriterierna för växthusuppvärmning) och kostnaden för detta uppgick till ca 3 miljoner kronor. Det traditionella system som valdes (gaspanna med avgaskondensor och vattenburet värmedistributionssystem) kostade ca 1,5 miljoner kronor, varav ca 0,5 miljoner kronor avsåg pannan och resten värmedistributionssystemet.

2.2.3 Drifterfarenheter och tillgänglighet

Under främst det första halvåret (2:a halvåret 1999) av projektet gjordes många justeringar av IR-systemets brännarinställningar och reglerstrategi. Exempel på mindre god funktion var att takluckorna öppnades när brännarna var i drift, vilket innebär en högre energianvändning. Under denna tid var inte heller tillgängligheten fullgod, men denna har förbättrats i stort sett för varje åtgärd. Brännareffekten sänktes för att öka brännarnas drifttid.

2.3 Jämförelse av energianvändningen med de olika systemen

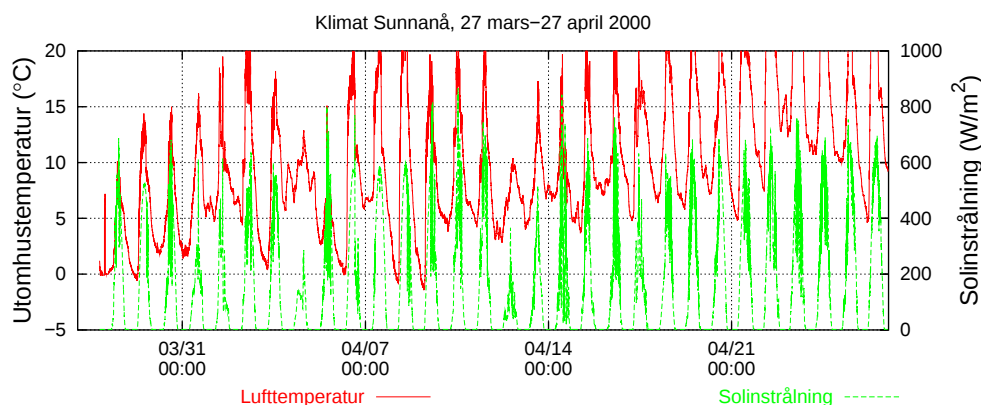
Av de skäl rörande reglersystemet som nämndes i föregående avsnitt så kan endast gasförbrukningen under första halvåret år 2000 användas vid en jämförelse mellan de olika uppvärmningssystemen. Redovisningen här söker jämföra gasförbrukningen per kvadratmeter golvyta; ett mått som används för byggnadsuppvärmning. Eftersom IR-systemet ännu inte är optimerat får energijämförelsen i första hand ses som en indikation.

Klimatdata i växthusen samlades in med hjälp av befintligt datainsamlings- och styrsystem. Data avseende temperatur, luftfuktighet, utomhustemperatur, solinstrål-

ning, öppningsvinkel för växthusens takluckor och gardinpositionen samlades in med 2 minuters intervall och överfördes därefter till en annan dator. Ett datorhaveri drabbade insamlade data, varför i huvudsak övergripande uppgifter om gasförbrukning räddades för rapporteringen. Av detta skäl kan en detaljerad analys av inomhusklimatet under denna projektfas ej genomföras.

2.3.1 Växthusens inomhusklimat

Av kvarvarande klimatdata kan en uppskattning göras av eventuella skillnader mellan de två uppvärmningssystemen. Figur 2.7 visar insamlade data för utomhusklimatet för perioden 27 mars–27 april. Från denna period väljs några dagar för att peka på eventuella skillnader mellan inomhusklimat med och utan infravärme vid olika utomhusklimat. Urvalet är dock för litet för att några säkra slutsatser skall kunna dras.



Figur 2.7: Utomhusklimat för perioden 27 mars–27 april

Figurerna 2.8–2.9 visar lufttemperatur och relativ fuktighet i växthuset med infravärme och hus 5 med konventionell uppvärmning, och som fungerade som referenshus för perioden 27 mars till och med 27 april. Sticklingarna sattes den 23 mars (Småpetunia, se även avsnitt 3.2.2 på s. 41) och den 24 mars (Buskmargerit, se även avsnitt 3.2.3 på s. 45). Den 7 april sänktes temperaturen i båda växthusen. Samtidigt ändrades uppvärmningen från undervärme till övervärme i IR-huset. De två figurerna visar tydligt effekterna av temperaturesänkningen den 7 april. Inomhus-temperaturen i det konventionellt värmda växthuset är jämnare över dygnet vid en jämförelse. Vi kan också se att den relativa fuktigheten i växthuset har maximum när temperaturen sänks. Detta torde vara helt naturligt om man antar att den absoluta fukthalten är konstant under tidsperioden. En slumpmässigt vald dag, 31 mars,

illustrerar dygnsförloppet. Denna dag är redovisad i de två nedre diagrammen i figurerna 2.8 och 2.9. För IR-huset ser vi hur inomhustemperaturen varierar periodiskt som en följd av infravärmarnas drift. Det konventionellt värmda huset visar en stabilare inomhustemperatur. Under eftermiddagen ser vi ett annorlunda mönster för båda växthusen. Här uppträder ett periodiskt förlopp i det konventionellt värmda huset medan inomhustemperaturen blir jämnare i IR-huset. Detta sammanfaller med att solinstrålningen ökar till ett kortvarigt maximum kring klockan 15. Luckorna i växthusets tak öppnas då och överensstämmer med det taggiga förloppet klockan 15–16 för det konventionellt värmda växthuset. Gardinerna är i huvudsak fördragna under dygnets mörka period. Medeltemperaturen för detta dygn är 22,0°C i IR-huset och 22,8°C i hus 5.

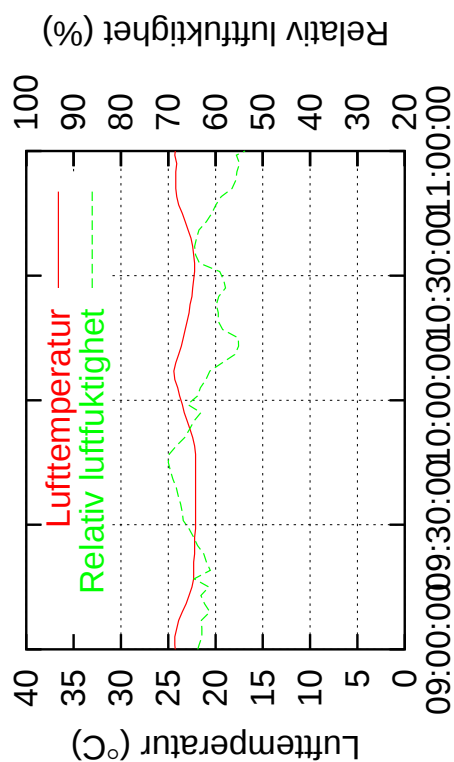
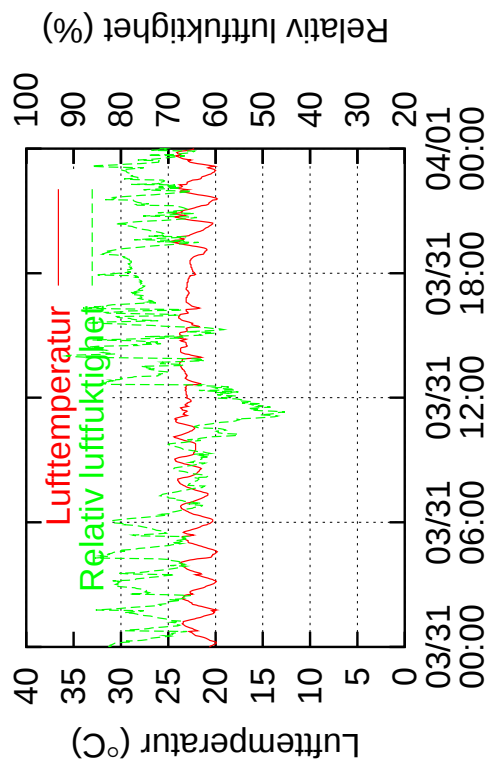
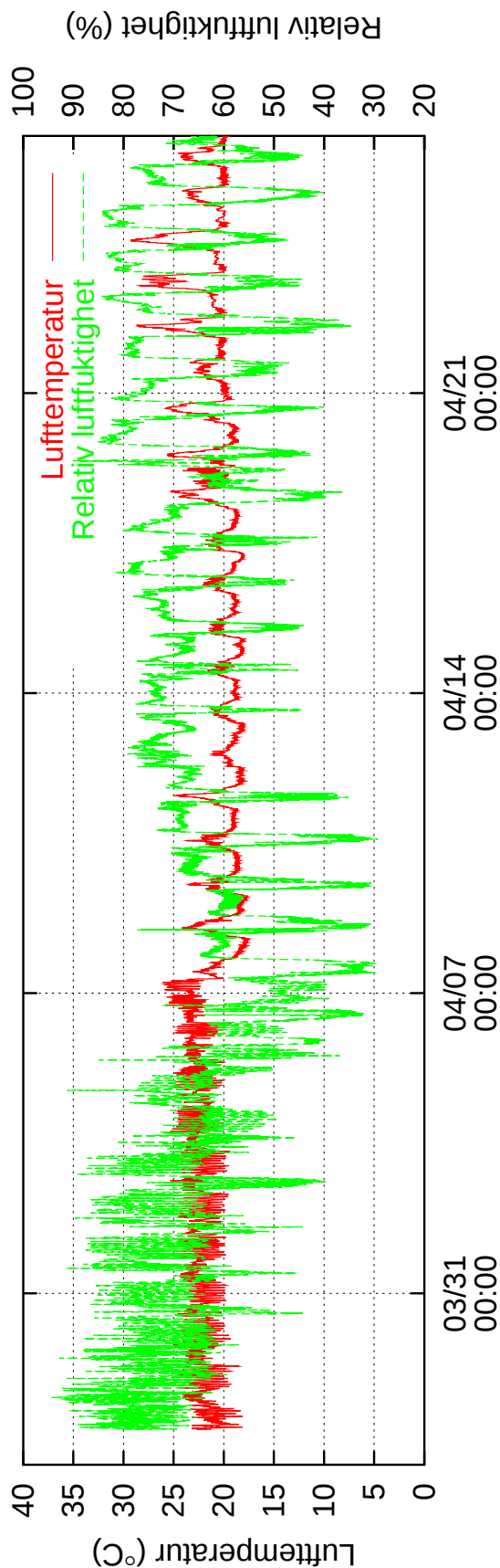
Fyra valda dagar

Med hjälp av figur 2.7 väljs fyra dagar för närmare analys. Två ljusa dagar, 28 mars och 14 april, jämförs med två mindre ljusa dagar, 4 och 12 april. Dessa dagar skiljer också avseende utomhustemperaturen. Dessa dagar visas i figurerna 2.10–2.13. För dessa fyra dagar ses hela dygnet i de vänstra diagrammen och två timmar på förmiddagen i diagrammen till höger. De översta diagrammen visar IR-huset, de i mitten visar referenshuset och längst ned finns data för utomhusklimatet. I tabell 2.1 ges en sammanställning av perioden och i tabell 2.2 ges medeltemperaturerna för de två växthusen, samt ytterligare ett av växthusen.

Om vi jämför uppmätta inomhustemperaturer före och efter bytet från undervärme till övervärme den 7 april finner vi en del tydliga skillnader. I tabell 2.1 finns de genomsnittliga dygnstemperaturerna i de två växthusen. För de två valda dagarna med undervärme är lufttemperaturen i IR-huset 0,5–0,8°C lägre än i det konventionellt värmda växthuset. Denna skillnad ökar till 1,8–2,0°C för de dagar som valts med övervärme. Förändringen förklaras med att med undervärmen värms borden och därigenom plantorna. Övervärmen värmer plantorna direkt. Undervärmen fungerar därför lite som ett konventionellt värmesystem då stora ytor värms, som i sin tur värmer växthusluften. Vi ser också i figurerna 2.10 och 2.11 att IR-husets lufttemperatur varierar betydligt mer periodiskt med undervärme än med ovanvärme (figur 2.12 och 2.13). Betraktas hela perioden, tabell 2.2, ser vi att medeltemperaturen är lägre i IR-huset än i både referenshus 5 och ytterligare ett av växthusen (hus 2).

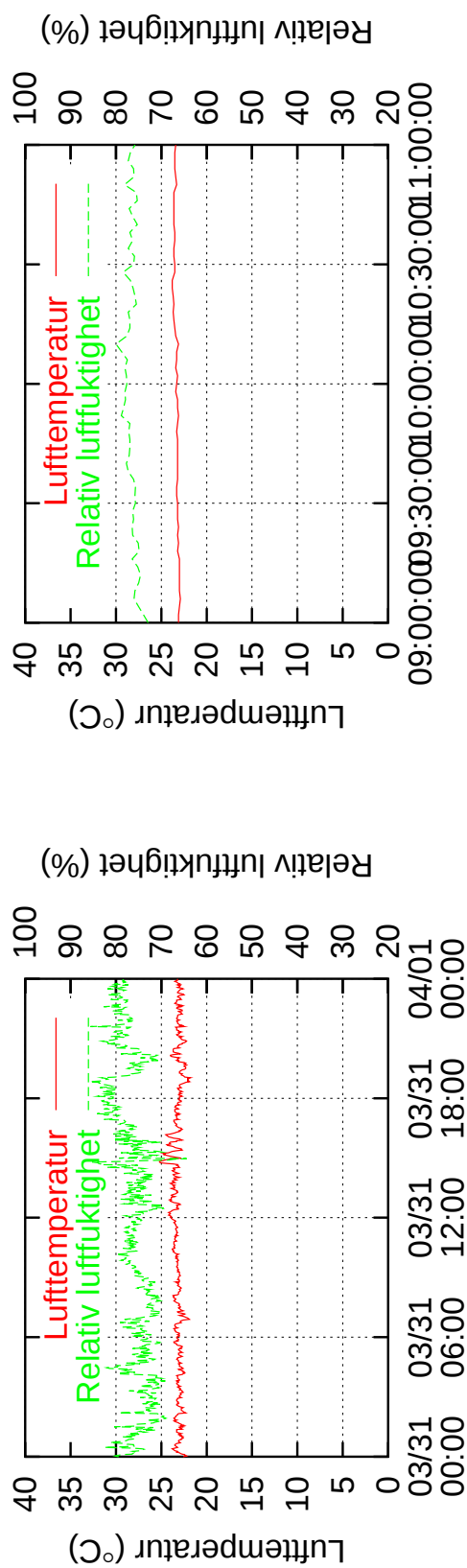
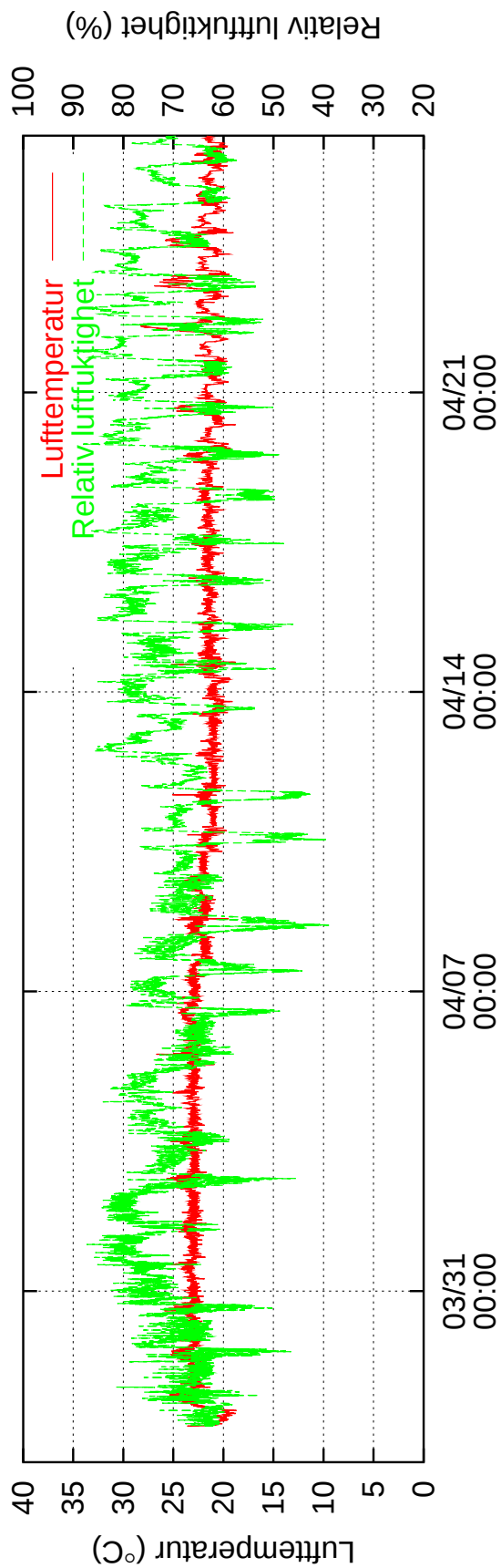
Värmeförlusterna från växthus består av transmissionsförluster genom glasväggarna, ventilationsförluster genom växthusets otätheter och strålningsförluster från plantorna. Transmissionsförlusterna bestäms av skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperaturerna och väggarnas isoleringsgrad. Ventilationsförlusterna, i form av luftomsättningar i växthuset, bestäms av otätheterna, men också av temperaturskillnaden

Infravärme, 27 mars–27 april 2000

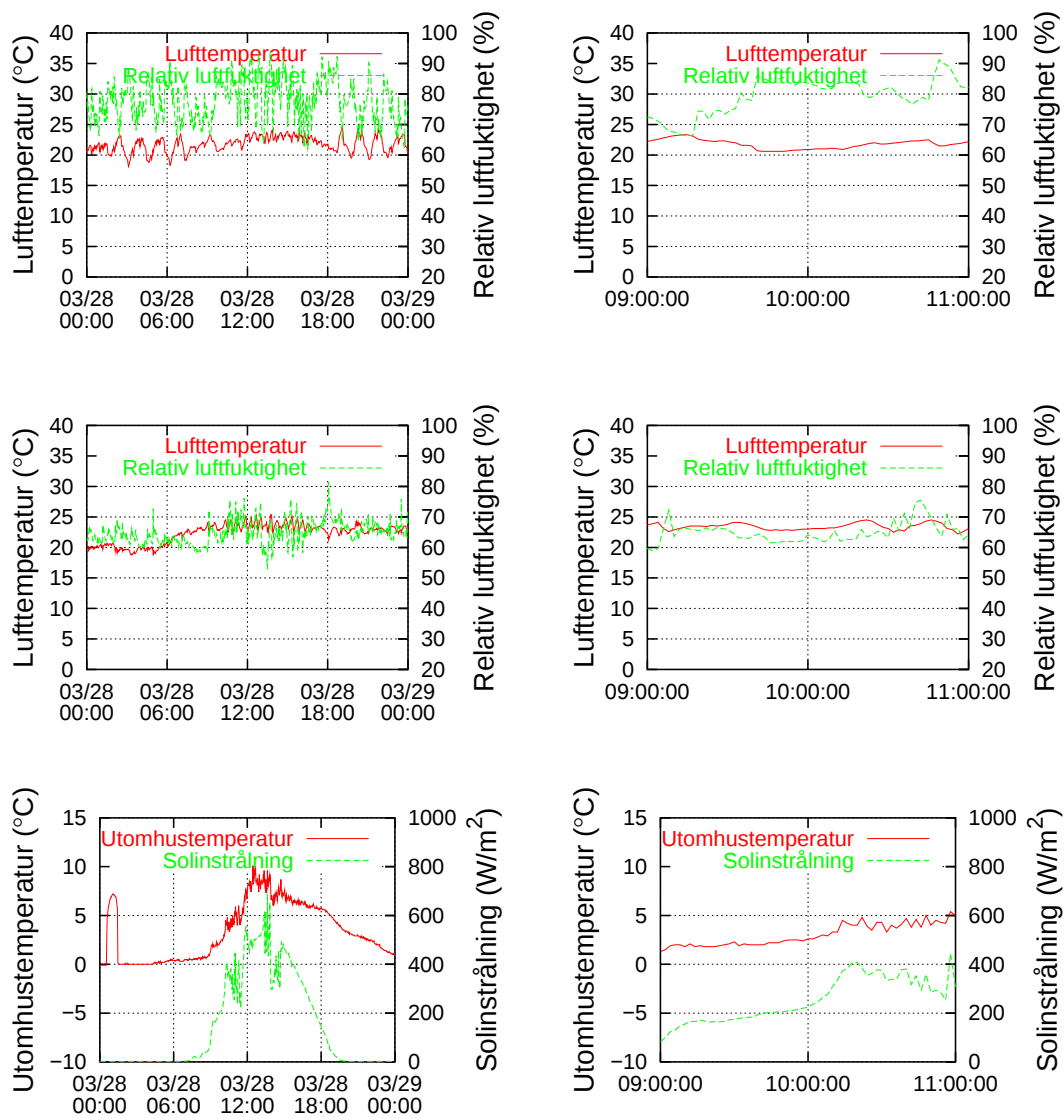


Figur 2.8: Inomhusklimatet i IR-huset 27 mars–27 april

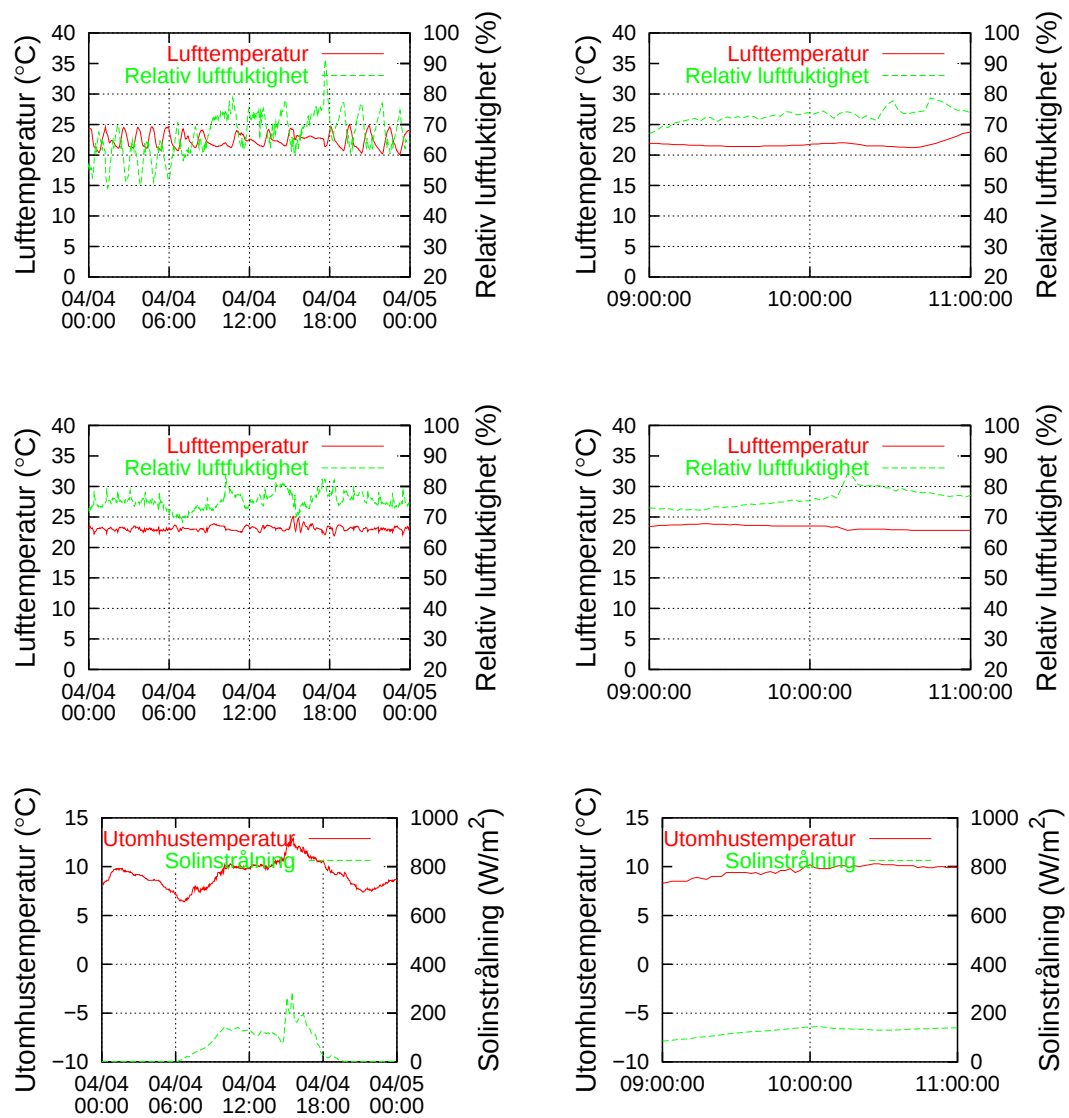
Konventionell uppvärmning, 27 mars–27 april 2000



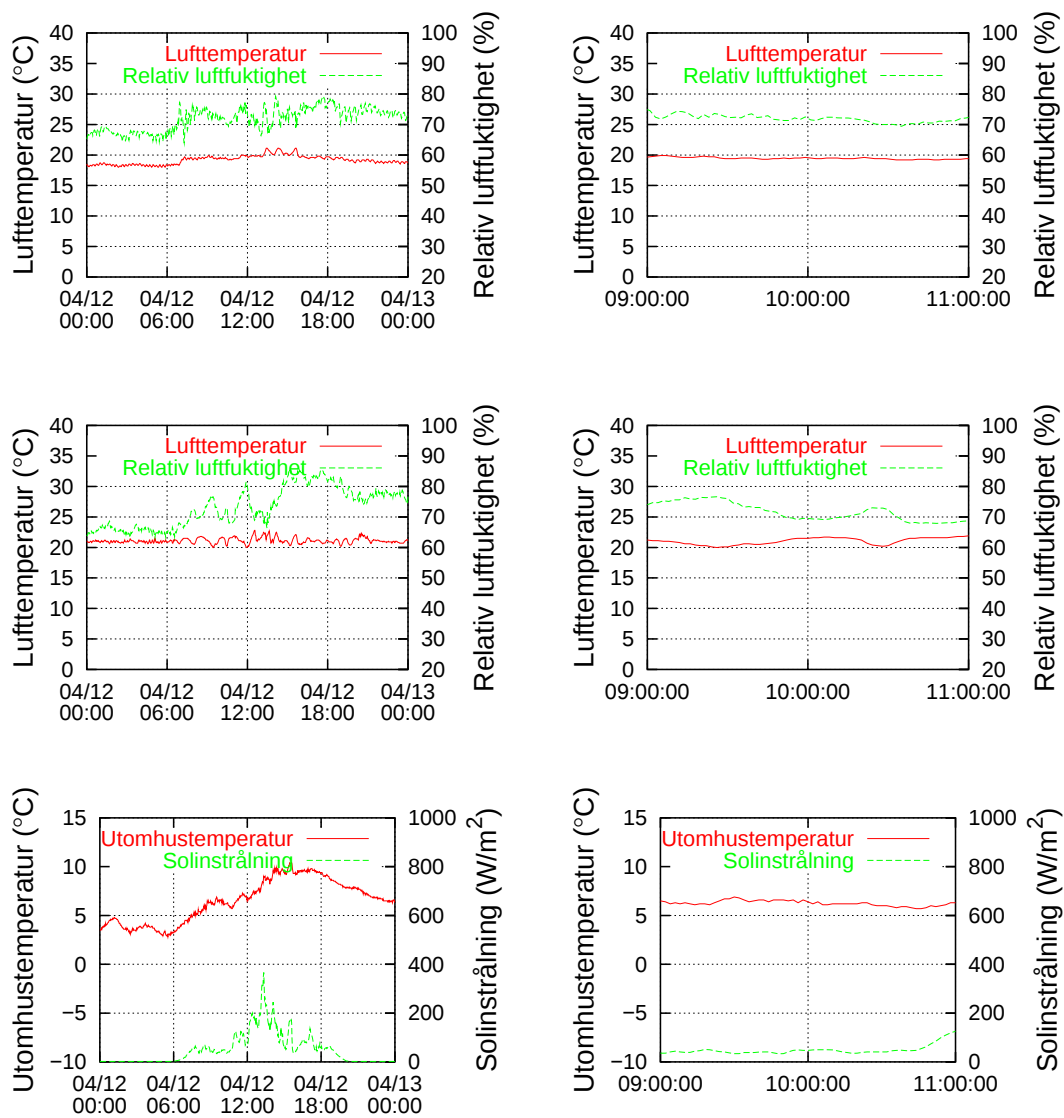
Figur 2.9: Inomhusklimatet i det konventionellt värmda växthuset 5, 27 mars–27 april



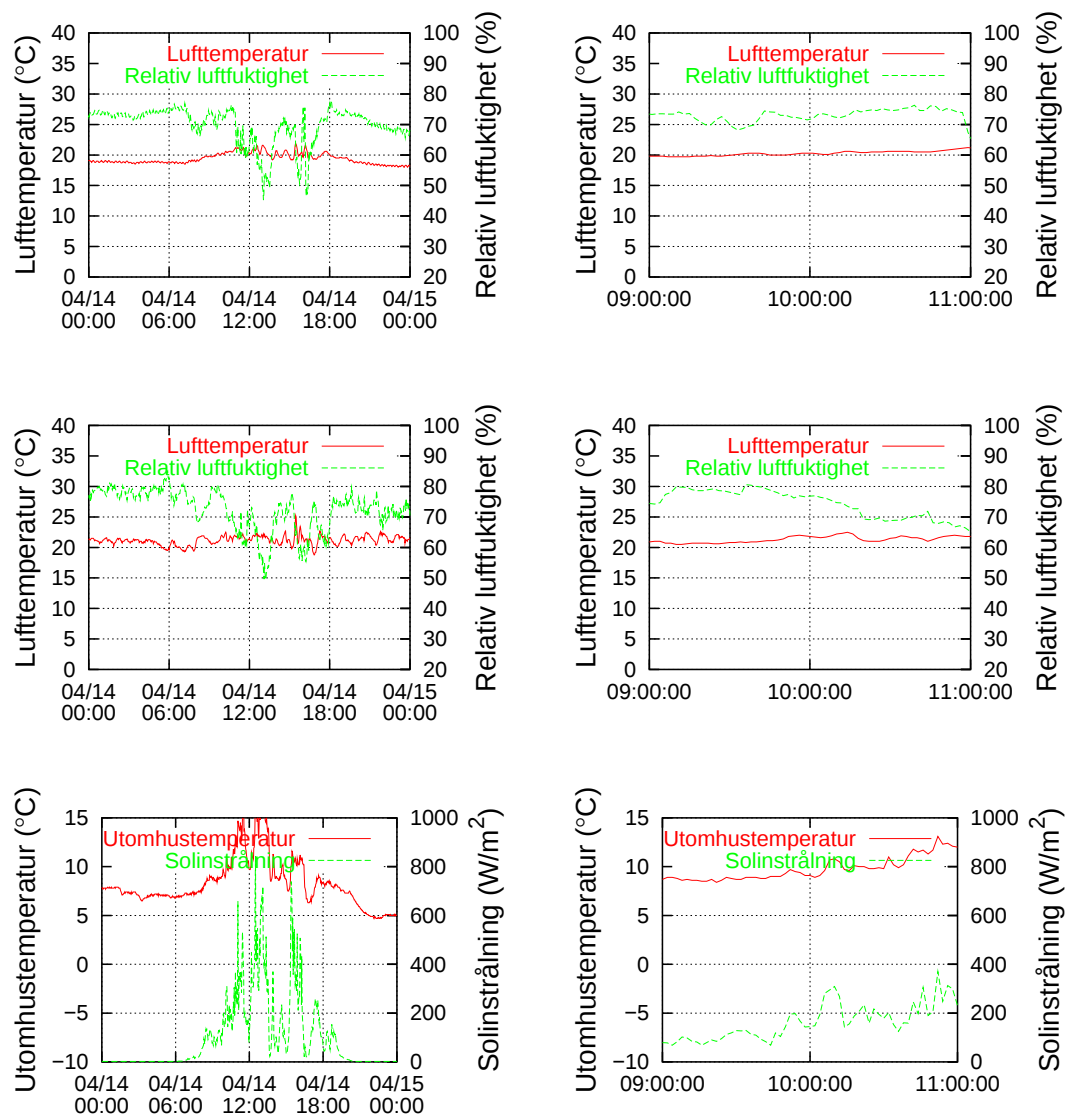
Figur 2.10: Inomhusklimat den 28 mars för IR-huset (överst) och hus 5 (mitten), samt klimatdata (nederst)



Figur 2.11: Inomhusklimat den 4 april för IR-huset (överst) och hus 5 (mitten), samt klimatdata (nederst)



Figur 2.12: Inomhusklimat den 12 april för IR-huset (överst) och hus 5 (mitten), samt klimatdata (nederst)



Figur 2.13: Inomhusklimat den 14 april för IR-huset (överst) och hus 5 (mitten), samt klimatdata (nederst)

Tabell 2.1: Sammanställning av växthusens inomhusklimat för de utvalda dagarna, 28 och 31 mars samt 4, 12, och 14 april

Lufttemperatur	31 mars	28 mars	4 april	12 april	14 april
Hus 1, IR (°C)	22,0	21,4	22,0	18,7	18,9
Hus 5 (°C)	22,8	21,9	22,7	20,7	20,7

Tabell 2.2: Genomsnittlig lufttemperatur i tre av växthusen under tiden 27 mars–27 april 2000

Hus	Medeltemperatur (°C)	Maxtemperatur (°C)	Mintemperatur (°C)
IR	21,1	29,3	17,6
2	21,8	28,5	18,3
5	22,1	28,3	18,7

och vindpåverkan. Denna orsakar en tryckskillnad över växthusets olika väggar. Eftersom växthuset med infravärme och hus 5 är både av olika ålder och läge kan inte någon bedömning göras. IR-huset är beläget i en nordsydlig riktning och omgiven av utomhusluft på tre sidor medan hus 5 är beläget i östvästlig riktning och omges av intilliggande växthus längs långsidorna. Se även figur 2.1 på s. 9. Möjligen kan skillnader i den relativa fuktigheten i de två växthusen vara en indikation på att ventilationsförlusterna, eller snarare luftomsättningarna, skiljer mellan husen.

Tackluckor och gardiner

De öppningsbara luckorna i växthusens tak och de gardiner som kan dras för kan delvis ses som funktioner att kompensera för ofullkomligheter i värmesystemet och dess regelsystem. Luckorna används också för att reglera temperaturen vid kraftig solinstrålning, även när uppvärmningsbehovet upphört. Gardinerna är fördragna nat-tetid och minskar då strålningsförlusterna och kallraset intill de kalla glasytorna. Vi kan studera eventuella skillnader mellan infravärme och konventionell värme genom att studera hur luckor och gardiner använts. Speciellt vid transienta förlopp som vid skiftande solinstrålning kan detta ge indikationer på hur väl de två uppvärmningssystemen klarar sådana variationer. I tabell 2.3 ges antalet lucköppningar och den totala

tiden för öppna luckor under hela hela dygnet. Uppgifterna i tabellen visar både fler lucköppningar och betydligt längre öppettider för huset med infravärme.

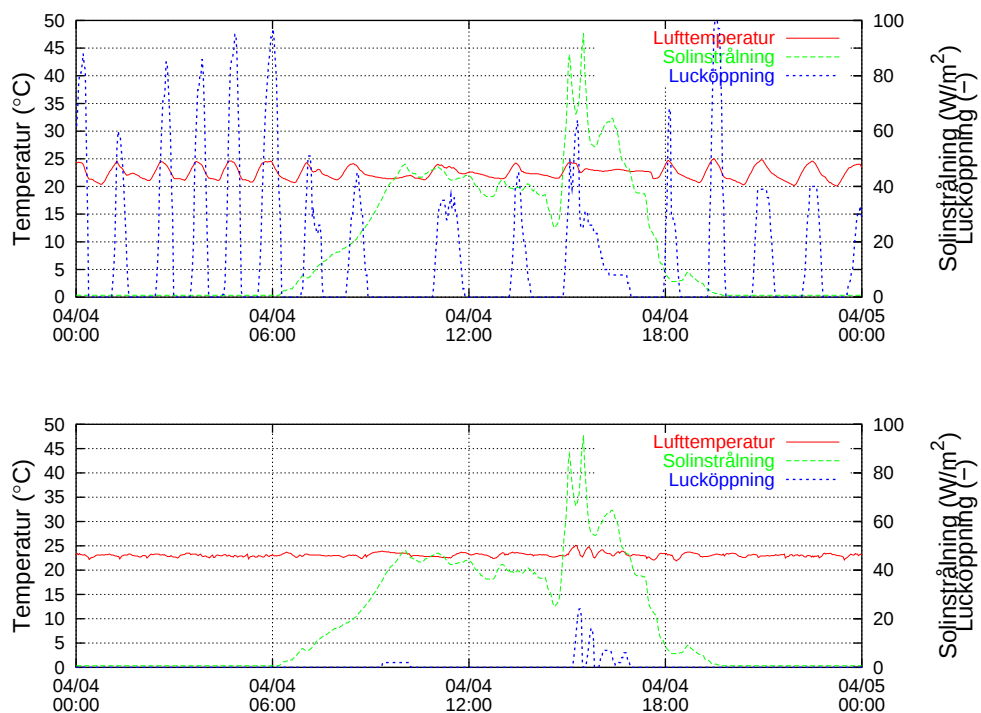
Tabell 2.3: Sammanställning av växthusens inomhusklimat för de utvalda dagarna, 28 och 31 mars samt 4, 12, och 14 april

	31 mars	28 mars	4 april	12 april	14 april
Lucköppning					
Hus 1, IR (antal)	17	28	16	2	5
Hus 1, IR (min)	660	320	668	114	258
Hus 5 (antal)	6	15	4	5	12
Hus 5 (min)	100	262	130	172	199
Gardiner					
Hus 1, IR (min)	1 202	1 144	798	764	838
Hus 5 (min)	1 202	1 240	958	768	1 052

Den 4 april tas som exempel för att klarlägga skillnaderna. Det ses tydligt i figur 2.14 att luckorna öppnades även nattetid och i samband med infravärmarnas drift. Översta diagrammet visar det infravärmda huset och det undre visar refrenshuset, hus 5. Om luckorna inte öppnats så hade avkylningen i växthuset haft samma förlopp som den del som föregår brännarens drift och vi ser då att lucköppningen påverkar brännardriften, och energianvändningen, mycket kraftigt. Detta visar tydligt att reglerparametrarna är fel i detta fall för infravärmen. Det är viktigt att inställningarna för lufttemperatur, bladtemperatur och lucköppning är väl anpassade så att luckorna inte öppnar då infravärmarna är i drift. Det pekar också på nödvändigheten av en jämn fördelning av strålningen från infravärmarna och att givarna placeras på representativa platser. Se även avsnitt 2.3.3 på s. 30.

Den ökande solinstrålningen och högre utomhustemperaturen syns tydligt i det övre diagrammet och resulterar i ett långsammare avsvalningsförlopp av inomhustemperaturen. Inomhustemperaturen synes väl följa förändringar i framför allt solinstrålningen, men eftersom ingen särskild signal för infravärmarnas drift registrerats kan vi med bestämdhet inte avgöra om infravärmarna varit i drift under dagen. Dock uppvisar de tre temperaturökningarna mellan klockan 10 och 15 samma lutning som när brännarna var i drift nattetid. Det konventionella värmesystemet i hus 5 visar en mycket bättre bild av regleringen av inomhustemperaturen.

Det finns inga markanta skillnader mellan växthusen för hur länge gardinerna varit fördragna under repektive dygn. I IR-huset finns en tendens till en kortare total tid. Studerar man insamlade data finner man inga skillnader hur gardinerna använts, bara mindre skillnader i tidpunkten för när de började och slutade användas.



Figur 2.14: Lucköppningar, lufttemperatur och solinstrålning den 4 april för IR-huset (överst) och referenshuset med konventionell uppvärmning (underst)

2.3.2 Värmesystemens prestanda

De tre olika systemens stationära prestanda är uppmätta vid olika tillfällen och redovisas i tabell 2.4. Det har dels varit mätningar i anslutning till projektet dels mätningar i samband med service och anläggningsbesiktning, men även leverantörsdata.

Tabell 2.4: Stationära prestanda för de olika pannorna och IR-värmarna

Typ	Avgas- temperatur (°C)	Verknings- grad (%)
Infravärme ^a	–	90–91
Panncentral	140/95	93/96
Kondensationspanna	52	100

^aLeverantörsdata

Som tabell 2.4 visar ger kondensationsspannan i de nya växthusen den högsta stationära verkningsgraden. Energianvändningen för växthusdriften inkluderar också förluster i pannan och distributionsförluster, vilket sänker totalverkningsgraden. Den nya pannan med kondensationssteg bör också ha lägre konvektions- och strålningsförluster än de gamla pannorna i panncentralen. Värmeförluster från distributionssystemet kan tillgodoräknas uppvärmningen av växthusen. Detta ger att uppvärmning med kondensationspannor bör ge minst 10–15% lägre energianvändning än med de gamla traditionella pannorna. Infravärmarnas verkningsgrad är tillverkarens uppgifter och den är vid ett första påseende lägre än den gamla panncentralens. Dock kan vi bortse från stilleståndsförluster och värmeförluster till omgivningen, vilket ger att infravärmarnas verkningsgrad är lika med eller några procentenheter bättre än för pannorna i panncentralen. Infravärmarnas möjlighet att sänka energianvändningen ligger då i möjligheten till snabbare reglering och att växthusklimatet kan förbättras så att uppvärmningsbehovet minskar. I föregående avsnitt visades tydligt att reglersystemet spelar en avgörande roll för funktionen.

En översiktlig bild av energianvändningen för perioden 29 november 1999 till 5 juni 2000 får illustrera energianvändningen med de olika systemen. För den nya kondensationsspannan gäller energianvändningen från 7 februari. Resultatet visas i tabell 2.5. Vi ser i tabellen att i IR-huset har energianvändningen varit 21% lägre än i de delar av anläggningen som värmts med pannorna i panncentralen. Uppvärmningsbehovet i den nybyggda delen, som värms med kondensationsspannan är påfallande lågt.

Tabell 2.5: Energianvändning för perioden 29 november 1999–5 juni 2000

Anläggning	Uppvärmad yta		Gasförbrukning	
	(m ²)	(MWh)	(kWh/m ²)	
IR	285	75	262	
Panncentral	11 703	3 903	333	
Kond. panna	6 710	862	128 ^a	

^aVärdet för kondensationspannan är inte representativt och gäller för de speciella förutsättningarna under perioden. Se texten för vidare beskrivning.

Infravärmen har trots en ej optimal utformning givit en energianvändning som inte överstiger konventionell uppvärmning. Vi får dock en annan bild om vi studerar en delperiod (7 februari–17 april), vilket ungefär motsvarar den period då växtstudierna gjordes (beskrivs i nästa kapitel). Under denna period visar avläsningarna att gasförbrukningen i IR-huset är ca 20% högre än i de delar som försörjs av den gamla panncentralen. Detta väcker frågan om hur energianvändningen skall jämföras där ett system enbart värmer studieobjektet och ett system som värmer en grupp växthus, som under samma tid kan vara helt eller delvis uppvärmda. Hur hanteras till exempel distributionsförluster och ökade stilleståndsförluster i värmepannan när några av växthusen är oanvända under tiden jämförelser görs med IR-huset.

Dock kan man säga att infravärme med största sannolikhet sänker energianvändningen vid en jämförelse med ett värmesystem med ickekondenserande pannor men att vi idag inte kan precisera nivån, särskilt med hänsyn till att systemet kan förbättras ytterligare. Detta är dock inte lika säkert vid en jämförelse med kondensationspannor. IR-strålarna kan inte fås att arbeta med kondensering av avgasernas vattenånga på grund av strålningsrörens yttemperatur. Kondensering av vattenångan skulle kunna göras med hjälp av kylning med vattnet för bevattningssystemet, dimmningen. Det ligger dock utanför ramen för detta projekt att närmare studera en sådan förändring av värmesystemet.

Vi vet idag inte heller hur mycket man kan sänka växthusens temperatur, och med hjälp av infravärmen direkt överföra den energi plantorna kräver. Vid användning av infravärme i andra typer av lokaler, exempelvis lagerlokaler med hög takhöjd, kan lufttemperaturen sänkas upp mot 4°C. Växthusens temperatur under tiden 27 mars–27 april 2000 finns i tabell 2.2 och det är tydligt att lufttemperaturen i IR-huset över denna månadslånga period är något lägre än temperaturen i två konventionellt värmda växthus. Vi kan alltså inte observera lika stor sänkning av lufttemperaturen som brukar uppträda i IR-värmda lokaler. Det har ännu inte undersökts i vilken mån

luft- och växttemperaturerna kan fås att skilja mer och om detta ställer särskilda krav på IR-systemets utformning. Detta kommer att studeras närmare i projektets nästa etapp.

De förändringar som skulle innebära en mindre energianvändning med IR-systemet innefattar höjd verkningsgrad och bättre strålningsfördelning. I den aktuella installationen kan detta främst göras för undervärmen. Uppskattningsvis kan detta ge en ytterligare besparing på 10–15%. Till detta kan komma vinster genom förbättrat inomhusklimat.

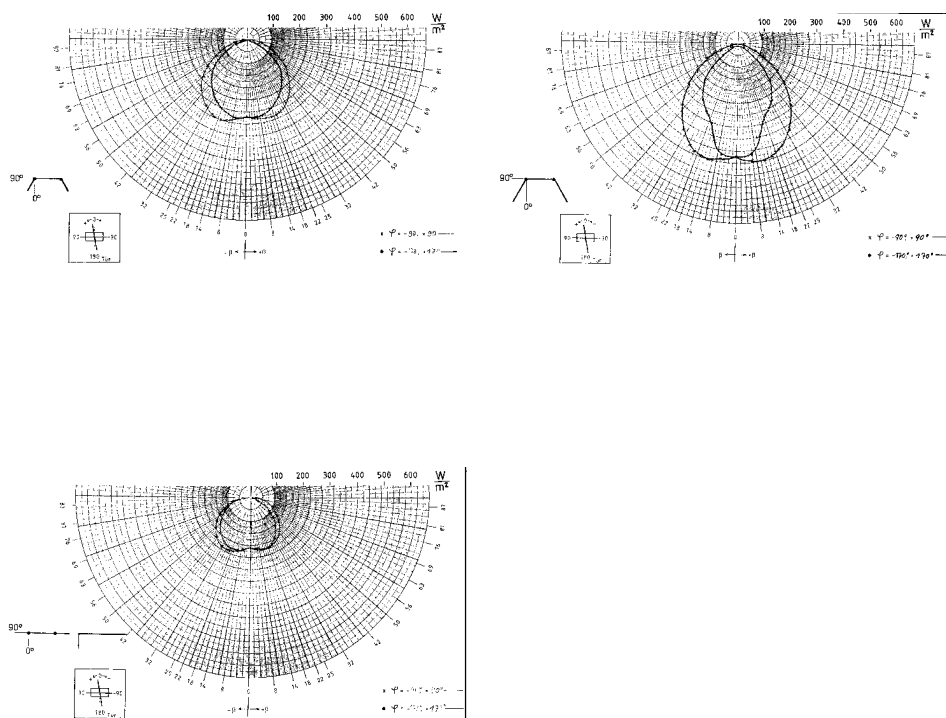
Den vid ett första påseende anmärkningsvärt låga energianvändningen i den nybyggda delen som värms med kondensationspannan förklaras med att ungefär 1/3 av den uppvärmda ytan är arbetsytor med en sänkt temperatur. Temperaturen är här ungefär 5°C lägre än i växthusen. Delar av den nybyggda delen togs i drift först en tid in i mätperioden, vilket förklarar en del av den låga energianvändningen.

2.3.3 Strålningsfördelning

En jämn strålningsfördelning är en förutsättning för en jämn bladtemperatur. Detta medför då också att placeringen av bladtemperaturgivare blir mindre känslig. Både rörets ytttemperatur och reflektorns utformning inverkar här. Inverkan av reflektorns utformning ses i figur 2.15. Diagrammen visar uppmätt strålningsfördelning för en plan strålnare med tre olika reflektorer [2]. Reflektorernas utformning ses till vänster om respektive diagram. Observera att infrastrålarna i detta projekt är rörformade och att diagrammen endast skall ses som en indikation på hur stora skillnader man kan få med olika reflektorutformningar.

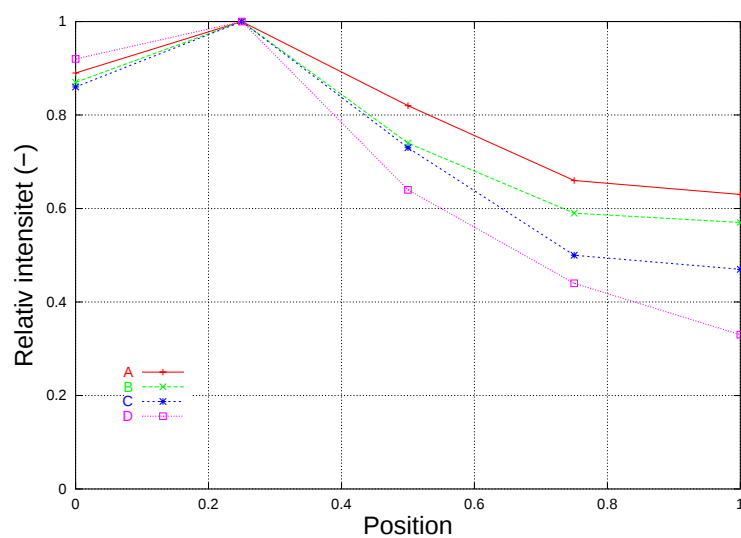
Strålningsröret för övervärmen är monterat tillsammans med den reflektor som leverantören tillhandahåller. Mätningar tidigt under 2000 gav den strålningsbild som ses i figur 2.15. Kurvorna avser fyra olika positioner längs strålningsröret från brännaren (A) fram till nästa brännare (B). Strålningsintensiteten är dimensionslös och refererar till maximivärdet vid varje position. Vi ser att högsta strålningsintensiteten inte är rakt under strålningsröret utan lite utanför på samma sätt som mätningarna i figur 2.15 visar. Intensiteten faller sedan snabbt ut mot bordets kanter. Tillverkaren Systema rekommenderade en högre placering av värmarna, men detta förhindras av växthusets konstruktion. Däremot höjdes reflektorn i förhållande till strålningsröret vilket också skulle ge en jämnare strålningsfördelning.

Reflektorerna för undervärmen är plana, parallella med golvet. Detta är ingen optimal utformning och en del av strålningsvärmén kommer att riktas ut åt sidorna, mot växthusets väggar. Jämfört med den nedre vänstra bilden i figur 2.16 kommer



Figur 2.15: Illustration av hur reflektorutformningen påverkar strålningsbilden. Uppmätta värden med plan strålare [2].

strålningsfördelningen att vara betydligt "bredare" med ett cirkulärt strålningsrör och plan reflektor. Detta innebär att en ej försumbar del av strålningsenergin riskerar att inte träffa bordens undersida. En bättre reflektorutformning är i dagsläget svårt att åstadkomma av praktiska skäl. Det är framför allt avrinningsmöjligheterna för vattnet och möjligheten att gå mellan borden som begränsar användningen av bättre och mer utrymmeskrävande reflektorer. Vid nybyggnation kan man däremot sänka ned reflektorerna för undervärme i marken.



Figur 2.16: Strålningsfördelning längs strålningsröret (övervärme) med reflektorerna i ursprungsutförande. Fyra platser längs strålningsröret visas. Översta linjen indikerar platsen närmast brännaren (A). Positionen på x-axeln avser positioner på bordet under strålningsröret. Längst till vänster i diagrammet återfinns en position nära mittgången och längst till höger nära yttervägen. Mätvärdena på alla positioner har relaterats till det maximala värdet för den platsen. Vi ser att strålningsintensiteten varierar markant på bordet.

Kapitel 3

Växternas utveckling

3.1 Målsättning för den biologiska odlingsprocessen

Målsättningen med projektet var att dimensionera bygga och testa ett gasdrivet IR-uppvärmningssystem i ett experimentväxthus på ca 300 m². Resultaten beträffande växternas rotbildning, tillväxt och utveckling i experimentväxthuset jämfördes med resultat från ett växthus uppvärmd med konventionell vattenburen värme.

3.1.1 Växtslag och odlingsperiod

Försöksperioden med växtmaterial påbörjades i augusti 1999 och avslutades i juni 2000. Växtslagen som undersöktes var julstjärna, *Euphorbia pulcherrima* Klotzsch, 'Peterstar', 'Millennium', 'Galactica', 'Sonora White', pelargon, *Pelargonium x hortorum* L.H.Bailey 'Rokoko', buskmargerit, *Argyranthemum frutescens* (L.) Sch.Bip. 'Dana' och småpetunia *Calibrachoa* Cerv. 'Trailing Million Bells Blue'. Sticklingar av dessa växtslag producerades som småplantor i både IR-växthuset och växthus med konventionell uppvärmning. När småplantorna var saludugliga, det vill säga planteringsmogna flyttades de till SLU's växthus i Alnarp (Institutionen för trädgårdsvetenskap), där de planterades i lämplig krukstorlek och substrat för vidare observation och bedömning som blommande färdigvara.

3.1.2 Provkörning och intrimning av anläggningen ur biologisk synvinkel

De första omgångarna av *Euphorbia pulcherrima* som förökades augusti–september med sticklingar låg till grund för provkörning och intrimning av anläggningen. För att gynna rotutvecklingen hos sticklingar är det viktigt att substrattemperaturen de första dagarna är högre i substratet än i bladen. Under den första perioden är sticklingarna känsliga för uttorkning eftersom de saknar rötter som kan ta upp vatten. Uttorkning motverkas genom att sticklingarna duschas eller dimmas uppifrån med jämna mellanrum till dess de har fått rötter. Vid en förhöjd bladtemperatur innan rotutvecklingen har skett förlorar sticklingarna för mycket vatten och riskerar då att torka ut. För att uppnå den högre substrattemperaturen kördes anläggningen från att sticklingarna hade stuckits fram till rotbildning endast med strålarna under borden, undervärme. För att reglera substrattemperaturen var temperaturgivarna instuckna i Jiffy 7-krukorna. Detta visade sig inte fungera då bordsytorna blev alldeles för varma innan den höga temperaturen hade nått givarna så att dessa reagerade och stängde undervärmen. Problemet avhjälpes genom att givarna placerades i ”ebb- och flodbordsskivornas” fördjupningar, så att de nåddes tidigare av strålningsvärmen och undervärmen stängdes tidigare.

Under den första rotnings- och odlingsperioden visade sig att brännarnas effekter var för höga i början av kulturtiden vilket ledde till att vissa plantor mitt under tuben fick förhöjd bladtemperatur. Detta i kombination med att dyssystemet till ovanbevattningen under en kort period föll ut, försakade att vissa sticklingar torkade ut. Brännarna uppvisade flera driftstörningar. Andra störningar som kunde iakttas och rättas till efterhand var placeringen av IR-bladtemperaturgivaren. Även problem med takluckorna som öppnade sig i försöksväxthuset samtidigt som värmen var i drift resulterade i ett ganska ojämnt odlingsklimat. Två skyfall under hösten gjorde att IR-strålarna under borden nåddes av översvämning, golvreflektorerna flöt omkring i växthuset. I början av försöksperioden kunde plantorna i försökshuset med infravärme endast vattnas uppifrån efter att rötterna hade bildats. I referenshuset vattnades det underifrån med ebb och flodsystem. Vattningen uppifrån hade till följd att julstjärnornas blad uppvisade små kalkfläckar. I figur 3.1 ses julstjärnor från intrimningstiden i IR-huset och referenshuset.



Figur 3.1: Julstjärnor från intrimningsperioden. Plantorna till vänster har vuxit i IR-
huset och de till höger i referenshuset. (Foto: H.K. Schüssler)

3.1.3 Växternas utveckling i jämförelse med konventionell uppvärmning

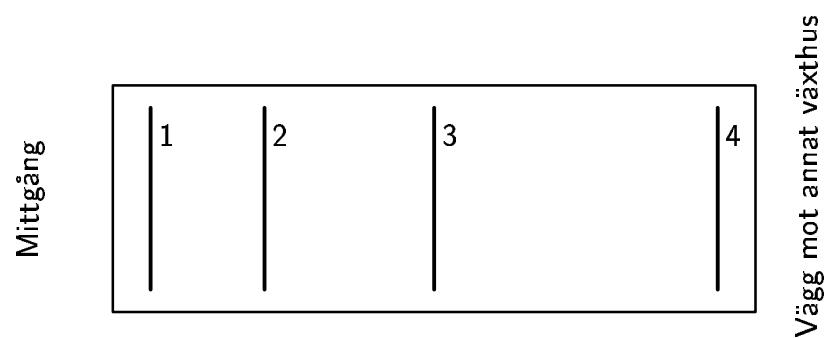
Med tanke på justeringarna av anläggningen som gjordes efterhand får de två omgångarna med julstjärnor betraktas som indikatorplantor. Inkörningsperioden till trots så nådde huvuddelen av plantmaterialet salukvalitet. Det sågs dock tydliga skillnader mellan plantorna som stod centralt placerade på bordsskivorna och i bordens ytterkanter. Plantorna i ytterkantorna var senare i sin utveckling, mest beroende av en lägre temperatur, men även förorsakad av ströljus som nådde julstjärnorna från grannväxthuset i norr. IR-givaren som reglerar bladtemperaturen flyttades närmare under strålaren så att en överhettning av bladen undveks. För att utjämna temperaturskillnaderna på bordsskivorna modifierades, höjdes, reflektorerna för övervärmningen så att värmen från strålningstuberna nådde längre ut till bordskanterna. Vid en jämförelse av plantorna odlade i det konventionellt uppvärmda referensväxthuset och IR-uppvärmda, kantraderna undantagna, visade sig skillnaderna i planthöjd, plantbredd och ovalitet jämförbara utan statistisk skillnad. Utvecklingstiden, (antal dagar till anthesis, blomning) var något längre och tendensen till att fler skott utvecklades, var något större hos plantorna som odlades i IR-växthuset.

3.2 Mätningar och bedömningar

För fortsatt observation och bedömning av plantmaterialet fördes 20 plantor per försöksled till SLU Alnarp (Institutionen för trädgårdsvetenskap) växthus. Plantorna togs dels från referenshuset med konventionell vattenburen värme där sticklingsutvecklingen var jämn över hela bordsskivan, dels från 4 olika bordsplaceringar i det IR-värmda växthuset. Detta gav en god dokumentation på plantornas utveckling beroende på hur långt ifrån IR-strålarna plantorna var situerade, se figur 3.2 Intressanta parametrar som synlig rotmängd och volym grönmassa eller sticklingens längd bedömdes strax innan de rotade sticklingarna planterades i 11 cm krukor med Hasselfors Blomjord + Leca. Den fortsatta odlingen skedde vid en lägsta nattemperatur av 18°C med 2°C dagtillägg i enkelglashus utan skugga. Ingen ytterligare retardering förekom. När plantorna var saludugliga som färdigvara, bedömdes de ytterligare en gång med bland annat hänsyn till planthöjd, plantbredd, antal skott, helhetsintryck eller prydnadsvärde.

Försöksanläggningen besöktes med jämna mellanrum så att relevanta data och företeelser kunde iakttas och noteras. I samband med besöken mättes temperaturen sporadiskt med en Raytek IR-termometer på olika platser där avvikelser kunde förväntas. Vissa av dessa iakttagelser och värden av intresse har tagits med i redogörelsen. När

Bordsskiva i växthus 1 (5,34×1,80m)



Försöksled 1–4: uppvärmning med gasdriven infravärme

1. 30 cm från södra bordskanten mot mittgången av huset
2. mitt över södra IR-värmaren för undervärmen
3. mitt emellan IR-värmaren för undervärmen och rakt under IR-övervärmertuben
4. 30 cm från norra kanten, mot glasvägg till angränsande växthus
5. Referenshus med vattenburen värme

Figur 3.2: Placering på bordsskivan av plantmaterial, som togs ut för bedömning och mätning.

det gäller kontinuerligt insamlade klimatvärden hänvisas till den energitekniska redovisningen.

3.2.1 Pelargon, *Pelargonium x hortorum* L.H.Bailey 'Rokoko'

IR-växthus 1, Referenshus 10

Sticklingsförökning: 10 februari 2000 i Jiffy 7

Första bedömning: 29 februari

Plantering: 29 februari

Slutbedömning: 5 maj

Temperaturinställningar i samband med sticklingsförökningen:
övervärme 20°C, undervärme 21°C.

Växttemperaturerna sammanfattas i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Temperaturer för pelargon, *Pelargonium x hortorum* L.H.Bailey 'Rokoko'

Uppmätt temperatur (°C)	Datum	Infrahuset	Referenshus
		Hus 1	Hus 10
Bladtemperatur	11/2 ^a	23,0	22,0
	18/2	22,0	22,0
	21/2	20,5	20,0
Krukbottentemperatur	11/2 ^a	25,0	23,0
	18/2	25,0	23,0
	21/2	21,0	20,0
Lufttemperatur	11/2	23,0	23,0
	18/2	22,0	22,0

^aUtomhustemperatur +4,5°C

Tekniska anmärkningar, *Pelargonium x hortorum*

Efter duschning sjönk bladtemperaturen från 23°C ned till 20°C. Den 14 februari ökades undervärmen till 23°C för att nå en snabbare upptorkning i substratet. Problem uppstod med att luftluckorna i taket öppnades och att kall utomhusluft strömmade in i hus 1. Den 22 februari uppstår problem med övervärmen "zona 2". Vid bladtemperaturmätningen den 27 februari med Raytektermometer hade den yttre norra bordsmetern 19°C den södra 20°C och mitt på bordet 23°C.

Biologiska observationer, *Pelargonium x hortorum*

Åtta dagar efter sticklingsförökningen den 18 februari har samtliga sticklingar i både IR- och referenshuset bildat callus¹. Vissa sticklingar har välutvecklade rötter oberoende var de stått. Ojämnheterna är beroende på ojämnt sticklingsmaterial. Sticklingar med små och få blad behöver vattnas tidigare i IR-huset då Jiffy 7-krukan torkar ut snabbare vid direkt bestrålning av substratet. Sticklingar med större blad och få rötter skyddar substratet för uttorkning. När sticklingarna hade välutvecklade rötter torkade som förväntat Jiffy 7-krukan snabbare om bladvolymen var större. Undervärmen 23°C bibehölls tills tillräckligt många rötter hade bildats. Den 21 februari upphörde dimbevattningen. Vatten gavs endast med slang eller underbevattning. Börvärdet på bladtemperaturen ställdes till 20,5°C och undervärmen till 21,0°C. Samtliga plantor vattnades med CCC den 23 februari. Den 24 februari hade de flesta sticklingarna synliga rotspetsar utanför Jiffy 7-krukorna och var leveransdugliga både i hus 1 och 10. Vid en okulär jämförelse mellan de båda husen totalt sågs endast svaga skillnader med undantag för de sticklingar som stod vid norra bordskanten och 0,5 m inåt söder, dessa var senare i rotutvecklingen. Ojämnheterna som från början fanns i sticklingsmaterialet kvarstod delvis. Vid temperaturmätningen i IR-växthuset låg substrattemperaturen i krukorna som stod i de yttersta 50–70 cm räknat från bordsgaveln 2–3°C lägre (21°C) än för övriga krukor (23–24°C). I referenshuset 10 var den skillnaden endast 1°C. Den 25 februari sänktes bladtemperaturen till 18°C, substrattemperaturen till 16°C och lufttemperaturen till 19°C. Den 27 februari levererades de första sticklingarna.

Vid planteringen av de rotade sticklingarna visade det sig att sticklingarna från det konventionellt uppvärmda referensväxthuset hade fler synliga rötter och att rotutvecklingen gick något snabbare, två till fyra dagar, än i IR-växthuset. Senast i utvecklingen var plantorna i försöksled 4 som stod längst från strålarna. Dessa sticklingar var även kortast medan de som var placerade mitt över undervärmestrålaren sträckte sig mest. Ojämnheten på borden i IR-växthuset bidrog med att de rotade sticklingarna inte nådde samma utveckling samtidigt, vilket få ses som en nackdel. För en småplantsproducent är det viktigt, att hela växtomgången blir färdigt samtidigt och att växthuset kan tömmas helst vid samma tillfälle, utan att behöva flytta samman plantor med sen utveckling i väntan på att de skall bli salufärdiga. Trots de ojämnheter som fanns i småplantstadiet så blev samtliga plantor fullt saludugliga som färdigvara. Skillnaderna i tidighet, planthöjd, plantbredd, antalet skott och helhetsintryck jämnades ut när plantorna kom i blomning, se diagrammen i figur 3.4.

¹Valkbildning vid sticklingens snittyta. Detta sker strax före rotbildningen.



Figur 3.3: Ojämnheter i utgångsmaterialet av pelargoniasticklingar. Stora sticklingar från hus 1 och 10, små sticklingar från hus 1 och 10. Sticklingen till vänster i respektive par kommer från hus 1 (IR). (Foto: H.K. Schüssler)

3.2.2 Småpetunia Calibrachoa Cerv. 'Trailing Million Bells Blue'

IR-växthus 1, Referenshus 5a, bord 20

Sticklingsförökning: v. 12, 23 mars 2000 i Ellegaard 3 cm

Första bedömning: v. 15, 11 april

Plantering: v. 15, 12 april, en planta per 11 cm kruka, SLUs växthus i Alnarp

Lätt toppning: v. 16, 19 april

Slutbedömning: v. 21, 22 maj som färdigvara

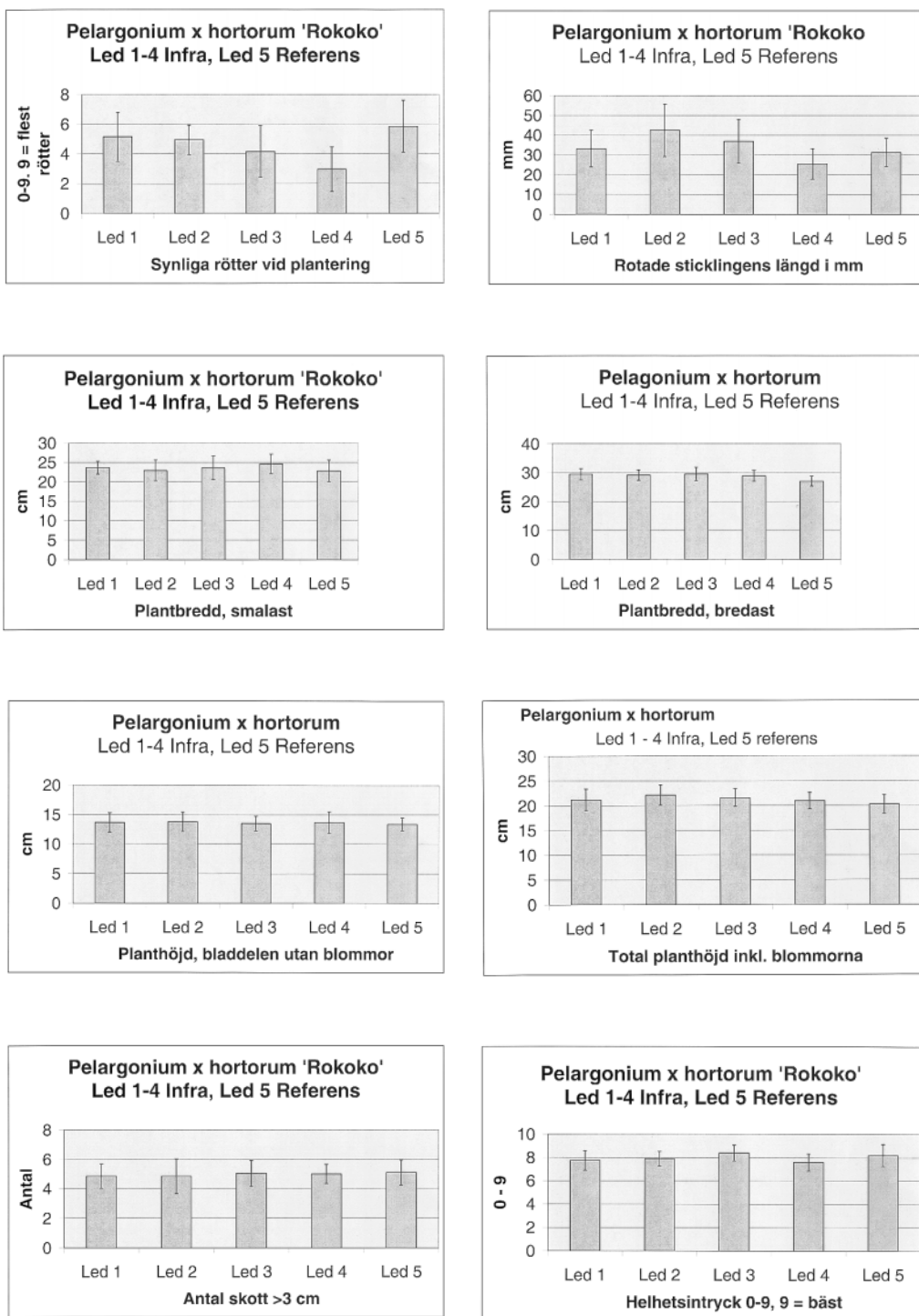
Temperaturinställningar i samband med sticklingsförökningen:

övervärme 23,5°C, undervärme 24,0°C

Den 7 april sänktes temperaturen till 19°C blad-, 20,5°C luft-, och 15,0°C substrattemperatur. Temperaturerna sammanfattas i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Temperaturer för Småpetunia *Calibrachoa* Cerv. 'Trailing Million Bells Blue'

Uppmätt temperatur (°C)	Infra-huset	Referenshus 5a
den 10 april, kl 13.50		
Bladtemperatur	20,5	20,5
Lufttemperatur	22,0	22,0
Krukbottentemperatur (substrat)	21,2	21,5



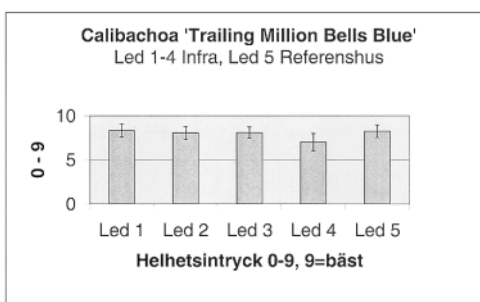
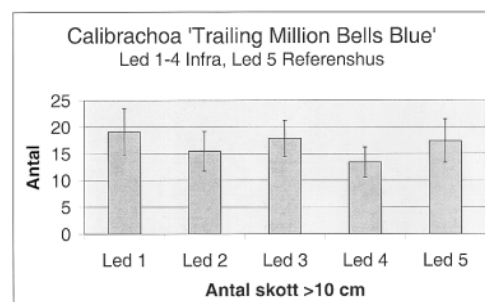
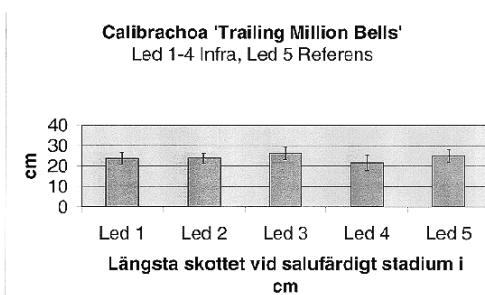
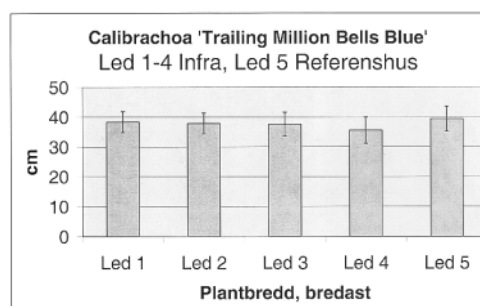
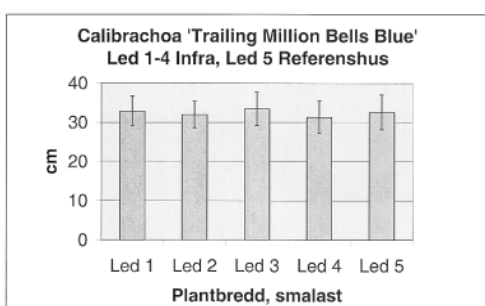
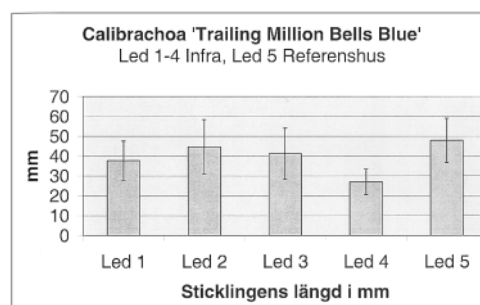
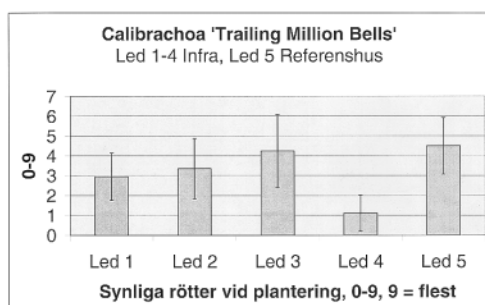
Figur 3.4: Tillväxtresultat för pelargon, *Pelargonium x hortorum* L.H.Bailey 'Rokoko'

Tekniska anmärkningar, *Calibrachoa* Cerv.

Reflektorerna på de över borden placerade stråltuberna (ovanvärmen) höjdes omkring den 17 mars för att få en bättre värmefördelning ut till bordskanterna. Under förökningsperioden fram till slutet av mars körde man mest med strålarna under borden för att få en bättre luftväxling och upptorkning i syfte att motverka svampangrepp.

Biologiska observationer, *Calibrachoa* Cerv.

Calibrachoa är ett mera värmekrävande växtslag som kan anses vara en god indikatorväxt för ojämnheter i klimatet. Den är även besvärligare som stickling då den har svårare att bilda rötter. Vid de sporadiska temperaturmätningarna var klimatföringen i IR-huset och referenshus 5 mycket överensstämmande. Sjutton dagar efter förökningsdatum hade de flesta plantor synliga rötter utanför Ellegaardskrukan och skottlängden var omkring 4 cm i båda växthusen. Ett stort undantag var plantorna som stod vid norra bordskanten och 50 cm inåt bordet i det IR-uppvärmda huset. Dessa plantor var mycket senare i sin utveckling och vissa av dem hade inte bildat några rötter alls. Generellt kan sägas att småplantorna i huset med konventionell uppvärmning hade en något jämnare utveckling och bladen hade en mörkgrönare färg än i IR-huset. IR-husets led 3 var fullt jämförbar med plantorna från referenshuset. Tendensen att sticklingarna på de yttersta 50 cm från norra bordskanten blev senare och sämre i sin utveckling upprepades för tredje gången. Vid bedömning och mätning av plantorna i vecka 21 hade de enskilda plantorna 15–20 utslagna blommor. Samtliga plantor med undantag av några från led 4 blev fullt saludugliga och hade ett högt prydnadsvärde. Plantorna i led 4 hade för få rötter vid planteringstillfället och några få plantor dog på grund av detta. Med undantag från plantorna i led 4, låg skillnaderna beträffande skottlängd, plantbredd, antal skott och helhetsintryck inom felmarginalen. Det visade sig tillräckligt och lagom med en planta per 11 cm kruka för att producera en god handelsvara oberoende om sticklingarna hade producerats med IR- eller konventionell vattenburen värme. Växtresultaten återfinns i figur 3.5.



Figur 3.5: Tillväxtresultat för Småpetunia *Calibrachoa* Cerv. 'Trailing Million Bells Blue'

3.2.3 Buskmargerit, *Argyranthemum frutescens* (L.) Sch.Bip. 'Dana'

IR-växthus 1, Referensväxthus 5b

Sticklingsförökning: v. 12, 24 mars 2000

Första bedömning: v. 15, 11 april

Plantering: v. 15, 13 april, en planta per 11 cm kruka, SLUs växthus i Alnarp

Slutbedömning: v. 21, 23 maj

Temperaturinställningar i samband med sticklingsförökningen:

Övervärme 23,5°C, undervärme 24,0°C

Den 7 april sänktes temperaturen till 19°C blad-, 20,5°C luft-, och 15,0°C substrattemperatur. Temperaturerna sammanfattas i tabell 3.3.

Tabell 3.3: Uppmätta temperaturer för Buskmargerit, *Argyranthemum frutescens* (L.) Sch.Bip. 'Dana'

Uppmätt temperatur (°C) den 10 april, kl 14.00	Infra-huset	Referenshus 5b
Bladtemperatur	20,5	20,5
Lufttemperatur	22,0	21,0
Krukbottentemperatur (substrat)	21,2	21,5

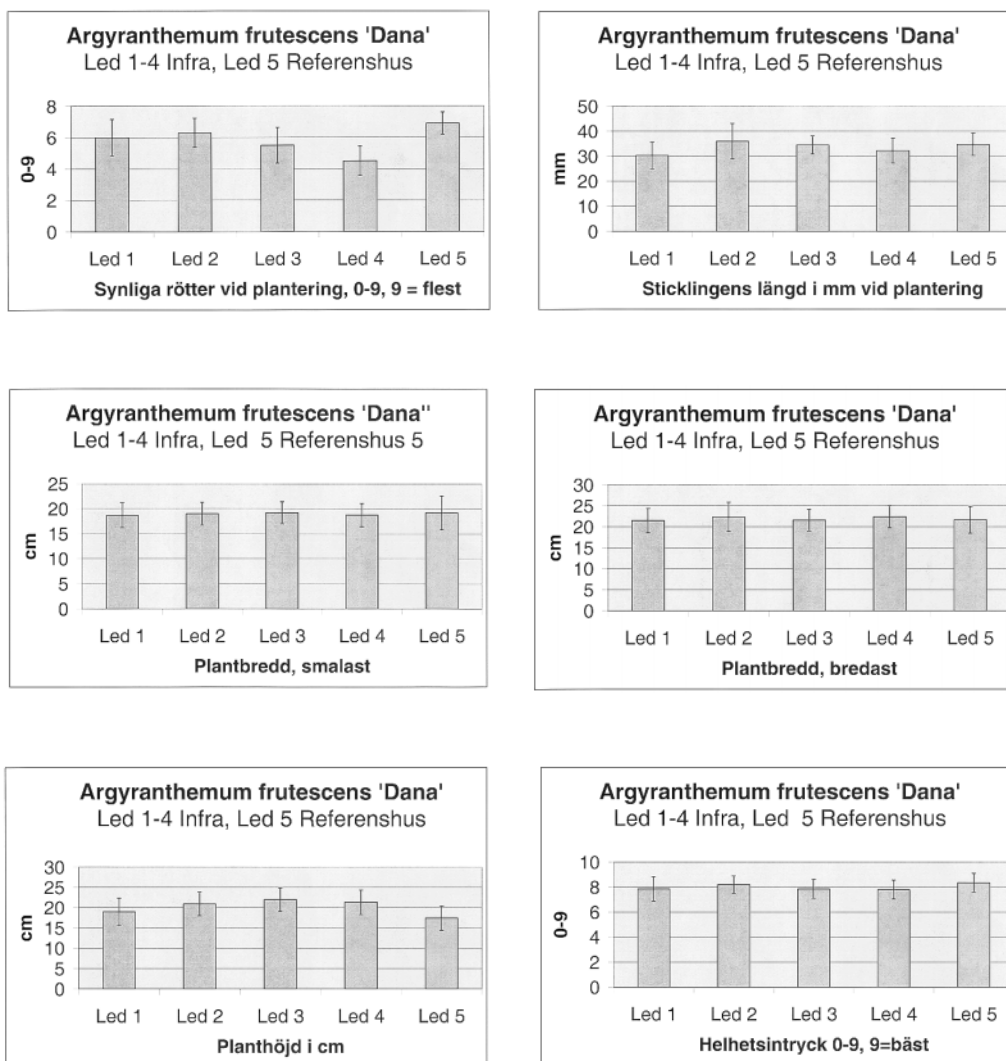
Tekniska anmärkningar, *Argyranthemum frutescens* (L.) Sch.Bip.

Reflektorerna på de över borden placerade stråltuberna höjdes omkring den 17 mars för att få en bättre värmefördelning ut till bordskanterna. Under förökningsperioden fram till slutet av mars körde man mest med strålarna under borden för att få en bättre luftväxling och upptorkning i syfte att motverka svampangrepp. Sticklingarna av buskmargerit och småpetunia rotades samtidigt i IR-huset.

Biologiska observationer, *Argyranthemum frutescens* (L.) Sch.Bip.

Argyranthemum är en av de mest tåliga växterna, sticklingarna rotar sig relativt lätt och har en god tillväxt i ett brett temperaturspektrum. Femton dagar efter sticklingsförökningen hade småplantorna en mycket god rotutveckling, i synnerhet de i referenshuset. Detta till trots hade plantorna från led 4 färre synliga rotspetsar. Den 23 maj, två månader efter sticklingsförökningen är samtliga plantor saludugliga och

har god salukvalitet. Plantorna från referenshuset 5 var en aning jämnare än de från det IR-uppvärmda huset. Detta kan eventuellt hänga samman med en annan dosering av tillväxtretarderande medel. Resultaten sammanfattas i figur 3.6.



Figur 3.6: Tillväxtresultat för buskmargerit, *Argyranthemum frutescens* (L.) Sch.Bip. 'Dana'

Kapitel 4

Diskussion och slutsatser

Infraröd strålningsvärme i samband med rotning av sticklingar kräver att man är synnerligen observant på temperaturfördelningen i växthuset och sticklingarnas reaktion på värme/fukt-förhållandet. Man kan utgå från att bladtemperaturstyrd IR-strålningsvärme utsätter sticklingarna för en mera "stötvis" och "ryckig" bladtemperatur än konventionell jämn vattenburen värme. Speciellt gäller detta om plantorna strålas med övervärm. Detta beror på att IR-strålarna har en mycket högre arbetstemperatur än varmvattenrören i ett konventionellt växthus.

Man kan därför utgå från att vattenångtrycksmåtnadsdeficitet (torkkraften) kring sticklingarna stundvis blir ganska hög. Om sticklingarna i detta skede inte hålles fuktiga genom dimning, torkar de snabbt ut och vissnar. En synnerligen pålitlig dimmanläggning är därför en förutsättning för att man kan producera småplantor under infravärme. Genom att i början av sticklingarnas rottningsperiod värma sticklingssubstratet med IR-strålare placerade under borden minskar risken att bladtemperaturen blir för hög. Bordsskivan, eventuella bevattningsmattor och substratet som sticklingarna står i, verkar då buffrande för strålningsvärm.

Detta till trots, har under denna försöksperiod de flesta sticklingarna givit upphov till användbara småplantor och fullt saluduglig färdigvara. Mycket större skillnader beträffande rötternas utveckling och sticklingarnas kvalitet mellan IR-uppvärmning och konventionell vattenburen värme hade förväntats. Att skillnaderna blev så förhållandevis små kan kanske förklaras av den relativt varma vintern och våren 1999/2000. En annan faktor som kan ha inverkat utjämnande på växthusklimatet är assimilationsbelysningen i både IR-växthuset och referensväxthuset. Man kan anta att temperaturskillnaderna hade varit mera markanta utan denna belysning. Den är dock en förutsättning för att kunna producera en god småplantskvalitet.

Litteraturförteckning

- [1] Rietveld, F.A.J., *Toepassing van gasgestookte donkere stralers in de glastuinbouw*, GAS (NL), augusti 1980, sid. 411–413
- [2] Lüth, E., *Erstellung der experimentellen und theoretischen Grundlagen zur optimalen Auslegung von Strahlungsheizsystemen für Industriehallen bezüglich Energieverbrauch, Wirtschaftlichkeit und thermischen Komfort*, Gaswärme-Institut, Essen, 1986



SE-205 09 MALMÖ • TEL 040-24 43 10 • FAX 040-24 43 14
Hemsida www.sgc.se • epost info@sgc.se
