

LÖNSAMHETSKALKYL FÖR KYL- OCH AVFUKTNINGSMETODER I VÄXTHUS

Del 4 av 4. Rapportserie från projektet AKTIV

Mats Borg





LÖNSAMHETSKALKYL FÖR KYL- OCH AVFUKTNINGSMETODER I VÄXTHUS

DEL 4 AV 4. RAPPORTSERIE FRÅN PROJEKTET AKTIV

Mats Borg

2013-11-06



Närings-, trafik- och
miljöcentralen



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling:
Europa investerar i landsbygdsområden

FINANSIERING

Projektet ”Avfuktning- och kylteknik för växthus” (AKTIV) har finansierats av NTM-centralen med medel från Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling. Övriga finansiärer är Österbottens svenska producentförbund, Närpes trädgårdsproducenter samt Stiftelsen Svenska Småbruk och Egna Hems undervisningsfond.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
2	BERÄKNING AV BEHOV OCH SPECIFIKA FÖRLUSTER	2
2.1	VÄRMEBEHOV OCH KYLBEHOV	2
2.2	FUKTFLÖDEN	6
2.3	CO ₂ -FLÖDEN	10
3	LÖNSAMHETSBERÄKNINGAR	14
3.1	ALLMÄNT OM BERÄKNINGARNA	14
3.2	KYLMETODER	14
3.3	AVFUKTNINGSMETODER	15
4	SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION	20
5	LITTERATURFÖRTECKNING	21

1 INLEDNING

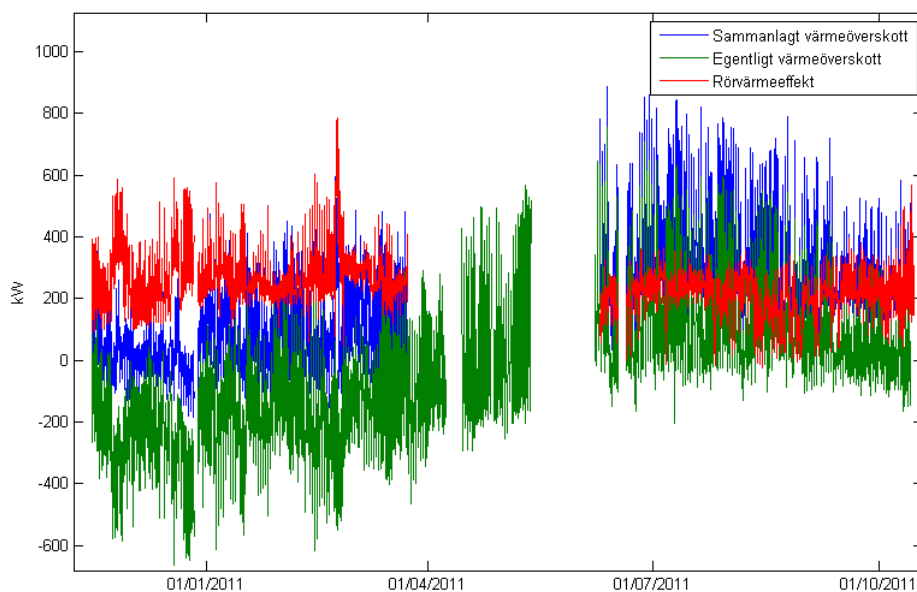
I projektet AKTIV har målsättningen varit att kartlägga alternativa lösningar, ta fram data för kyl- och avfuktningens behov i ett växthus, beräkna de energimässiga konsekvenserna av alternativa lösningar och göra en totalekonomisk bedömning av lönsamheten för de alternativa lösningarna. För att få underlag för en sådan analys inhyrdes och användes en kyl- och avfuktningssystem i ett växthus i Övermark under två års tid. Under denna tid gjordes mätningar kring denna anläggningens funktion och mer generellt av de centrala storheterna som behövs för att analysera växthusklimat och energiflöden. Den inhyrda anläggningen levererades av Novarbo (www.novarbo.fi).

Resultatet redovisas i serie bestående av fyra rapporter, vilka kommer att publiceras i Novias publikationsserie år 2015. I den första rapporten görs en översikt av tillgängliga metoder och tekniska lösningar för kylning och avfuktning. I den andra rapporten görs en utvärdering av den undersökta kyl- och avfuktningssystemet. I den tredje rapporten beskrivs teori kring energimodellering av växthus och resultaten av en energimodellering gjord för det undersökta växthuset. I denna rapport, den fjärde i serien, görs en utvärdering av lönsamheten hos olika kyl- och avfuktningssystem. Lönsamhetskalkylen baseras på den energimodellering som redovisats i den tredje rapporten.

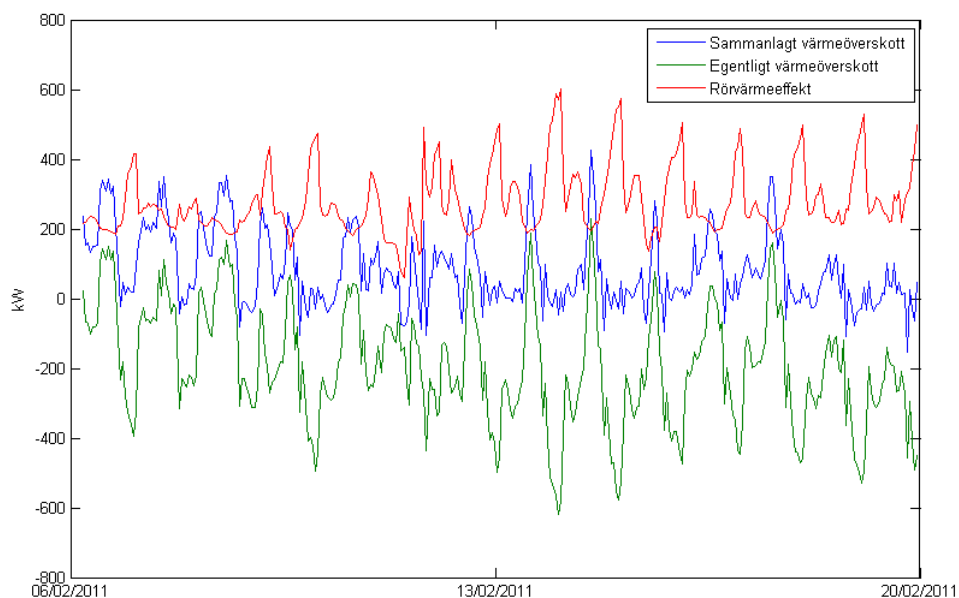
2 BERÄKNING AV BEHOV OCH SPECIFIKA FÖRLUSTER

2.1 VÄRMEBEHOV OCH KYLBEHOV

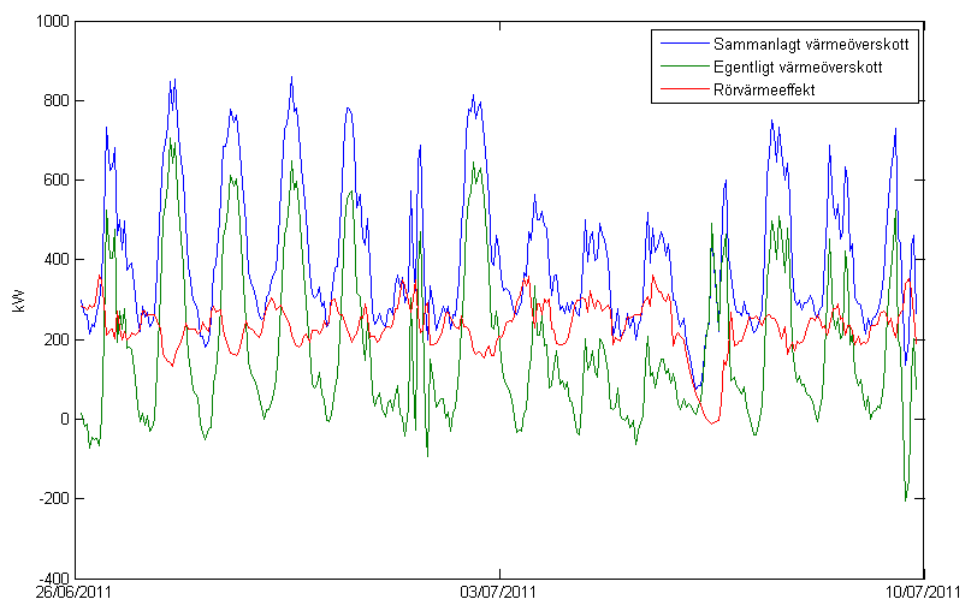
I del 3 i denna rapportserie presenteras en energimodellering för växthuset Norrås. Utgående från energimodell A kan man räkna ut växthuset värmeöverskott före värmeförsel i form av rörvärme och värmeförsel i form av ventilation. Det beräknade värmeöverskottet visas i Figur 1–Figur 3. I figurerna visas även tillförd värmeeffekt i form av rörvärme samt det totala värmeöverskottet när även rörvärmeeffekten är inkluderad. Detta totala värmeöverskott motsvarar ventilationsbehovet. Det totala värmeöverskottet borde i princip alltid vara minst noll. I figurerna ses att mindre negativa värden också förekommer, men de är av samma storleksordning som modellfelet för modellen och bör betraktas som brus. Något egentligt totalt värmeunderskott förekommer alltså inte.



Figur 1 Egentligt värmeöverskott (växthusets värmebalans exklusive värmeförsel och ventilation), sammanlagt värmeöverskott (växthusets värmebalans exklusive ventilation) och rörvärmeeffekt under ett knappt år (15.11.2010–14.10.2011).



Figur 2 Egentligt värmeöverskott (växthusets värmebalans exklusive värmeförlust och ventilation), sammanlagt värmeöverskott (växthusets värmebalans exklusive ventilation) och rörvärmeeffekt under två veckor i februari 2011.



Figur 3 Egentligt värmeöverskott (växthusets värmebalans exklusive värmeförlust och ventilation), sammanlagt värmeöverskott (växthusets värmebalans exklusive ventilation) och rörvärmeeffekt under två veckor i juni-juli 2011.

Av figurerna framgår att den tillförda rörvärmeeffekten vintertid i betydande grad behövs för att kompensera ett egentligt värmeunderskott. Belysningseffekten och den instrålade effekten räcker alltså inte till för att kompensera värmeförlusterna via höljet. Enligt Figur 1 är sammanlagda värmeöverskottet i december 2010 nära noll mest hela tiden och alltså används värmen till att täcka förluster via höljet. I februari 2011 (Figur 2) förekommer både perioder då rörvärmeeffekten i sin helhet används för att kompensera förluster via höljet och perioder då värme tillförs trots att det inte finns ett egentligt värmebehov. Den "onödiga" värmeförlusten måste då ventileras bort. I juli 2011 (Figur 3) är i stort sett all värmeförlust "onödig".

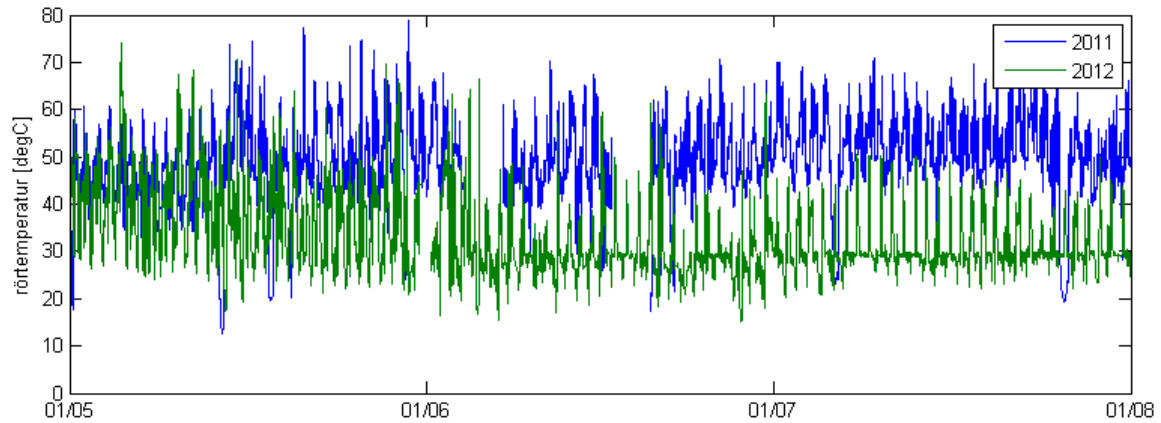
De möjliga orsakerna till den "onödiga" värmeförlusten är

- 1) att takluckorna öppnats p.g.a. för hög fukthalt och ett ökat värmebehov uppkommer när kallare luft strömmar in
- 2) att värme tillförs p.g.a. att värmerören håller en temperatur som överstiger det som skulle behövas ur värmebalanssynpunkt och den extra värmeförlusten då ger upphov till ett ventilationsbehov.

Rörtemperaturen styrs primärt av värmebehovet, dvs. regleras till den nivå som behövs för att upprätthålla önskad temperatur. Rörtemperaturen överstiger denna nivå när värmebehovet är lågt (eller det finns ett värmeöverskott) och man ändå håller en viss minimirörtemperatur. Syftet med denna minimirörtemperatur är att driva luftcirkulationen i växthuset och därmed få en bättre värme- och luftfuktighetsprofil. En annan orsak till att rörtemperaturen kan överstiga den ur värmebalanssynpunkt nödvändiga är om luftfuktigheten i växthuset är mycket hög. Luftfuktigheten regleras i första hand genom lucköppning. Om luftfuktigheten trots lucköppning går över en viss nivå kan lucköppningen kompletteras med ökad rörtemperatur.

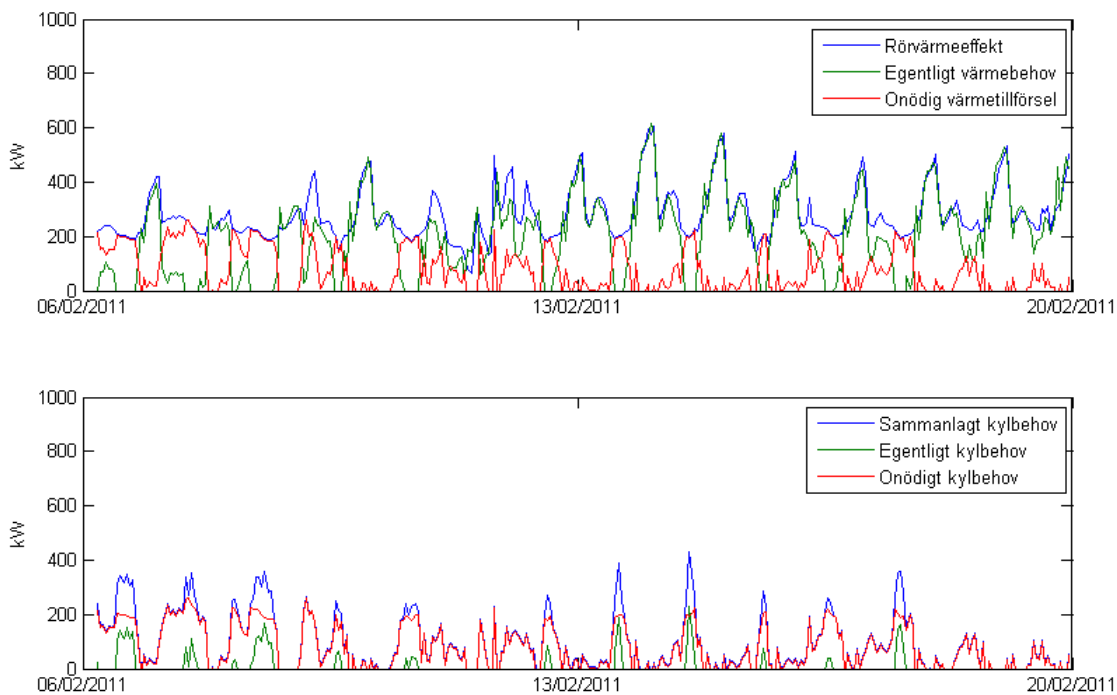
Både när "onödig" värme tillförs p.g.a. att luckorna öppnats av hög fuktighet och när "onödig" värme tillförs p.g.a. att värmerören håller en temperatur över den "nödvändiga" handlar det om en extra värmeförlust som försvinner genom ventilation. Skillnaden är att i det förra fallet driver ventilationen värmeförlusten, i det senare vice versa. I vardera fallet är värmeförlusten onödig i den bemärkelsen att den inte behövs för att kompensera oundvikliga värmeförluster (genom höljet och genom läckage). Den "onödiga" värmeförlusten tjänar naturligtvis ett fukthanterings syfte, men fukthanteringen kunde i princip skötas med andra metoder. Luftcirkulationen kunde skötas t.ex. med fläktar och fuktöverskottet kunde avlägsnas med en avfuktningssystem.

Den stora värmeförlusten under sommaren 2011 förefaller vara onödig i egentlig bemärkelse. En jämförelse av rörtemperaturen och värmeförlusten sommartid under olika år visar att rörtemperaturen och värmeförlusten sommaren 2011 låg på en exceptionellt hög nivå, en nivå som knappast är motiverad ur fukthanterings synpunkt. Figur 4 visar rörtemperaturen under perioden 1.5–31.7 år 2011 och år 2012. Av figuren framgår klart att rörtemperaturen sommaren 2011 låg mycket högre än år 2012. Även jämförelse av historiska data över energiförbrukning under somrarna 2008–2011 visar att energiförbrukningen sommaren 2011 var ovanligt hög. En trolig orsak till den höga rörtemperaturen är att rörtemperaturen varit inställd att öka vid hög luftfuktighet. Den ena fuktsensorn i växthusets regleringssystem registrerade hela sommaren 2011 en för hög fuktighet. Den skenbart höga fukthalten kan därför ha inneburit att rörtemperaturen konstant hölls på en hög nivå. Denna höga rörtemperatur var i själva verket helt onödig största delen av tiden.

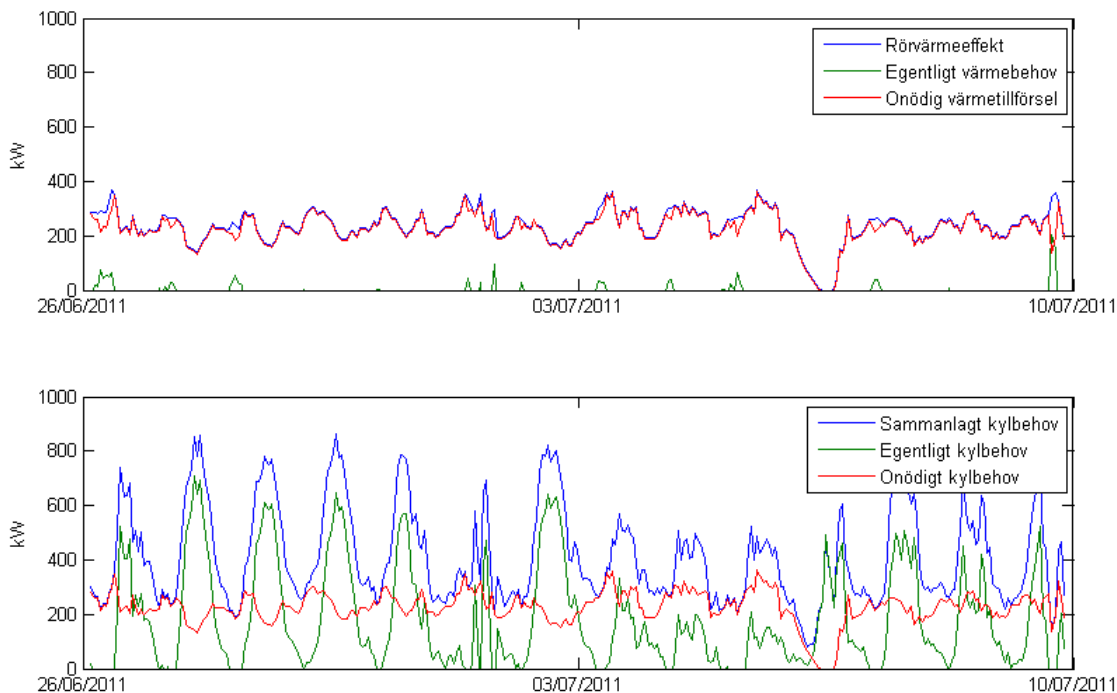


Figur 4 Rörtemperatur under perioden 1.5–31.7 år 2011 och 2012. År 2012 låg rörtemperaturen sommartid mestadels på en miniminivå om 30 grader, medan den sommaren 2011 varierade kring 50 grader, vilket är en anmärkningsvärt hög nivå.

Utgående från det beräknade egentliga värmeöverskottet (vilket är ett värmeunderskott när det antar negativa värden) kan man beräkna uppvärmningsbehovet och kylbehovet. Figur 5 och Figur 6 visar dessa för samma tidsperioder som visats i Figur 2 och Figur 3.



Figur 5 Värmebehov (övre grafen) och kylbehov (nedre grafen) under två veckor i februari 2011.



Figur 6 Värmebehov (övre grafen) och kylbehov (nedre grafen) under två veckor i juli 2011.

Den genomsnittliga totala värmeeffekten för hela tidsperioden i Figur 1, nästan ett år, är 217 kW. Det genomsnittliga egentliga värmebehovet är 100 kW och den "onödiga" värmeförseln således 117 kW. Man kan alltså konstatera att av den tillförda värmemängden är 59 % relaterad till fukthantering. Som redan påpekats var rörtemperaturen under sommarmånaderna 2011 ovanligt hög och den "onödiga" värmeförseln på årsbasis var därmed också ovanligt hög. Det är svårt att med säkerhet säga på vilken nivå ett normalt värde ligger. En jämförelse med samma period ett år tidigare ger en genomsnittlig värmeeffekt om 161 kW. Om man utgår från att egentliga värmebehovet är lika stort skulle den "onödiga" värmeförseln vara 61 kW. Under perioden 15.11.2010–15.3.2012, när värmeförseln fortfarande kan betraktas som (för säsongen) mer typisk, är genomsnittliga totala värmeeffekten 271 kW, varav egentligt värmebehov 194 kW och "onödig" värmeförsel 77 kW. Det bör naturligtvis påpekas att dessa värden är beräknade för ett växthus med belysning. Utan belysning, som i det undersökta växthuset ger ett energitillskott om cirka 460 kW, skulle det totala värmebehovet vara större och det egentliga värmebehovet utgöra en större andel av totala värmebehovet.

Totala kylbehovet uppgår som högst till drygt 800 kW och det egentliga kylbehovet till drygt 600 kW. För kylbehovets del är årstidsskillnaderna mycket stora. För perioden juli–augusti 2011 är genomsnittliga totala kylbehovet 383 kW och genomsnittliga egentliga kylbehovet 162 kW. För december 2010 är motsvarande siffror 30 kW respektive 0 kW.

2.2 FUKTFLÖDEN

Utgående från det sammanlagda värmeöverskottet som beräknades i föregående avsnitt är det möjligt att beräkna ventilationsbehovet. Det ventilerade luftflödet beräknas då som kvoten av värmeöverskottet och entalpitetsdifferensen mellan inneluft och uteluft. I detta fall används i beräkningen inneluftens tillstånd ovanför plantorna. Det på detta vis beräknade luftflödet visas för en period om ett knappt år i Figur 7 samt för en vinterperiod i Figur 8 och en sommarperiod i Figur 9.

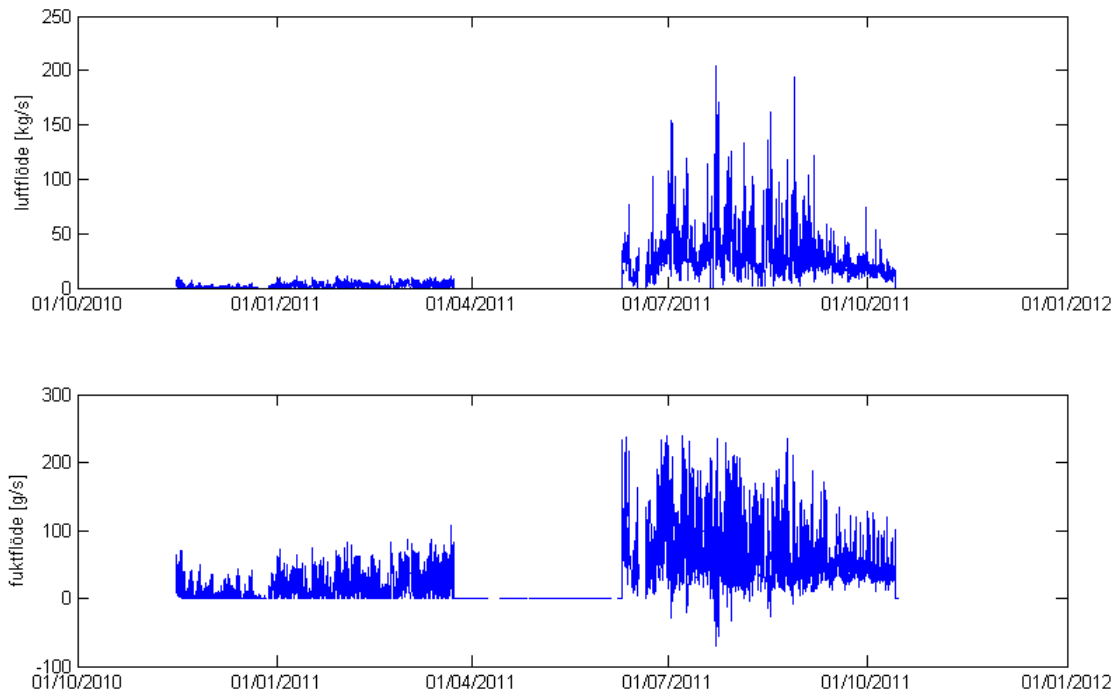
Utgående från luftflödet kan man också beräkna nettofuktflödet som ventilationen medför. Det beräknas genom att multiplicera luftflödet med skillnaden i vatteninnehåll mellan inneluft och uteluft. Resultaten av denna beräkning visas också i Figur 7–Figur 9.

Av Figur 8 framgår att kylbehov (värmeöverskott), luftflöde och fuktflöde under vintern (februari i figuren) följs åt tidsmässigt. Det beror på att det vintertid är en stor skillnad i entalpi mellan inneluften och uteluften och likaså mellan vatteninnehåll i inneluften och uteluften. Dessa differenser är förhållandevis konstanta över tid och mellan dag och natt. Lucköppningen korrelerar mycket väl med modellerat luftflöde. Korrelationen är anmärkningsvärt god med tanke på att luftflödet är en modellerad variabel medan lucköppningen är en uppmätt variabel. Den tidsperiod som grafen omfattar var en sådan då kyl/avfuktningssystemet var ur bruk.

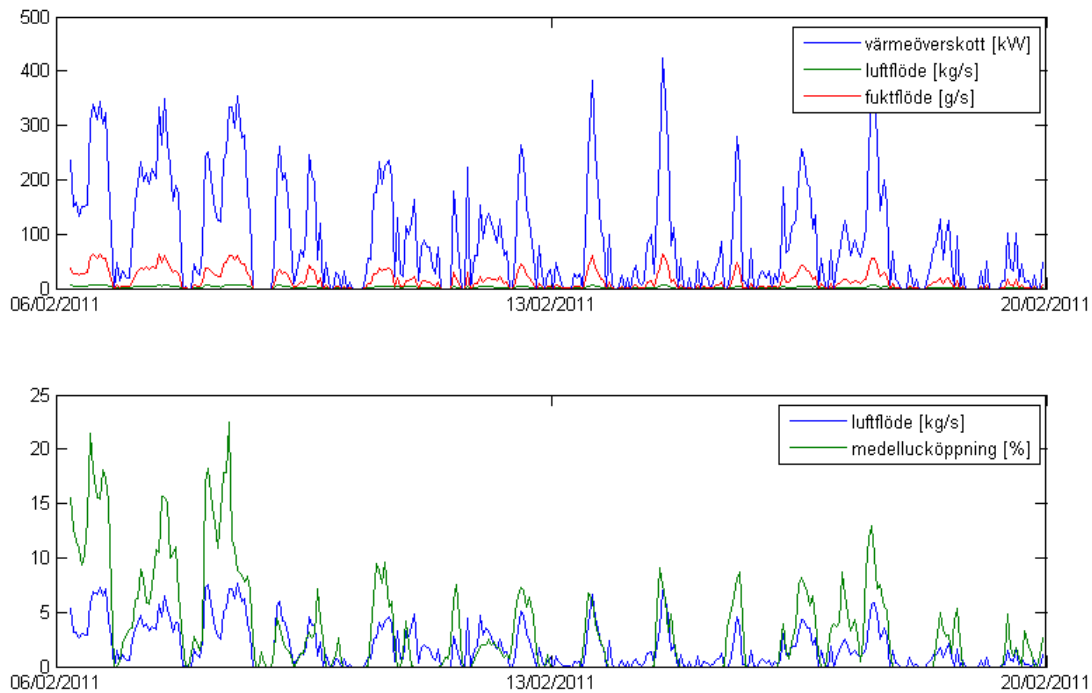
Av Figur 9 framgår att även sommartid (juli) finns en rätt god tidsmässig korrelation mellan fuktflöde och kylbehov. Däremot inträffar stora luftflöden delvis vid andra tidpunkter än då det är stort kylbehov. T.ex. behövs 2–4,7 stora luftflöden nattetid. Orsaken till denna tidsmässiga antikorrelation mellan kylbehov och luftflöde är att temperaturdifferensen mellan växthusluft och uteluft nattetid ibland är väldigt låg. Det krävs då mycket stora luftflöden för att åstadkomma en tillräcklig kylning.

Av Figur 9 framgår även att lucköppningen tidsmässigt överensstämmer väl med det kalkylerade luftflödet. Nivåmässigt finns emellertid betydande skillnader. Dessa torde bero bl.a. på skillnader i vindhastighet och vindriktning. Vid låga vindhastigheter krävs mycket stora lucköppningar för att uppnå en luftomsättning som uppnås med moderat lucköppning vid kraftigare vind. (Vintertid drivs luftutbytet i högre grad av densitetsskillnader. Vinden spelar alltså relativt sett mindre roll och därför ser man inte lika stor variation i Figur 8 som i Figur 9.)

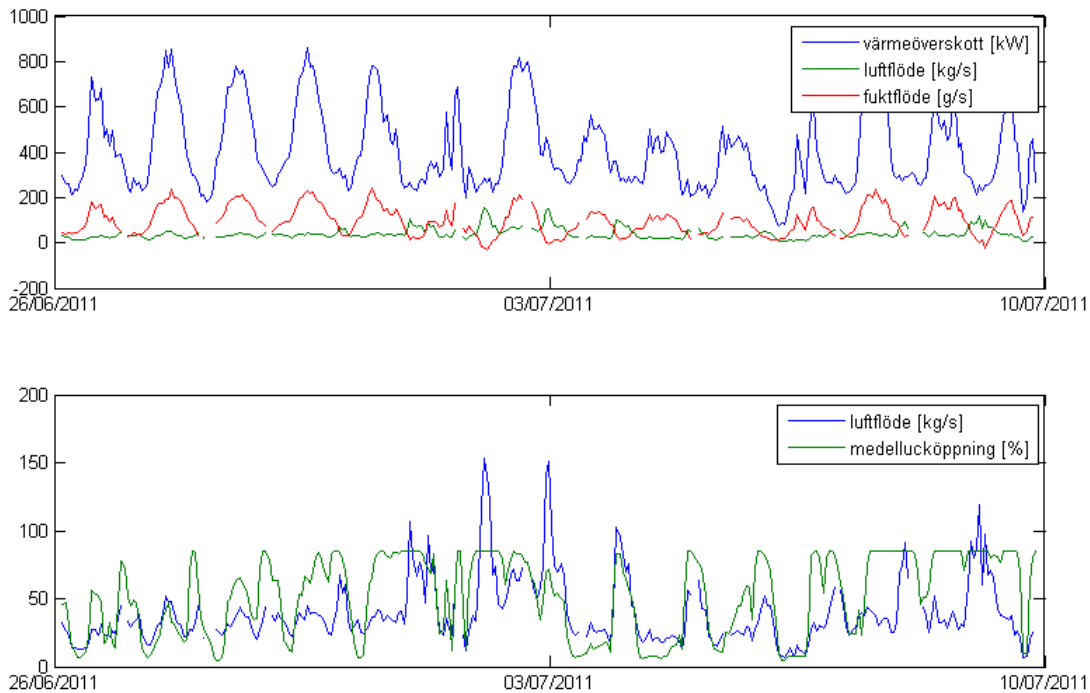
Under vinterperioden 15.11.2010–15.3.2011 var enligt modelleringen det genomsnittliga fuktflödet via ventilation 16 g/s (1380 kg/dygn) medan det under juli 2011 var 83 g/s (7170 kg/dygn). Enligt bevattningsberäkningarna är värdena för motsvarande tidsperioder 6310 kg/dygn respektive 5980 kg/dygn. Det är naturligtvis inte fysikaliskt möjligt att den bortventilerade fuktmängden skulle vara större än nettobevattningen. Under juli månad är kondensationen liten och eftersom lucköppningarna är stora är läckagets relativa andel av luftombytet också mycket liten. Man kan således utgå från att det allra mesta av bevattningsvattnet faktiskt försvinner via ventilation. Man skulle alltså förvänta sig att bortventilerad fuktmängd och bevattningsmängd är ungefär lika stora, vilket man med beaktande av modellosäkerheten och mätosäkerheten för fukthalt och entalpi också kan säga att de är. Eftersom det ena värdet är modellerat på basen av antagandet att all kylning sker via ventilation, dvs. att det inte finns någon avfuktningssystem, och det andra värdet är uppmätt i en situation där avfuktningssystemet i verkligheten varit i bruk kan man inte förvänta sig en full överensstämmelse. Avfuktningssystemet avlägsnar förhållandevis mer värme i proportion till fukt än vad som är fallet för ventilationen. (Se del två i rapportserien.) Därmed är det modellerade fuktflödet en överskattning vid sådana tidpunkter då kylsystemet är igång.



Figur 7 Modellerat luftflöde (övre grafen) och fuktflöde (nedre grafen) under perioden 15.11.2010–13.10.2011. Upphållet i mitten av perioden beror på avsaknad av tillförlitliga värmeeffektdata.

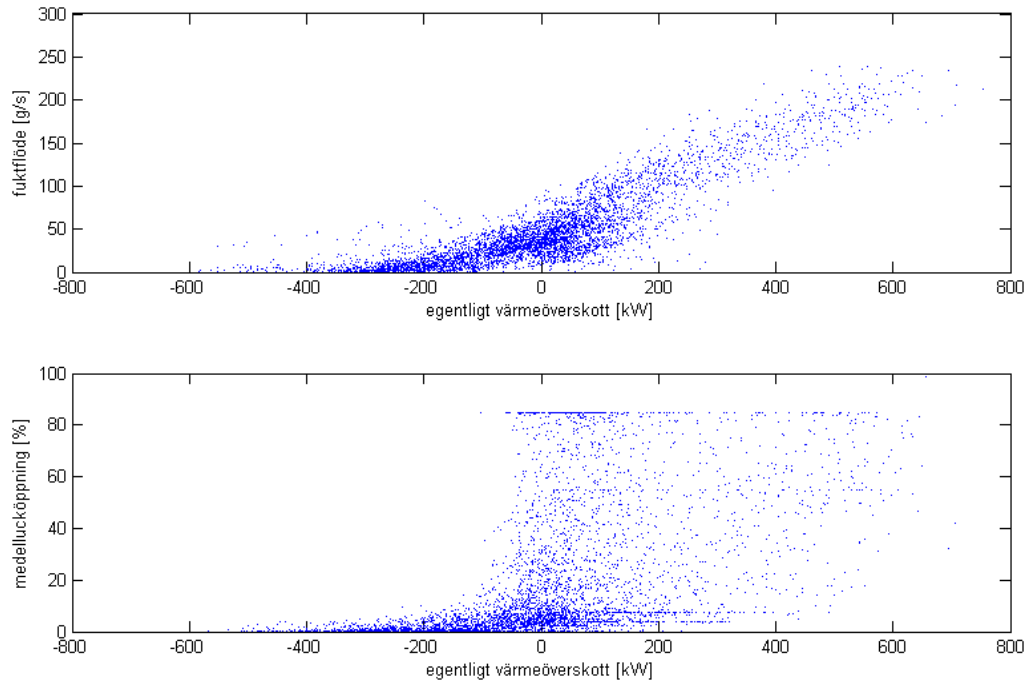


Figur 8 Modellerat luftflöde (övre grafen) och fuktflöde (nedre grafen) under perioden 6.2.2011–20.2.2011.

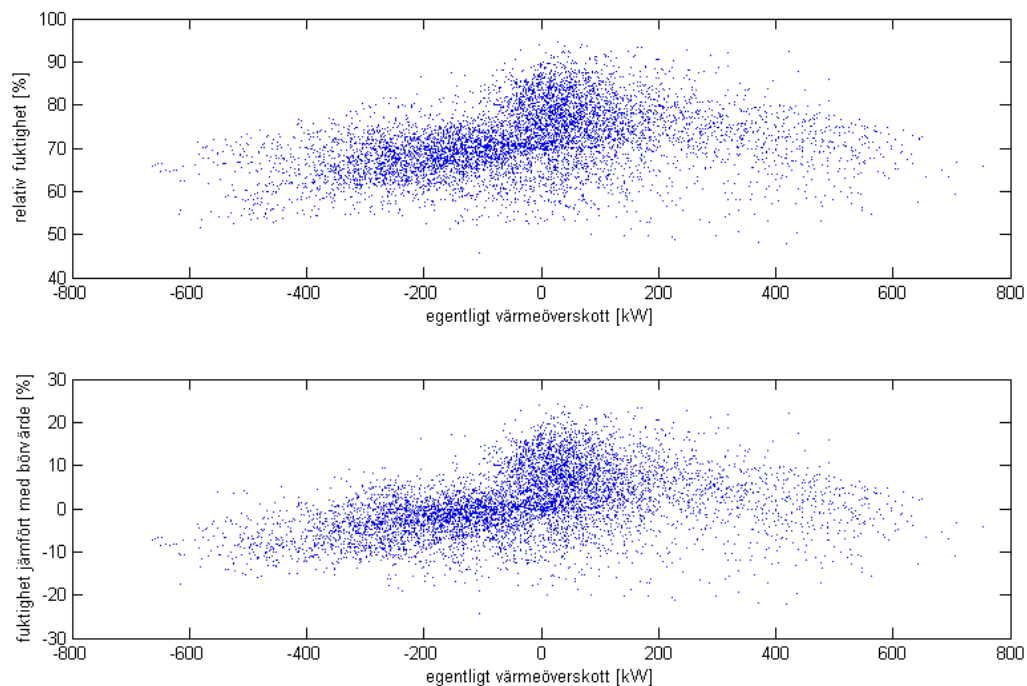


Figur 9 Modellerat luftflöde (övre grafen) och fuktflöde (nedre grafen) under perioden 26.6.2011–10.7.2011.

Av speciellt intresse är att beräkna hur stort fuktflödet är under perioder med ett egentligt värmeunderskott i växthuset. Figur 10 visar det modellerade fuktflödet mot det egentliga värmeöverskottet i växthuset. Fuktflödena är liksom tidigare beräknade utgående från bortventilerad värmeenergi. Det betyder att de inte utgör ett exakt mått på avfuktningens behov. Om luftfuktigheten i växthuset ligger kring den nivå som genererar lucköppning kan man säga att luftutbytet i sin helhet behövs för fukt bortförsl. Om luftfuktigheten i växthuset ligger under ventilationsnivå utgör endast en del av den bortventilerade fukt mängden ett egentligt avfuktningens behov. Medeltalet av fuktflödet under perioder med egentligt värmeunderskott är 16 g/s (33 g/m²h). Av Figur 11 framgår att den relativa fuktigheten under perioder med egentligt värmeunderskott i växthuset stor del av tiden låg lite (0–10 %) under ventilationsnivån. Inställningen för ventilationsnivån varierade under försöksperioden mellan 65 och 80 %. Det ovan angivna värdet för fuktflödet är därför en viss, men troligen inte alltför stor, överskattning av ventilationsbehovet.



Figur 10 Övre: Modellerat fuktflöde mot modellerat egentligt värmeöverskott i växthuset. Nedre: Verkligen medellucköppning mot modellerat egentligt värmeöverskott.



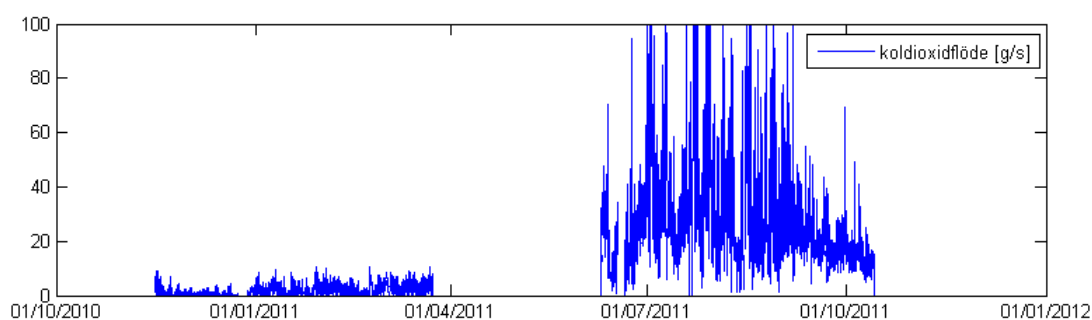
Figur 11 Övre: Verkligen relativ fuktighet mot modellerat värmeöverskott. Relativ fuktighet minus börvärdet för fuktigheten mot modellerat egentligt värmeöverskott.

2.3 CO₂-FLÖDEN

På motsvarande sätt kan också koldioxidförslusten via ventilationen beräknas genom att multiplicera luftflödet med skillnaden i koldioxidhalt mellan inluft och utluft. I denna beräkning motsvarar en molandel om 1000 ppm en massandel om 1,52 g_{CO₂}/kg_{luft}. Utluftens håller en koldioxidhalt om 390 ppm, vilket alltså motsvarar 0,59 g_{CO₂}/kg_{luft}.

Koldioxidhalten i luften i växthuset är i hög grad beroende av inställningarna. När förutsättningarna för fotosyntes är goda, dvs. vid belysning eller tillräcklig solinstrålning önskar man upprätthålla en halt om cirka 1000 ppm. Under mörk period tillförs ingen koldioxid, utan halten får då sjunka till jämviktsnivå. Via automatiken sänks börvärdet för koldioxidhalten också när lucköppningen är stor för att undvika höga koldioxidförluster. Det här innebär att koldioxidhalten vid hög instrålning under varm säsong hålls på en låg nivå. Vid vilken lucköppning man börjar reducera koldioxidhalten är en fråga om ekonomisk optimering.

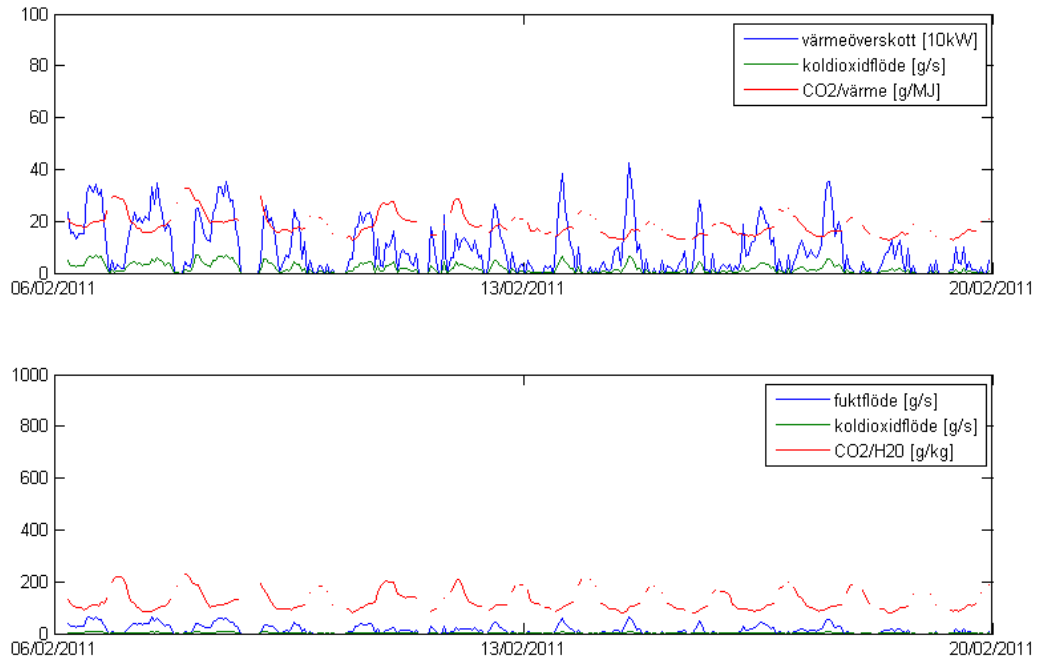
I stället för att utgå från verkliga värden presenteras nedan beräkningar utgående från en konstant halt om 1000 ppm året runt och dygnet. En hög koldioxidhalt vid kraftig instrålning sommartid är mycket önskvärd, men en hög koldioxidhalt nattetid är däremot onödig eftersom det inte sker någon fotosyntes. För enkelhetens och översiktighetens skull används dock värdet 1000 ppm även för natten. Koldioxidförlusterna över tid visas i Figur 12.



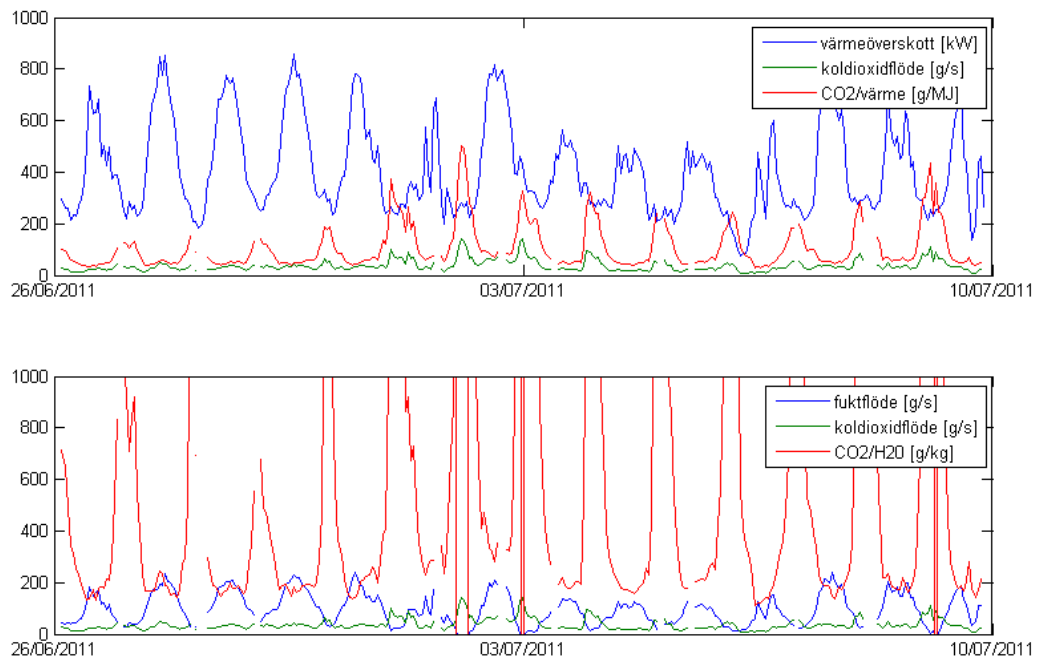
Figur 12 Modellerade koldioxidförluster vid en konstant koldioxidhalt om 1000 ppm.

Av Figur 12 framgår att de modellerade koldioxidförlusterna under vintern är mycket mindre än under sommaren. Koldioxidflödet är i genomsnitt 36 kg/h för hela den modellerade perioden, 6,0 kg/h för perioden 6.2.2011–20.2.2011 och 115 kg/h för perioden 26.6.2011–10.7.2011. Den stora skillnaden mellan sommar och vinter beror dels på att kylbehovet och avfuktningens behovet är mindre vintertid, dels på att den luftmängd som behöver utbytas per värmemängd eller fuktmängd som skall avlägsnas är mindre vintertid. Figur 13 och Figur 14 visar kvoten mellan förlorad koldioxid och avlägsnad värmemängd samt mellan förlorad koldioxid och avlägsnad fuktmängd. Under den belysta delen av dygnet vintertid förloras cirka 20 g koldioxid per MJ bortventilerad värme. Dagtid sommartid är motsvarande värde cirka 50 g, men variationen är större (Figur 15).

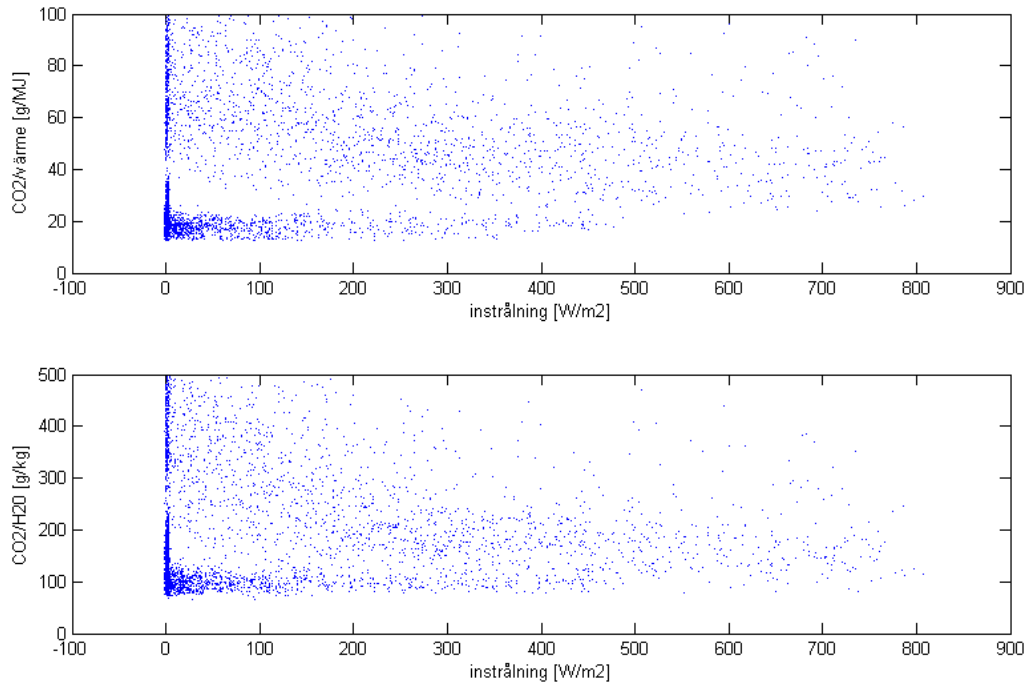
Om man i stället för 1000 ppm utgår från verklig koldioxidhalt är det modellerade koldioxidflödet i genomsnitt 2,9 kg/h för hela den modellerade perioden, 3,4 kg/h för perioden 6.2.2011–20.2.2011 och 15 kg/h för perioden 26.6.2011–10.7.2011.



Figur 13 Modellerat förhållande mellan koldioxidflöde och värmeflöde (övre grafen) samt mellan koldioxidflöde och fuktflöde (nedre grafen) under två veckor i februari 2011 under antagandet av en konstant koldioxidhalt om 1000 ppm.



Figur 14 Modellerat förhållande mellan koldioxidflöde och värmeflöde (övre grafen) samt mellan koldioxidflöde och fuktflöde (nedre grafen) under två veckor i juli 2011 under antagandet av en konstant koldioxidhalt om 1000 ppm.



Figur 15 Övre grafen: Modellerat förhållande mellan koldioxidflöde och värmeflöde mot uppmätt instrålning under antagandet av en konstant koldioxidhalt om 1000 ppm. Nedre grafen: Motsvarande förhållandet mellan koldioxidflöde och fuktflöde. I båda graferna kan man urskilja två punktmängder, vilka hänför sig till de två tidsintervallen i Figur 12. Den nedre punktmängden gäller vinter–vårvinter, den övre sommar–höst.

3 LÖNSAMHETSBERÄKNINGAR

3.1 ALLMÄNT OM BERÄKNINGARNA

Syftet med en kyl/avfuktningssystem är att bidra till att hålla optimala klimatomständigheter till en så låg kostnad som möjligt. De direkta kostnaderna består av främst kapitalkostnaden och driftkostnaderna i form av el och värme. Förändrade koldioxidförluster utgör en indirekt kostnad som också bör beaktas i kalkylen. Om kyl/avfuktningssystemen bidrar till ett bättre klimat ökar också skörden och därmed också intäkterna, vilket i detta sammanhang kan ses som en negativ kostnad. En fullständig jämförelse mellan olika kyl/avfuktningssystem skulle beräkna inverkan alla dessa faktorer separat för alla anläggningstyper för att få reda på vilken anläggningstyp som har den lägsta totalkostnaden. Tillräckliga data för en sådan analys finns inte och därför väljs ett enklare angreppssätt i analysen nedan. Först jämförs driftkostnaderna för olika alternativ och därefter vägs för de bästa alternativen nyttan i form av lägre driftkostnader mot kapitalkostnaden. Det finns inte underlag för att bedöma inverkan på skörden och den faktorn utelämnas i den kvantitativa jämförelsen.

För att jämföra driftkostnaderna för olika kyl/avfuktningssystem med basalternativet naturlig ventilation behövs ett värde på värme, el och koldioxid. Priset på koldioxid varierar med påfyllningsmängden, som beror av tankens storlek. För en 5 m³ tank är priset enligt uppgifter från leverantör (september 2011) 170–180 euro/ton och för en 500 m³ tank 110–115 euro/ton.

I beräkningarna används värdet 120 euro/ton. Den rörliga värmekostnaden för en fastbränsleanläggning i storleksklassen 100–3000 kW är enligt uppgift från kustens skogscentral 40–45 euro/MWh (augusti 2013). I beräkningarna används 45 euro/MWh. Som elkostnad används 90 euro/MWh, vilket motsvarar genomsnittspriset för företag med en förbrukning om 2000–20000 MWh enligt statistikcentralens data för år 2012.

En vinning i form av reducerade koldioxidförluster är aktuell främst under perioder med betydande solinstrålning eller när belysning används. Stora oönskade värmeförluster sker främst för obelysta växthus vid låg solinstrålning under vår och höst samt för belysta växthus vintertid och under den obelysta perioden av dygnet. Koldioxidförluster och värmeförluster är alltså tidsmässigt starkt antikorrelerade. I den ekonomiska analysen kan man därför skilja på tekniker som primärt reducerar värmeförluster (avfuktningsteknik) och tekniker som primärt reducerar koldioxidförluster (kylteknik).

3.2 KYLMETODER

För maximal reduktion av koldioxidförlusterna måste en anläggning tillhandahålla en tillräcklig kylkapacitet året runt. Ingen av de anläggningar som beskrivits i del 1 av rapportserien har både tekniska och ekonomiska förutsättningar att hålla ett tomatväxthus slutet året runt. Fri kylning är en teknik som inte finns i kommersiella applikationer. Endast i vissa specialsituationer, så som ett växthus beläget vid tillräckligt djup havsstrand, finns tillgång till fri kyla i tillräcklig kvantitet och till rimlig kostnad. Av de mer generellt användbara teknikerna erbjuder Novarbos anläggning det bästa förhållandet mellan kylkapacitet och kapitalkostnad. En empirisk studie av denna anläggning (i del 2 av rapportserien) visar emellertid att kylkapaciteten inte räcker till för att hålla ett tomatväxthus slutet sommartid då nyttan av hög koldioxidhalt är stor. Kompressorbaserad kylteknik igen har tekniska förutsättningar att generera erforderlig kylkapacitet året runt men har en mycket hög kapitalkostnad om den dimensioneras för sommarbehov.

Kylningens syfte är att hålla växthuset slutet för att därmed spara koldioxid. Energikostnaden för kylningen bör alltså ställas mot alternativkostnaden, dvs. koldioxidförlusten vid ventilation. För att

upprätthålla en koldioxidhalt om 1000 ppm är koldioxidåtgången per via ventilation avlägsnad värmemängd enligt resultatet från beräkningen i avsnitt 2.3 vintertid cirka 20 g/MJ, vilket motsvarar 8,6 euro/MWh. Sommartid är värdet cirka 50 g/MJ, vilket motsvarar 22 euro/MWh. Med ett elpris om 90 euro/MWh krävs sommartid ett COP-värde om minst 4 för att kylning skall vara mer ekonomisk än koldioxidtillförsel. Vintertid krävs COP-värdet 10. En kompressorbaserad kylanläggning uppnår under sommarförhållanden ett COP-värde om 4–5, vilket gör att den driftkostnadsmissigt ligger i paritet med koldioxidkostnaden för ventilation. Detta gäller dock under förutsättning att koldioxidhalten är 1000 ppm. Under varma soliga dagar innebär detta en massiv koldioxidtillförsel, som i praktiken inte genomförs eftersom nyttan i form av ökad skörd inte motsvarar koldioxidkostnaden. Man kan därför dra slutsatsen att inte heller en motsvarande insats i form av elenergi för kylning är ekonomiskt försvarbar. Redan utan att beakta kapitalkostnaden blir en kompressorbaserad anläggning alltså olönsam för kylning.

Sommartid ligger COP-värdet för Novarbos anläggning på ungefär samma nivå som en kompressorbaserad anläggning (se del 2 i rapportserien) eller något högre. Ur driftkostnadssynpunkt är det därför inte lönsamt att använda den då. Under våren kan tidvis betydligt högre COP-värden uppnås, men om anläggningen kan användas med lönsamhet endast under bråkdelar av året blir nyttan i förhållande till kapitalkostnaden kraftigt reducerad. Koldioxidförlusten dagtid under sommaren och med en halt om 1000 ppm är enligt beräkningen i avsnitt 2.3 cirka 60 kg/h per 1000 m², vilket motsvarar 7,2 euro per timme. Detta ger en övre gräns för inbesparingen. När man därtill beaktar att förlusterna under andra delar av året är lägre, att man inte håller 1000 ppm hela tiden och att anläggningen ger upphov till energikostnader står det klart att inbesparingarna inte är tillräckliga för att täcka kapitalkostnaden.

3.3 AVFUKNINGSMETODER

Vid avfuktning genom ventilation beror värmeförlusten per kg avlägsnat vatten av både växthusluftens och uteluftens tillstånd. Under den kalla delen av året är variationerna måttliga och medelvärdet för denna period är 5–6 MJ/kg. Natttid är värdet högre än dagtid. 5–6 MJ/kg ger en värmekostnad om 0,063–0,075 euro/kg. Förlusten av koldioxid innebär under kalla årstider och när koldioxidhalten hålls på 1000 ppm (vilket ger en specifik förlust om cirka 100 g koldioxid per kg vatten enligt Figur 15) en kostnad om 0,012 euro/kg. En del av avfuktningens behovet infaller emellertid under mörk period, när koldioxidhalten tillåts ligga på naturlig jämviktsnivå och därmed inte genererar någon kostnad. Det genomsnittliga värdet är alltså lägre och hur som helst betydligt lägre än kostnaden i form av värmeförlust. För den fortsatta analysen används värdet 0,075 euro/kg som värmekostnad för avfuktning genom ventilation under perioder med värmeunderskott i växthuset. Som värde för koldioxidförlusten används 0,010 euro/kg. Totalkostnaden är då 0,085 euro per kg avlägsnat vatten.

De tekniker som kan användas för att reducera direkta värmeförluster är ventilation med värmeåtervinning, kompressorbaserad avfuktning, avfuktning med fast adsorbator och avfuktning med hygroskopisk vätska. Avfuktning med fast adsorbator utelämnas ur den fortsatta ekonomiska analysen eftersom den av tekniska orsaker är mindre lämplig då den kräver hetvatten för att uppnå god energiekonomi. Energiprestandamässigt ligger den nära avfuktning med hygroskopisk vätska. Den senare bedöms som det bättre alternativet.

Kompressorbaserad avfuktning och avfuktning med hygroskopisk vätska ger båda full energiåtervinning. Tekniskt sett är DryGairs anläggning (kompressortechnik) och Agams (hygroskopisk vätska) likartade såtillvida att de båda utgör fristående enheter som blåser ut torr luft från en punkt i växthuset.

Agams anläggning kräver en värmeinsats om 1,2–1,3 kWh/kg, men denna värmeinsats återges till växthusluften och innebär alltså ingen merkostnad om det finns ett värmebehov i växthuset. Även den använda elektriciteten nyttiggörs som värme och nettoenergikostnaden är då bara elkostnaden till den del den överstiger motsvarande värmekostnad. Utgående från specifika elförbrukningen 0,13 kWh/kg blir specifika nettodriftkostnaden 0,006 euro/kg. Om värmeenergin inte kan tillgodogöras blir specifika nettodriftkostnaden i stället 0,070 euro/kg, vilket är större än koldioxidförlustens värde (0,012 euro/kg). Användning under sådan tid är alltså utesluten.

DryGairs anläggning kräver insats endast i form av el och med en specifik elförbrukning om 0,22 kWh/kg blir specifika driftkostnaden 0,020 euro/kg. Också detta är större än koldioxidförlustens värde och inte heller DryGairs anläggning kan ekonomiskt användas annat än när det finns ett värmebehov i växthuset. Elektriciteten omvandlas till värmeenergi och när det finns värmebehov i växthuset blir specifika nettodriftkostnaden 0,010 euro/kg.

Ur nettodriftkostnadssynpunkt är alltså både DryGairs och Agams anläggningar lönsamma jämfört med ventilation när det finns värmebehov i växthuset. Jämfört med kostnaden för avfuktning genom ventilation (0,85 euro per kg avlägsnat vatten) sparar Agams anläggning 0,079 euro/kg och DryGairs 0,075 euro/kg. Det handlar alltså om inbesparingar i storleksordningen 90 %.

Agams och Drygairs anläggningar är olika dimensionerade. Agam uppger att en anläggning med kapaciteten 20 kg/h räcker till för 1000 m² medan DryGairs anläggning, som uppges räckta för 1400 m², har en kapacitet om 45 kg/h, vilket motsvarar 32 kg/h för 1000 m². Priset för vardera anläggningen ligger kring 25000 euro per enhet, vilket ger 25 euro/m² för Agam och 18 euro/m² för DryGair.

För att bedöma lönsamheten borde man veta hur stort avfuktningens behovet är under de perioder när det råder ett värmeunderskott i växthuset. Utgående från beräkningen i avsnitt 2.2 är avfuktningens behovet under perioder med egentligt värmeunderskott högst 33 g/m²h. I detta värde ingår även det naturliga läckaget, varför det avfuktningens behov som kan ersättas med en avfuktningens anläggning är mindre än så. (Arbel, Barak, Shklyar, Lidor, & Elad, 2011) uppger, baserat på (Stanghellini, 1987), att transpirationen nattetid ligger i intervallet 12–40 g/m²h. Tomat, torde ligga i övre ändan av intervallet. (Arbel, Barak, Shklyar, Lidor, & Elad, 2011) uppmätte i försök gjorda i Israel ett avfuktningens behov om 22–36 g/m²h nattetid för paprika. I finländska förhållanden är förmodligen kondensationen på höljet större och därmed det verkliga avfuktningens behovet mindre. Om man som en rätt grov uppskattning antar ett genomsnittligt avfuktningens behov om 20 g/m²h blir inbesparingen 0,0016 euro/m²h för Agams anläggning och 0,0015 euro/m²h för DryGairs anläggning.

Det modellerade egentliga värmeöverskottet, dvs. värmebalansen utan värmeförsörjning, visades i Figur 1. Av figuren ses att det råder ett egentligt värmeunderskott under största delen av vintern samt nattetid under vår och höst samt i någon mån även under sommarnätter. Antalet timmar med värmeunderskott är cirka 4900 h/år. Det ger en årlig kostnadsinbesparing om 7,4 euro/m² med DryGairs anläggning. När det gäller Agams anläggning är det medelavfuktningens behov som används i beräkningen samma som anläggningens nominella kapacitet. Det här betyder att anläggningen sannolikt inte kan möta behovet vid alla tidpunkter och fullasttimmarna blir då färre. Dessutom genererar anläggningen mera värme och det finns perioder då värmeunderskottet i växthuset är så litet att det inte finns behov för all denna värme. Sammantaget uppväger dessa båda saker antagligen mer än väl den ovan kalkylerade skillnaden i inbesparing per timme och kvadratmeter, vilket betyder att ur driftekonomisk synpunkt är förmodligen DryGairs anläggning lite bättre än Agams. En årlig kostnadsinbesparing om 6–7 euro/m² ger en odiskonterad återbetalningstid om 4 år för Agams

anläggning och knappa 3 år för DryGairs anläggning. Det bör emellertid betonas att beräkningen grundar sig på det egentliga värmeunderskottet. Enligt Figur 5 tillförs en minimeffekt om drygt 100 W/m² oberoende av egentligt värmebehov. (Figur 6 uppvisar en motsvarande siffra för sommarperioden, men den värmeförseln kan troligen tillskrivas den felaktiga fuktsensorn och kan inte betraktas som representativ.) Om man antar att en sådan miniminivå måste hållas under hela uppvärmningssäsongen sjunker antalet timmar med värmeunderskott till cirka 1800 och återbetalningstiderna blir då i motsvarande grad längre, kring 10 år. En viss minimirörtemperatur kan vara nödvändig oberoende av avfuktningsteknik, men den ökade luftcirkulationen som en avfuktningssystem ger upphov till kan eventuellt reducera behovet av minimirörvärmeförsel. Frågan om i vilken grad behovet av minimirörtemperatur reduceras då man använder en avfuktningssystem av dessa typer kan endast besvaras genom verkliga försök.

Ventilation med värmeåtervinning har inte full energiåtervinningsgrad. Återvinningsgraden beror dels av värmväxlarens temperaturverkningsgrad, dels av klimatomständigheterna. Med klimatomständigheter som ger upphov till ventilationsförluster om 6 MJ per kg avlägsnad fukt är den teoretiskt uppnåeliga värmeåtervinningsgraden vid värmväxling 58 %. (Den latent värmeväxling, 2,5 MJ/kg, kan inte återvinnas.) Om värmväxlarens temperaturverkningsgrad är 80 % blir då värmeåtervinningsgraden 47 % och kostnaden för förlorad värmeenergi sjunker, jämfört med direkt ventilation, från 0,075 euro/kg till 0,040 euro/kg. Koldioxidförlusten är oförändrad, 0,010 euro/kg, och totala indirekta kostnaden är därmed 0,050 euro per kg avlägsnad fukt.

Fläktarna i systemet har också en elförbrukning. Enligt specifikationerna för PRIVAs anläggning är förbrukningen vid fullt fläktvarvtal ungefär 0,0005 kWh/m³. För Ammerlaans anläggning saknas uppgift värdet men torde vara i samma storleksordning, men kanske högre p.g.a. strömmingsmotståndet i värmväxlaren. Avfuktningen per m³ utbytt luft varierar med klimatomständigheterna. Vinter och vår ligger värdet vanligen kring 4–6 g/m³ nattetid och 6–10 g/m³ dagtid. Under sommar och höst är värdet 0–3 g/m³ nattetid och 2–7 g/m³ dagtid. Eftersom ett samtidigt avfuktningssystem och värmeunderskott förekommer främst under kalla årstider och nattetid tas värdet 5 g/m³ som ett approximativt medeltal för avfuktningen per m³. Vid inblåsning av enbart uteluft blir då effektförbrukningen 0,1 kWh/kg, vilket motsvarar 0,009 euro/kg. Det måste emellertid påpekas att detta värde är beräknat enligt fullt fläktvarvtal, vilket då motsvarar en total avfuktningssystemkapacitet om 32 kg/h per enhet. Eftersom det går flera enheter per 1000 m² räcker det med mindre än full effekt för att möta det i de tidigare beräkningarna använda avfuktningssystemet 20 kg/h per 1000 m². Den verkliga specifika effektförbrukningen är alltså vid 20 kg/h sannolikt betydligt mindre än 0,01 euro/kg. Å andra sidan kan det vara ändamålsenligt att köra en viss återcirkulation i fläktsystemet och de transporterade flödena är då större än vad som behövs för det direkta luftutbytet.

Investeringskostnaden för Ammerlaans avfuktningssystem med värmväxlare är i samma storleksordning som för Agams och DryGairs anläggningar. Den direkta driftkostnaden är elförbrukningen, vilken enligt ovan uppgår till högst 0,009 euro/kg. När man lägger till den indirekta kostnaden i form av värmeförluster och koldioxidförluster blir kostnaden 0,059 euro/kg och därmed betydligt högre än för Agams och DryGairs anläggningar (0,006 euro/kg respektive 0,010 euro/kg), men fortfarande lägre än för direkt ventilation (0,85 euro/kg). Inbesparingen jämfört med direkt ventilation är 0,026 euro/kg, vilket med 20 g/m²h och 4900 h drifttid ger 2,5 euro/m² och, då investeringskostnaden uppges till 20–35 euro/m², en återbetalningstid om cirka 10 år.

Under antagandet att alla tre anläggningarna kan ersätta behovet av minimirörvärme är slutsatsen att Ammerlaans anläggning till ungefär samma investeringskostnad ger mindre inbesparingar än Agams och DryGairs anläggningar. Det är emellertid oklart om detta antagande är giltigt och Ammerlaans

anläggning har p.g.a. det väldistribuerade luftflödet bättre förutsättning att eliminera insatsen av värme uteslutande för att driva luftcirkulationen i växthuset. Ifall Ammerlaans anläggning klarar av att eliminera behovet av minimirörtemperatur, så att dess årliga användningstid är 4900 h (enligt beräkningarna ovan), medan så inte är fallet med Agams och DryGairs anläggningar och användningstiden för dessa då är 1800 h blir slutsatsen att den årliga kostnadsinbesparingen för Ammerlaans anläggning är ungefär samma som för Agams och DryGairs anläggningar, och likaså återbetalningstiden (kring 10 år).

Ovanstående beräkningar för Agams, DryGairs och Ammerlaans anläggningar samt för direkt ventilation är gjorda utgående från energin som behövs för att tillgodose ett avfuktningensbehov under perioder med värmeunderskott. Kostnaden för att driva luftcirkulationen i växthuset under perioder med värmeöverskott har inte beaktats. Om denna luftcirkulation sköts termiskt, dvs. genom att hålla en minimirörtemperatur, kan kostnaden för avfuktning vara betydande även under perioder med ett värmeöverskott. Alternativet till termiskt driven cirkulation är mekaniskt driven cirkulation. System för mekanisk ventilation skapar en mekanisk cirkulation som helt eller delvis kan eliminera uppvärmningen under perioder med värmeöverskott.

Enligt modelleringen finns ett egentligt värmeöverskott under 3900 h/år. Värmetillförseln under dessa timmar gör då inte nödvändigtvis någon uppvärmningsnytta. Värmen ventileras bort. En del av ventilationen görs för att avlägsna fukt och luftutbytet för detta ändamål kan generera ett uppvärmningsbehov, men resterande värmetillförsel är direkt onödig ur värmebalanssynpunkt. En övre gräns för kostnaden att driva en termisk luftcirkulation fås om man antar att all värmetillförsel vid tidpunkter då växthuset har ett egentligt värmeöverskott är värmebalansmässigt onödig och kunde ersättas med mekanisk luftcirkulation. Modelleringen i avsnitt 2.1 visade att en betydande andel av värmetillförseln överskrider det rent energibalansmässiga behovet. Vintertid gav modelleringen ett värde för den "onödiga" värmetillförseln om drygt 40 W/m² medan värdet för året som helhet är ganska osäkert, ligger förmodligen kring 30–50 W/m². Om värdet är 40 W/m² handlar det om 350 kWh/m² på årsnivå. Kostnaden för denna värmetillförsel är då 16 euro/m².

I avsaknad av fukttransportmodell är det svårt att avgöra hur mycket av värmetillförseln som sker i direkt fukt bortdrivningssyfte (dvs. kompenserar värmeförluster från ventilation som sker p.g.a. för hög fuktighet) och hur mycket som görs för att upprätthålla luftcirkulationen. Utgående från Figur 11 verkar luftfuktigheten vid perioder med måttligt egentligt värmeöverskott ligga kring eller över börvärdet, vilket innebär att bortventilerad fuktmängd ungefär motsvarar det verkliga avfuktningensbehovet. Vid vissa tidpunkter med stort värmeöverskott ligger luftfuktigheten klart under börvärdet. Ventilationen är då större än det egentliga avfuktningensbehovet. En mera noggrann beräkning är emellertid svår att göra eftersom även plantans respons på den lägre luftfuktigheten är involverad. Man måste därför nöja sig med att ge ett intervall för den estimerade inbesparingen. Om all värmetillförsel under perioder med egentligt värmeöverskott motsvarar förluster p.g.a. nödvändiga fuktflöden sparar mekanisk ventilation med värmeåtervinning 47 % av värmekostnaden motsvarande 7 euro/m²a. Ifall all denna uppvärmning sker endast för att driva luftcirkulation sparar mekanisk ventilation, även utan värmeåtervinning hela värmekostnaden 16 euro/m²a.

Elkostnaden för den mekaniska ventilationen beror av volymflödet, dvs. fläktvarvtalet. Detta i sin tur varierar med kyl- och avfuktningensbehovet. En övre gräns fås om man räknar med en full effekt om 5 W/m² under hela perioden med värmeöverskott, vilket genererar en årlig elkostnad om knappa 2 euro/m², dvs. klart mindre än inbesparade värmekostnaden. Nettoinbesparingen under perioder med egentligt värmeöverskott ligger alltså mellan 5 euro/m²a (om all "onödig" värmetillförsel kompenserar ventilationsförluster) och 14 euro/m²a (om all "onödig" värmetillförsel används till att driva

luftcirkulation). Det lägre värdet ligger förmodligen närmare sanningen. Man kan alltså identifiera en betydande indirekt sparpotential för mekanisk ventilation. Denna sparpotential kan t.o.m. vara större än den uppskattade sparpotentialen från värmeåtervinning under perioder med värmeunderskott, som ovan uppskattats vara 3–6 euro/m²a, beroende på förutsättningar och teknik. När man för maskinell ventilation med värmeåtervinning adderar inbesparingen under perioder med värmeunderskott (3 euro/m²a) och inbesparingen under perioder med värmeöverskott (5–14 euro/m²a) fås en total inbesparing om 8–17 euro/m², vilket, med en investeringskostnad om 20–35 euro/m², ger en återbetalningstid om 1–4 år.

PRIVAs mekaniska ventilationssystem utan värmeåtervinning genererar inbesparing endast till den del som den "onödiga" värmeförlusten sker för att skapa luftcirkulation. Beräknat på samma sätt som ovan blir den uppskattade inbesparingen då 0–14 euro/m²a. I bästa fall skulle återbetalningstiden vara mindre än två år, men det är sannolikt att den verkliga inbesparingen ligger närmare nedre ändan av det angivna intervallet och återbetalningstiden kan alltså vara mycket lång.

En gynnsam effekt hos system som genererar en kraftig mekanisk cirkulation är att de utjämnar luftfuktighetsskillnaderna i växthuset. För att säkerställa att man inte får kondensationsfickor måste man ha en säkerhetsmarginal vad gäller relativ fuktighet, som är större ju mer inhomogen fuktigheten är. Med stor luftcirkulation kan man öka jämnheten och därmed minska säkerhetsmarginalerna, t.ex. hålla 85 % RF i stället för 80 %. Detta ger en inbesparing åtminstone under perioder med värmeunderskott eftersom det sänker det behövliga luftutbytet. Varje höjning av relativa fuktigheten med 1 procentenhet under perioder med värmeunderskott reducerar ventilationsbehovet med 1,5–2 %. Hur mycket RF-värdet kan höjas kan inte besvaras utgående från tillgängliga data.

Ytterligare en potentiell gynnsam effekt för mekanisk ventilation är ökad skörd genom bättre mikroklimat kring plantorna. Effekten kan inte bedömas utgående från resultaten i denna studie och inbesparingspotentialen kan därför inte kvantifieras.

4 SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION

Sammanfattningsvis visar kalkylerna att kylteknik inte är lönsam. Avfuktningssystem baserade på kompressorteknik eller hygroskopisk vätska är driftmässigt lönsamma, men det finns en osäkerhet i avfuktningens behov både volymmässigt och tidsmässigt som gör att återbetalningstiden är mycket osäker, dock troligen 3–10 år. Den teknik som förefaller lönsammast är avfuktning genom mekanisk ventilation med värmeväxlare. Fördelen med denna teknik är att den sparar värmeenergi både under perioder med egentligt värmeunderskott i växthuset och under perioder med egentligt värmeöverskott. Återbetalningstiden för denna teknik uppskattas till 1–4 år.

I den ekonomiska analysen finns flera osäkerhetsfaktorer. Den främsta av dessa är i vilken mån det är möjligt att reducera grundvärmeförseln när man använder maskinell avfuktning. Frågan kan delas upp i två delfrågor. Hur stor grundvärmeförsel är nödvändig då man använder naturlig ventilation? Hur stor grundvärmeförsel är nödvändig med alternativa tekniker? Svaret på frågorna är inte rent energiteknisk. Det handlar också om plantornas respons på temperatur- och fuktighetsgradienter samt luftcirkulation. För att svara på den första frågan borde man ha en bredare bas av data om hur grundvärme används av olika odlare. Användningssättet i det undersökta växthuset är inte nödvändigtvis representativt. Svaret på den senare frågan kan endast fås genom empiriska undersökningar av olika tekniker. Rent generellt kan man säga att tekniker med väldistribuerad luftförsel torde ha goda förutsättningar att reducera grundvärmebehovet.

Den andra betydande osäkerhetsfaktorn i lönsamhetskalkylerna är avfuktningens behov och framför allt hur stort detta är under perioder med värmeunderskott i växthuset. Detta avfuktningens behov reduceras av läckage och av kondensation på höljet. Läckagets storlek varierar med typ och ålder på växthuset. Användning av energigardin reducerar kondensationen och ökar därmed avfuktningens behov. Samtidigt minskar energigardinen värmeförlusterna och reducerar tiden med värmeunderskott i växthuset. Dessa båda faktorer motverkar varandra vad gäller totala lönsamheten för de typer av avfuktningssystem som är energimässigt lönsamma bara under perioder med värmeunderskott.

5 LITTERATURFÖRTECKNING

Arbel, A., Barak, M., Shklyar, A., Lidor, G., & Elad, Y. (2011). Performance of Combined Heating and Dehumidification System for Greenhouses. *GreenSys2011* (ss. 449-456). ISHS.

Stanghellini, C. (1987). *Transpiration of greenhouse crops (Ph.D. thesis)*. Wageningen Agricultural University.

YRKESHÖGSKOLAN
NOVIA

Novia är den största svenskspråkiga yrkeshögskolan i Finland med examensinriktad ungdoms- och vuxenutbildning, utbildning som leder till högre yrkeshögskoleexamen samt fortbildning och specialiseringsutbildning. Nova har ca 4000 studerande på sex campus i Vas, Jakobstad, Raseborg och Åbo.

Yrkeshögskolan Nova är en internationell yrkeshögskola, via samarbetsavtal utomlands och internationalisering på hemmaplan. Novias styrka ligger i närvaron och nätverket i hela Svenskfinland.

Novia representerar med sitt breda utbildningsutbud de flesta samhällssektorer. Det är få organisationer som kan uppvisa en sådan kompetensmässig och geografisk täckning. Högklassiga och moderna utbildningsprogram ger studerande en bra plattform för sina framtida yrkeskarriärer.

YRKESHÖGSKOLAN NOVIA

Wolffskavägen 33, vån 4, 65200 Vas
Växel tfn (06) 328 5000
Fax (06) 328 5110
www.novia.fi

ANSÖKNINGSBYRÅN

Wolffskavägen 33, 65200 Vas
Tfn (06) 328 5555
Fax (06) 328 5117
ansokningsbyran@novia.fi

Yrkeshögskolan Nova upprätthåller en publikations- och produktionsserie för att sprida information och kunskap om verksamheten såväl regionalt, nationellt som internationellt. Publikations- och produktionsserien är indelad i fem kategorier:

R - Rapporter • P - Produktioner • A - Artiklar • L - Läromedel • S - Studerandes arbete

Läs våra senaste publikationer på www.novia.fi/FoU/publikation-och-produktion