

UTVÄRDERING AV EN KYL- OCH AVFUKTNINGSANLÄGGNING I ETT TOMATVÄXTHUS

Del 2 av 4. Rapportserie från projektet AKTIV

Mats Borg, Carolin Nuortila & Johan Westö





UTVÄRDERING AV EN KYL- OCH AVFUKTNINGSANLÄGGNING I ETT TOMATVÄXTHUS

DEL 2 AV 4. RAPPORTSERIE FRÅN PROJEKTET AKTIV

Mats Borg, Carolin Nuortila & Johan Westö

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.

Skördedata samlades in inom ramen för projektet ”Martens kompetenscenter för växthusbranschen – center för tillämpad forskning” som pågick vid Martens trädgårdsstiftelse under tiden 01.05.2008–30.09.2011. Projektet hade delfinansierats inom EUs Europeiska Regionala Utvecklingsfonden (ERUF), beviljat av Österbottens Förbund.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
2	ANLÄGGNINGEN	2
2.1	VÄXTHUSET	2
2.2	KYL/AVFUKTNINGSANLÄGGNINGENS UPPBYGGNAD	2
2.3	INNEDELEN	3
2.4	UTEDELEN	4
3	MÄT- OCH STYRSYSTEMET	6
3.1	ALLMÄNT OM MÄT- OCH STYRSYSTEMET	6
3.2	UPPMÄTTA VARIABLER	6
3.3	REGLERMETODIK	8
3.3.1	KYLVATTENFLÖDE	8
3.3.2	KYLVATTENTEMPERATUR	8
3.3.3	BASSÄNGKYLNING	9
3.3.4	KONTINUERLIG EFFEKTIVITETSBEDÖMNING	9
4	EXPERIMENTELLA RESULTAT	10
4.1	DRIF TOMSTÄNDIGHETER	10
4.2	ANLÄGGNINGENS KYLEFFEKT	10
4.3	ANLÄGGNINGENS ELFÖRBRUKNING OCH COP	15
4.4	BERÄKNING AV AVFUKTNINGSFLÖDEN	18
4.5	ANLÄGGNINGENS AVFUKTNINGSEFFEKTIVITET	22
4.6	SKÖRD	23
4.6.1	MATERIAL OCH METODER	23
4.6.2	RESULTAT	25
4.6.3	DISKUSSION	33
5	UTVÄRDERING AV DEN UNDERSÖKTA ANLÄGGNINGEN	36
5.1	TEKNISK FUNKTIONALITET	36
5.2	PRESTANDA	37
5.3	INVERKAN PÅ PLANTOR OCH VÄXTHUSKLIMAT	40
5.4	ENERGIEKONOMI	41
5.5	DISKUSSION	42
6	LITTERATURFÖRTECKNING	44

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 av projektet redovisas i serie bestående av fyra rapporter, vilka kommer att publiceras i Novias publikationsserie 2015. I den första rapporten görs en översikt av tillgängliga metoder och tekniska lösningar för kylning och avfuktning. I denna rapport, den andra i serien, beskrivs och utvärderas den undersökta kyl- och avfuktningssystemet. I den tredje rapporten beskrivs modellering av växthus. I den fjärde rapporten görs en utvärdering av lönsamheten hos olika kyl- och avfuktningssystem.

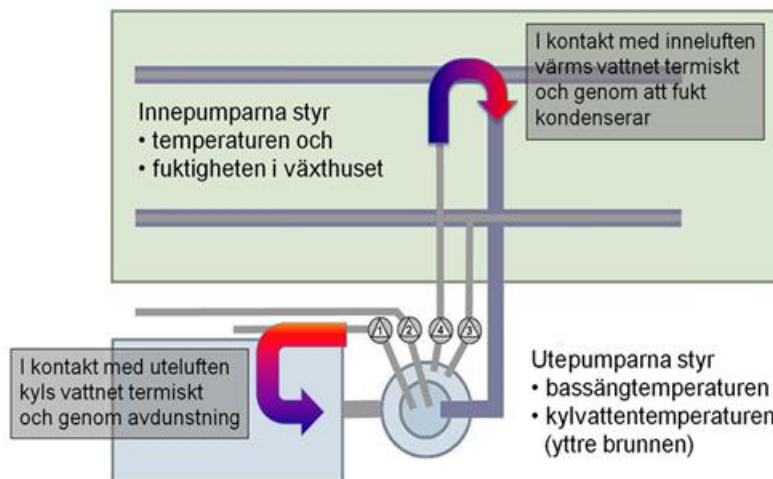
2 ANLÄGGNINGEN

2.1 VÄXTHUSET

Växthuset Norrås som användes i försöket är ett åshus av enkelglas, byggt 1994. Huset längd är 90 m och bredden 20 m. Växthusets bottenarea är 1800 m² och volymen 10 000 m³. Husets åsriktning är ungefär 30° ost om nord.

2.2 KYL/AVFUKTNINGSANLÄGGNINGENS UPPBYGGNAD

Kyl/avfuktningssystemets funktionsprincip sammanfattas i Figur 1. De aktiva komponenterna i systemet var fyra pumpar, som var varvtalsstyrda och hade en maxeffekt på 15 kW per pump. Anläggningen bestod av en inredel och en utedel. Pumparna till inredelen befann sig fysiskt i en separat byggnad utanför växthuset, men utgjorde en del av den vätskekrets som huvudsakligen löpte på insidan av växthuset.



Figur 1 Anläggningens uppbyggnad och funktionsprincip. Växthuset (grönt), bassängen (nere vänster), brunnarna (nere mitten) och de fyra pumparna.

Utedelen bestod av bassäng och sprinklingsanläggning för att kyla vattnet i bassängen. Sprinklingsanläggningen bestod av två separata pumplinjer (pumparna 1 och 2).

Inredelen bestod av två parallella vätskekretsar, vilka drevs av pumparna 3 och 4. Pumparna tog vatten ur den yttre brunnen och förde in det i växthuset där det föll som en vattenridå mellan växtraderna, samlades upp i en ränna och återfördes till den inre brunnen.

Brunnen utgjorde den punkt där de båda kretsloppen förenades. Brunnen bestod av en inre brunn och en yttre brunn, mellan vilka vattnet kunde strömma genom hål nära botten. Om endast innepumparna eller endast utepumparna var igång uppstod en nivåskillnad mellan inre brunnen och yttre brunnen som drev vatten mellan brunnarna. Även när både innepumpar och utepumpar var igång kunde, beroende på pumparnas varvtal, ett visst flöde mellan brunnarna förekomma och detta shuntningsflöde utgjorde skillnaden i vätskeflöde mellan de båda kretsloppen.

Brunnen, pumparna och vattenfiltreringsanläggningen fanns i en separat liten, för ändamålet byggd byggnad. Byggnaden var värmeisolerad och hölls vintertid frostfri med värmefläktar.

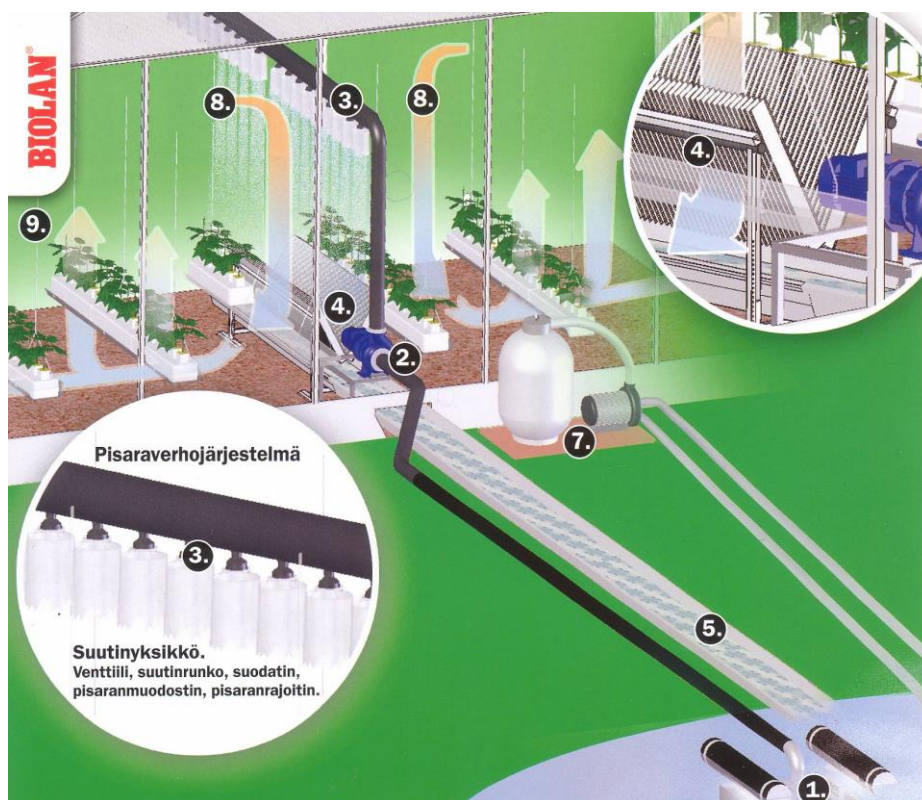
Vattnet renades kontinuerligt genom att det pumpades genom ett sandfilter. Filterpumpen gick oavbrutet. Den tog vatten ur ytterbrunnen och vattnet återfördes bassängen. Filterpumpens effektförbrukning var 1,8 kW.

2.3 INNEDELEN

I innekretsarna pumpades vattnet upp till rör som löpte i växthusets längdriktning på drygt 3 meters höjd. Vardera innepumpen försåg ett sådant rör med vatten. Vattnet sprinklades ut genom munstycken på 25 cm avstånd från varandra (Figur 2 och Figur 3).

Vattnet som föll genom luften drog med sig luft och orsakade en luftcirkulation i växthuset. Luft och vatten separerades genom att luften passerade en V-formad ränna av plastprofiler som stoppade vattnet när tröghetskrafter hindrade vattnet från att följa den sick-sack-bana som luften styrdes till av profilen. Vattnet rann längs plastprofilerna ner i en plåträna och fördes ut ur växthuset för kylning.

Det nominella vätskeflödet var 70 liter per sekund i vardera linjen. De båda parallella vattenkretsarna kunde köras fristående från varandra. Rören från pumparna till växthuset tömdes automatiskt när pumparna stannade.



Figur 2 Innerkretsens funktionsprincip. Den i projektet använda anläggningen avvek från anläggningen i figuren bl.a. genom att pumpen inte var belägen i växthuset utan i ett separat pumphus och genom att vattnet inte gick direkt till bassängen utan via en brunn. Källa: Novarbo produktbroschyr



Figur 3 Inneenhetens munstycken (vänster) och vattenseparerande plastprofiler (höger)



Figur 4 Bassäng och uteenhetens vattensprinkling

2.4 UTEDELEN

Utedelen bestod av två parallella vätskekretsar, vilka drevs av varsin pump. I vätskekretsarna togs vatten ur den inre brunnen och sprutades över bassängen för kylning (Figur 4). Mellan bassängen och yttre brunnen fanns ett bottenrör som återförde vatten till brunnen och höll nivån i brunnen ungefär samma som i bassängen.

De yttre vätskekretsarna hade dubbel funktion, dels kylde de vattnet som sprutades över bassängen, dels strömmade kallt vatten från bassängbotten in till brunnen när pumparna var igång. På detta sätt reglerades temperaturen i brunnen. Om utepumparna inte var igång rann vattnet från inre brunnen till yttre brunnen via bottenhålen och kylde inte alls. Vartefter kylvattnet cirkulerade från ytterbrunnen via växthus till innerbrunnen kom dess temperatur att gradvis stiga tills det nådde ett jämviktsläge. Denna jämviktstemperatur är inneluftens våta temperatur, vilken typiskt ligger några grader under växthusets temperatur.

När utepumparna gick på fullt varvtal rann inget vatten från inre brunnen till yttre brunnen via bottenhålen (ingen shuntning). Temperaturen i yttre brunnen, och därmed kylvattentemperaturen, blev då samma som bassängtemperaturen. Kylvattenkylningen var då maximal.

De båda utekretsarna var identiska så när som att kretsen med pump 1 har en ventil som kunde ställas om så att vattnet fördes direkt till bassängen via ett rör i stället för att gå via sprinklingen. Syftet med denna ventil var att kunna reglera brunnstemperaturen vintertid, när man inte kunde sprinkla vatten över bassängen p.g.a. att munstyckena riskerade att frysa igen. Vintertid var bassängtemperaturen så låg att det räckte med en pump för att reglera temperaturen i brunnen. Därför var endast ena kretsen försedd med denna vinterventil.

3 MÄT- OCH STYRSYSTEMET

3.1 ALLMÄNT OM MÄT- OCH STYRSYSTEMET

För uppbyggnaden av mät- och styrsystemet användes mät- och reglerenheten EXOFLEX från det svenska företaget REGIN. För övervakning och datalagring användes en fläktlös mini-PC med programvaran EXO4.

Mät- och styrsystemet (EXO) hade ingen kontakt med växthusets reglersystem (PRIVA). För att reglersystemen skulle samverka krävdes att inställningarna i EXO vid alla tidpunkter stämde överens med inställningarna i PRIVA. De inställningar det handlar om är börvärdena för temperatur och fukt, i praktiken bestående av en förinställd dygnskurva. Börvärdeskurvan i EXO system lades mellan uppvärmningskurvan och kylningskurvan i PRIVA. Fuktkurvan i EXO lades något under den nivå där PRIVA-systemet började öppna luckorna. Avsikten var alltså att kyl/avfuktningssystemet skulle starta innan PRIVA öppnade luckorna och därmed förhindra att luckorna öppnades.

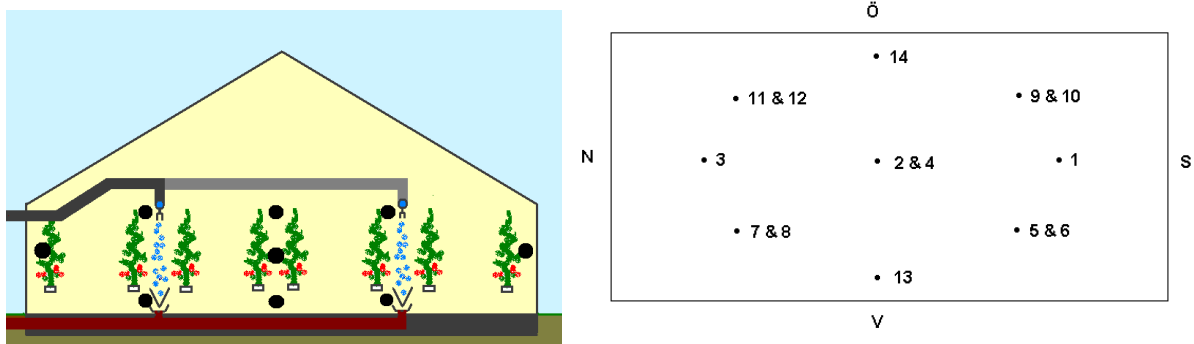
3.2 UPPMÄTTA VARIABLER

Temperaturen och fuktigheten hos luften i växthuset mättes med mätboxar belägna i 14 punkter (Figur 5). Varje mätbox var gjord av rostfri plåt och innehöll en kombinerad temperatur- och fuktsensor. Fuktsensorn var av kapacitiv typ. Mätboxen innehöll också en fläkt som blåste luft genom boxen för att luften i boxen inte skulle värmas upp p.g.a. strålning. När under mätningarnas gång en fläkt gick sönder kunde man konstatera att temperaturskillnaden i den mätboxen höll en flera grader högre temperatur än de andra, varav man kan dra slutsatsen att fläktar är nödvändiga för att få ett korrekt mätresultat.

Av mätpunkterna var sex punkter utspridda i växthuset, så att de mätte luftens tillstånd uppe (punkt 4) och nere (punkt 2), i södra delen (punkt 1) och norra delen (punkt 3), längs västra väggen (punkt 13) och östra väggen (punkt 14). Punkterna 1 & 3 var belägna nära PRIVA-systemets mätboxar och på samma höjd som dessa och förväntades alltså ge samma värden som dessa.

De övriga åtta mätboxarna var placerade längs kyl/avfuktningssystemet och mätte luften som kom in till vattensprinklingen uppifrån (punkt 5, 7, 9 och 11) och luften som åkte ut från sprinklingen genast efter vattensepareringsprofilen (6, 8, 10 och 12). Mätpunkterna var belägna i södra och norra delen av vardera linjen och på ett avstånd av ca 20 meter från växthusets gavlar.

Temperaturen och fuktigheten hos uteluften mättes med en kombinerad temperatur- och fuktsensor placerad i höjd mednocken av växthuset och cirka en meter från gaveln (Figur 6). I samma väderstation fanns också sensorer för strålning och vindförhållanden. Även strålningen på insidan av växthuset registrerades.



Figur 5 Fukt/temperatursensorernas placering sedda a) från södra gaveln, b) uppifrån



Figur 6 Väderstation med sensorer för vindhastighet och riktning (överst), globalinstrålning, temperatur och fuktighet samt FIR-strålning (nedre tvärbommen)

Temperaturen i bassängen mättes i två punkter. En Pt-100 sensor var monterad på en flytboj så att den befann sig just under ytan, en annan temperatursensor monterades på ett sänke så att den befann sig just ovan botten av bassängen.

I brunnen monterades en sensor i ytterbrunnen och en i innerbrunnen. Bägge sensorerna var belägna långt nere. Sensorn i ytterbrunnen var belägen just vid inloppet till pumparna för att, ifall det fanns skillnader mellan olika punkter i brunnen, korrekt mäta temperaturen hos vattnet som gick in till innekretsen.

Temperaturskillnaden mellan inkommande och utgående vatten i vattenridåerna uppmättes med en temperaturdifferenstransmitter och speciellt utvalda DIN-A Pt-100 sensorer med hög likhet i temperaturkoefficient. På detta vis kunde temperaturskillnaden mätas med en osäkerhet om endast 0,02 °C, vilket var betydelsefullt då temperaturskillnaderna ofta var mindre än 1 °C.

3.3 REGLERMETODIK

3.3.1 KYLVATTENFLÖDE

Innepumparna styrdes enligt växthusets kylbehov och avfuktningens behov. Kylbehovet avgjordes genom att automatiken jämförde medeltalet av temperaturerna i mätbox 1 och 3 (belägna på samma ställen som PRIVA-systemets motsvarande mätboxar) med temperaturbörvärdet enligt den inställda dygnskurvan. På samma sätt jämfördes den relativa fuktigheten i mätbox 1 och 3 med ett börvärde.

Både temperatur- och fuktregulatorn var av PI-typ. Beroende på överskridningens storlek och varaktighet gav vardera regulatorn ett utvärde mellan 0 och 100 %. Utvärdena från temperaturregulatorn och fuktregulatorn slogs ihop till ett enda totalt utvärde, vilket sedan bestämde innepumparnas varvtal och därmed kylvattenflödet. Totala utvärdet utgjorde den direkta summan av de båda regulatorvärdena, dock så att värdet inte kunde vara mer än 100 %.

För vardera innepumpen översattes totala regulatorutvärdet till ett varvtal enligt en reglerkurva, där ett högre regulatorvärde medförde ett högre varvtal. Ytterligare angavs för vardera pumpen ett startvärde och ett stoppvärde. Startvärdet var större än stoppvärdet vilket gav en hysteres för att undvika alltför täta starter.

Maximivarvtalet berodde av flödesmotståndet i kretsen. Flödesmotståndet i kretsen vid olika tidpunkter berodde av hur många munstycksventiler som var öppna och hur rena filtren och munstyckena var. Vid för högt varvtal rann vattnet över i rörändarna. Maximalt varvtal med alla munstycksventiler öppna och helt rena filter låg på ca 50 Hz. I praktiken uppnåddes detta varvtal endast då anläggningen var ny. I senare skeden var maximala varvtalet ofta mellan 30 och 40 Hz. Vid låga flöden nådde vattnet inte ända ut till ändarna av rören. För att uppnå någorlunda jämna förhållanden i växthusets längdriktning hölls vintertid, när låga flöden räckte till för kylning och avfuktning, bara en del av munstycksventilerna öppna.

Ett visst minimivarvtal krävdes för att generera ett flöde i systemet. Sprinklingsrören låg cirka en meter under systemets högsta punkt. För att få igång flödet måste pumparna alltså skapa ett tryck som räckte till för att vattnet skulle komma upp till systemets högsta punkt. När denna väl nåtts rann vattnet ner till sprinklingsrören. Sughävertteffekten gjorde att det då uppstod ett visst minimiflöde så fort minimivarvtalet överskreds. P.g.a. detta minimiflöde var det inte möjligt att reglera flödet så lågt att pumparna skulle ha gått kontinuerligt vintertid. Den kyleffekt och avfuktningseffekt som uppnåddes redan vid minimiflöde var tidvis större än behovet, vilket i praktiken ledde till reglering av on/off-typ vid sådana tidpunkter.

3.3.2 KYLVATTENTEMPERATUR

Teoretiskt påvisades (se del 3 i denna rapportserie) att man genom att reglera kylvattnets temperatur uppnår olika grad av avfuktning i förhållande till kylning. Kylvattnets temperatur reglerades därför enligt om det primärt förelåg avfuktningens behov (lägre kylvattentemperatur) eller kylbehov (högre kylvattentemperatur). Också kylbehovets respektive avfuktningens behovets storlek påverkade kylvattentemperaturen (lägre kylvattentemperatur vid högre regulatorvärde).

Kylvattentemperaturen reglerades genom att i lämplig mån ta in kallare vatten från bassängen till brunnen. Det här gjordes genom att reglera varvtalet på utepumparna med en PI-regulator som jämförde temperaturen vid inloppet till innepumparna med börvärdet för kylvattentemperaturen.

Bassängtemperaturen utgjorde nedre gräns för den kylvattentemperatur som vid varje tidpunkt kunde uppnås. Om tillgänglig kylvattentemperatur var så hög att avfuktning inte var meningsfull lät automatiken innepumparna stå.

3.3.3 BASSÄNGKYLNING

När utepumparna användes för bassängkylning gick de på konstant varvtal, vanligen 40 Hz, så länge kylbehov fanns. Kylbehov förelåg om bassängtemperaturen överskred en inställd maximinivå. För att pumparna skulle starta krävdes dessutom att kylförutsättningen var tillräckligt god. Som kriterium användes att uteluftens våta temperatur måste ligga tillräckligt mycket, vanligen några grader, under bassängtemperaturen. Dessutom användes en hysteres för att undvika alltför täta starter.

Brunnstemperaturregleringen hade prioritet framom bassängkylningen. Om någon innepump var igång reglerades utepumparnas varvtal så att den av inneregulatorerna bestämda brunnstemperaturen uppnåddes. När låg temperatur i brunnen efterfrågades av inneregulatorerna krävdes en betydande inblandning av bassängvatten, vilket innebar att ena eller båda utepumparna genererade ett kraftigt vattenflöde genom sprinklingen. Då skedde automatiskt också en bassängkylning. Om däremot en hög temperatur i brunnen önskades var inblandningen av bassängvatten liten. Utepump 1 gick då med lågt varvtal. Sprinklingsstrålen blev kort och bassängkylningen liten.

Att utepumparna användes både för att reglera kylvattentemperaturen och för bassängkylningen innebar en reglermässig konflikt. Att kylvattentemperaturregleringen gavs prioritet innebar att bassängen inte nödvändigtvis kyls optimalt. Mer gynnsamt ur bassängkylningssynpunkt skulle ha varit att bassängkylningen satts igång på full effekt alltid när den önskade bassängtemperaturen överskridits. I praktiken var skillnaden inte nödvändigtvis så stor eftersom den efterfrågade temperaturen oftast låg under bassängtemperaturen.

3.3.4 KONTINUERLIG EFFEKTIVITETSBEDÖMNING

Eftersom den kylvattentemperatur som skulle behövts inte alltid var möjlig att uppnå förelåg risk för att anläggningen skulle pumpa runt vatten till liten nytta, eller t.o.m. så att anläggningen skulle motverka det eftersträfvade syftet. Det kan visas (se del 3 av denna rapportserie) att avfuktningseffektiviteten blir dålig när kylvattentemperaturen ligger just under daggpunkten och att avfuktningen helt upphör när kylvattentemperaturen ligger över daggpunkten. Reglersystemet försågs därför med ett tilläggs villkor för pumpgång så att när det förelåg avfuktningens behov men inte kylbehov krävdes att tillgänglig kylvattentemperatur låg tillräckligt mycket under växthusets daggpunkt. Inställningen varierade under försöksperioden, men vanligen krävdes minst 5 grader differens.

På motsvarande sätt får kylningen dålig COP om kylvattentemperaturen ligger mycket nära växthusets temperatur. När kylvattentemperaturen ligger över daggpunkten sker en fuktillförsel från vattnet till växthuset. Det finns då också risk för att kylningen gör att fukthalten blir för hög vilket kan göra kylningen kontraproduktiv genom att den höga fukthalten får luckorna att öppnas snarare än stängas. Av denna orsak försågs reglersystemet med ett villkor enligt vilket pumparna kunde gå bara om tillgänglig kylvattentemperatur underskred växthusets temperatur tillräckligt mycket. Inställningen varierade under försöksperioden, men vanligen krävdes minst 5 grader differens.

4 EXPERIMENTELLA RESULTAT

4.1 DRIFTOMSTÄNDIGHETER

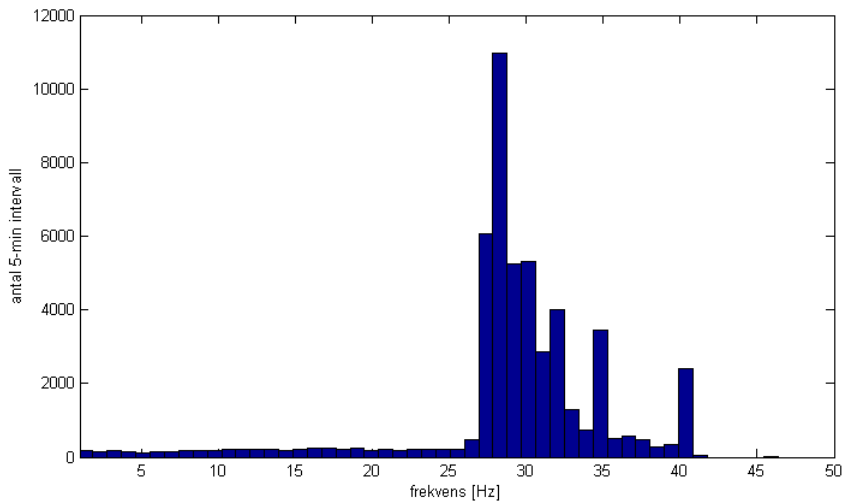
Anläggningen installerades under maj–juni 2010 och överläts i början av juli 2010. I mitten av juli planterades nya tomatplantor. Hösten 2010 var en period av inledande undersökning av anläggningens egenskaper samt utveckling och testning av reglersystemet. Från 15.11.2010 användes anläggningen mer kontinuerligt och dataloggningen inleddes. I växthuset fanns då fullstora tomatplantor som odlades med belysning.

Under december 2010 rådde rätt kallt väder och anläggningen gick inte så mycket. Under perioden 30.12.2010–20.1.2011 var anläggningen avstängd på växthusägarens begäran. Plantorna såg inte välmående ut och man ville eliminera alla potentiella störningsfaktorer. Just efter att anläggningen igen tagits i bruk, 22.1, inträffade en översvämning i pumphuset, vilken krävde reparationsåtgärder. Sedan följde en längre period av mycket kallt väder och anläggningen togs i bruk igen först en månad senare, 22.2.2011. I slutet av mars 2011 gjordes mellanplantering och anläggningen togs då ur bruk under sju veckor (25.3–10.5.2011) tills de nya plantorna hade fått sådan stadga att de kunde hållas borta från det fallande vattnet. Under sommaren 2011 kördes anläggningen kontinuerligt alltid när behov och driftförutsättningar fanns.

I början av september 2011 toppades plantorna och i mitten av oktober 2011 upphörde odlingen. Växthuset tömdes och stod tomt och endast underhållsvarmt fram till början av februari 2012, då ny plantering av tomat gjordes. Odlingen var under hela den efterföljande säsongen obelyst. Anläggningen togs igen i drift 19.3.2012 när plantorna nått tillräcklig stadga. En vecka senare tömdes, rengjordes och reparerades bassängen, vilket innebar en veckas uppehåll. Från 4.4.2012 var anläggningen sedan i drift i stort sett kontinuerligt fram till mitten av oktober 2012 då odlingen upphörde. Mätdata som analyserats sträcker sig dock bara fram till 23.8.2012 då det egentliga analysarbetet inleddes.

4.2 ANLÄGGNINGENS KYLEFFEKT

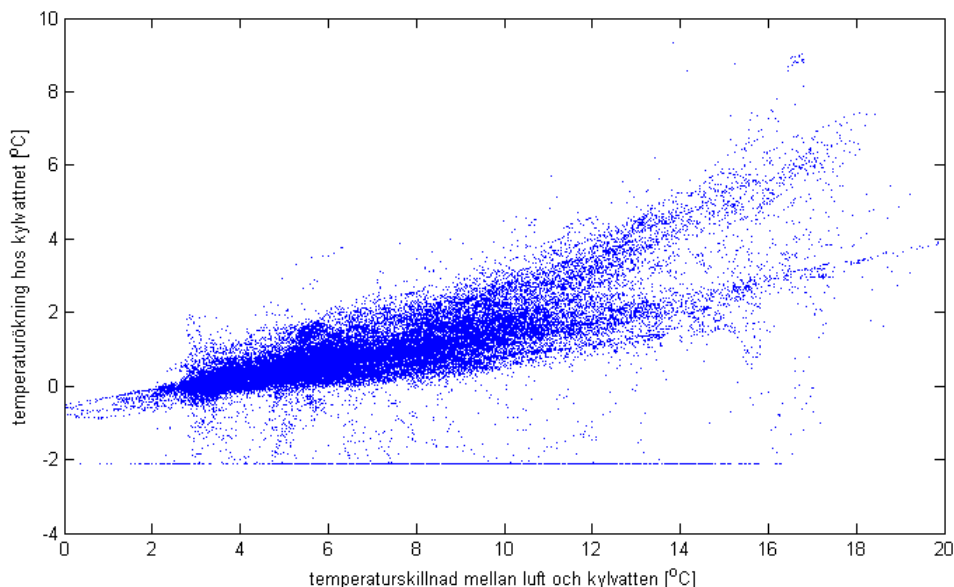
Pumparna var inverterstyrda och inverters frekvens loggades i databasen. Antalet tidpunkter med olika frekvens ses i diagram Figur 7. För innepumparna är minimifrekvensen cirka 27 Hz. Värdet mindre än 27 Hz är tidsintervall när pumpen varit i gång endast en del av tiden. Frekvensen registreras då som ett viktat medeltal av 0 och 27 Hz. Pumpen för västra linjen var i gång 25 % av tiden, medan pumpen för östra linjen var i gång 20 % av tiden. Skillnaden beror på att när behovet var litet användes bara en pump och västra linjens pump var vanligen inställd att gå igång först. Av Figur 7 framgår att pumparna gått med låg frekvens största delen av tiden. Orsaken är ibland att det räckte med ett litet flöde, ibland att filtren var igensatta så att man inte kunde köra på högre frekvens.



Figur 7 Histogram över antalet datapunkter med olika pumpfrekvens för västra linjen.

Efter att en pump startat tog det ungefär en minut innan systemet uppnått stationärt flöde. Data under den första minuten är därför klart otillförlitligt. Det tog också en stund innan temperatursensorerna hunnit reagera på flödet och brunnstemperaturen nått ett jämviktsläge. Efter att pumpen varit igång fem minuter hade dessa transientstörningar till stor del försvunnit. I den fortsatta analysen tas med bara de datapunkter där pumpen redan varit igång minst fem minuter.

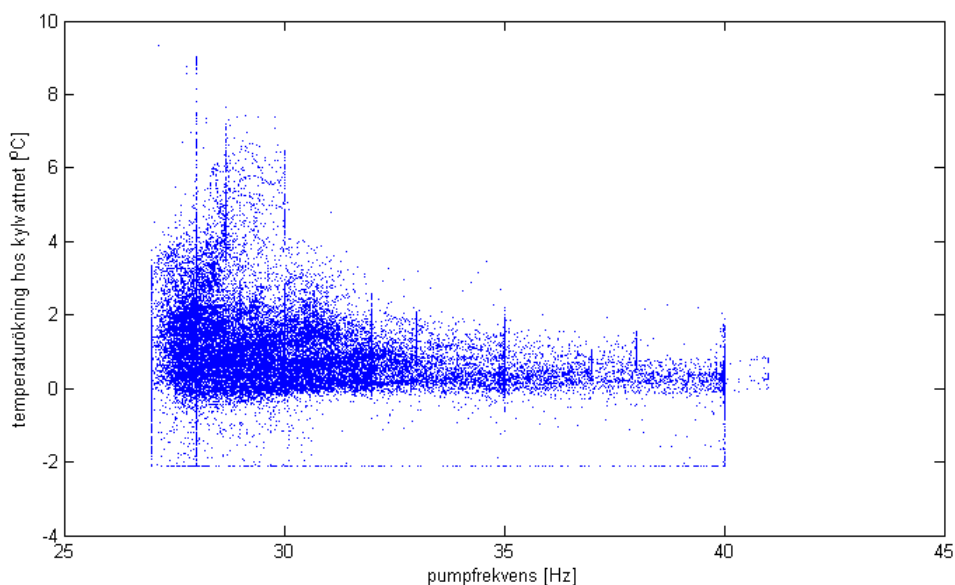
Figur 8 visar temperaturökningen hos kylvattnet i västra linjen mot temperaturdifferensen mellan växthusluften (före kylning) och kylvattnet (före luftkontakt). Av figuren framgår att kylvattnets temperatur ökar mer då det är större skillnad mellan luftens och vattnets temperatur. Temperaturökningen är negativ då skillnaden mellan kylvatten och luft är mindre än ungefär tre grader, vilket är när vattentemperaturen överstiger luftens våttemperatur.



Figur 8 Temperaturskillnad mellan luft och kylvatten i västra linjen. Varje datapunkt är ett femminutersintervall. Lufttemperaturen är här växthusets medeltemperatur.

Figur 9 visar kylvattentemperaturökning mot pumpfrekvens för västra linjen. Diagrammet visar att hög temperaturökning förekommer bara vid låga frekvenser. Det är delvis en naturlig följd av att

pumparna alltid startar med låg frekvens och ökar frekvensen om kyleffekten inte räcker till. När vattnet i bassäng och brunn är kallt blir kyleffekten redan vid låga flöden stor och pumparnas frekvens hålls låg. Samtidigt är temperaturökningen hos kylvattnet stor då temperaturskillnaden till växthusluften är stor. Den totala avsaknaden av punkter med hög frekvens och stor temperaturökning har också en annan förklaring. När frekvensen ökar blir vattenflödet större. Luftflödet ökar också, men inte lika snabbt, och därför kommer andelen luft i förhållande till vatten att minska med ökad pumpfrekvens. Den tillgängliga energin hos luften räcker då inte till för att höja temperaturen hos vattnet lika mycket som vid låga flöden, enligt figuren inte mer än en knapp grad.

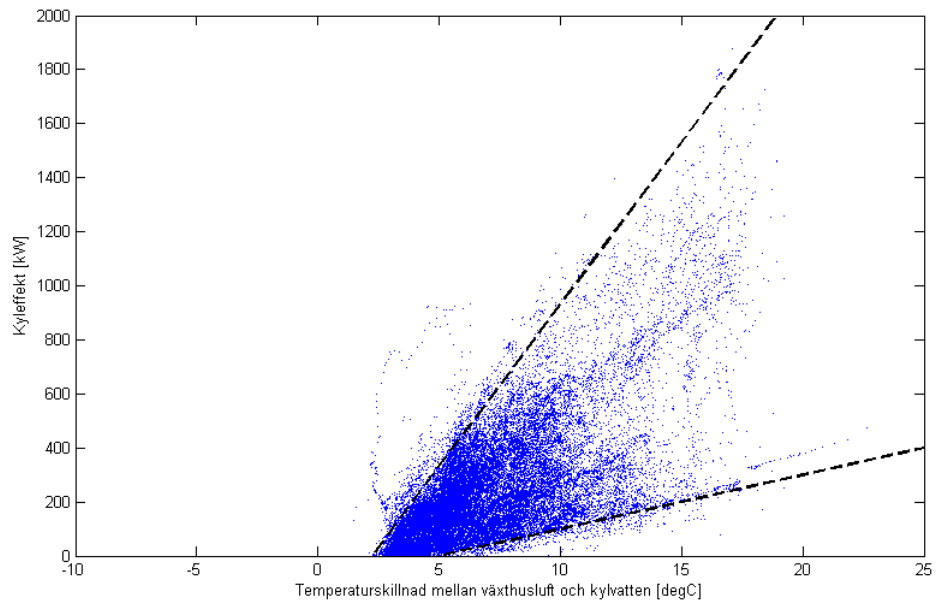


Figur 9 Kylvattnets temperaturökning mot pumpfrekvensen för västra linjen.

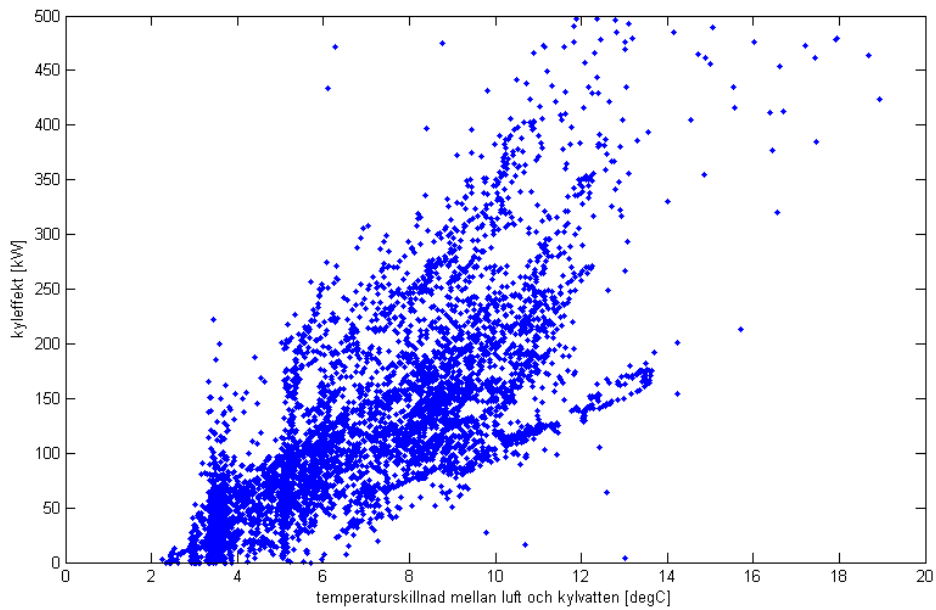
I Figur 10 visas sambandet mellan kyleffekt och temperaturskillnad. Punkterna ligger i stort sett mellan två linjer. Av figuren framgår klart att den möjliga kyleffekten minskar med temperaturskillnaden. När temperaturskillnaden är t.ex. 5 grader når man som högst 400 kW kyleffekt.

Anläggningens kyleffekt kunde teoretiskt förväntas bero av två faktorer, dels hur stor temperaturskillnaden mellan växthusluften och kylvattnet är, dels hur stort kylvattenflödet är. Kylvattenflödets storlek kunde då förklara spannet mellan de två linjerna i Figur 10. Ett försök att separera dessa två variabler kullkastar snarare än bekräftar denna hypotes. För en given pumpfrekvens är kyleffekten, trots en betydande spridning, klart relaterad till temperaturskillnaden mellan växthusluft och kylvatten (Figur 11). För en given temperaturskillnad verkar det däremot inte finnas något klart samband mellan pumpfrekvens och kyleffekt (Figur 12). Samma osystematiska utseende återfinns oberoende av vilken temperaturdifferens man använder. Eventuell kan man för lägre temperaturdifferenser se en ökning mellan 28 och 32 Hz, men över 32 Hz verkar sambandet helt klart upphöra. Orsaken till spridningen i Figur 10 måste alltså huvudsakligen bero av någon annan faktor än kylvattenflödet. Luftfuktigheten och växthustemperaturen kan ha en inverkan. Även fast man begränsar dessa faktorer till smalare intervall finns betydande oförklarad spridning kvar.

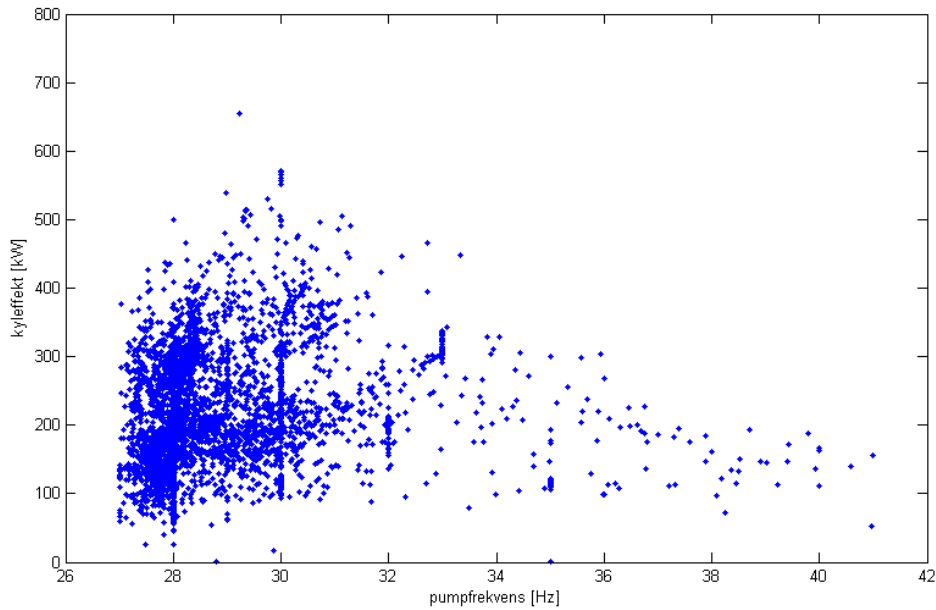
Den slutsats man måste dra av Figur 11 och Figur 12 är att den kritiska faktorn för kyleffekten är tillgänglig kylvattentemperatur och att det inte nödvändigtvis hjälper att höja flödena i systemet. Orsaken kan vara att luften redan vid måttliga kylvattenflöden avger den värmemängd som kan avges och att ytterligare kylvattenflöde bara späder ut energin på större vattenmängd. Inne pumparna verkar mot bakgrund av detta vara klart överdimensionerade.



Figur 10 Kyleffekt mot temperaturskillnad mellan växthusluft och kylvatten. Punkterna faller mellan två gränslinjer. Orsaken till variationen mellan dessa linjer har inte kunnat fastställas.

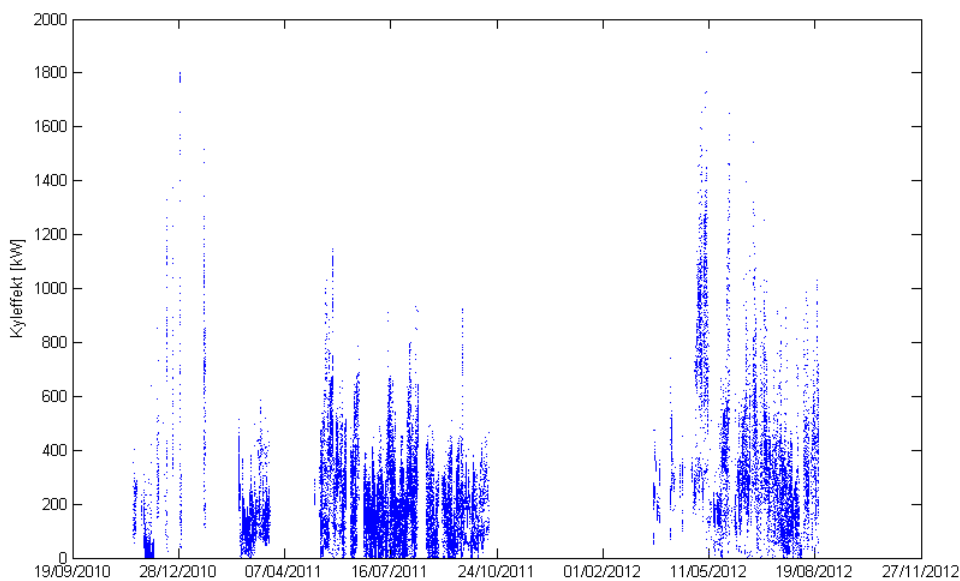


Figur 11 Kyleffekt mot temperaturskillnad mellan växthusluft och kylvatten då pumpfrekvensen är 29,5–30,5 Hz.

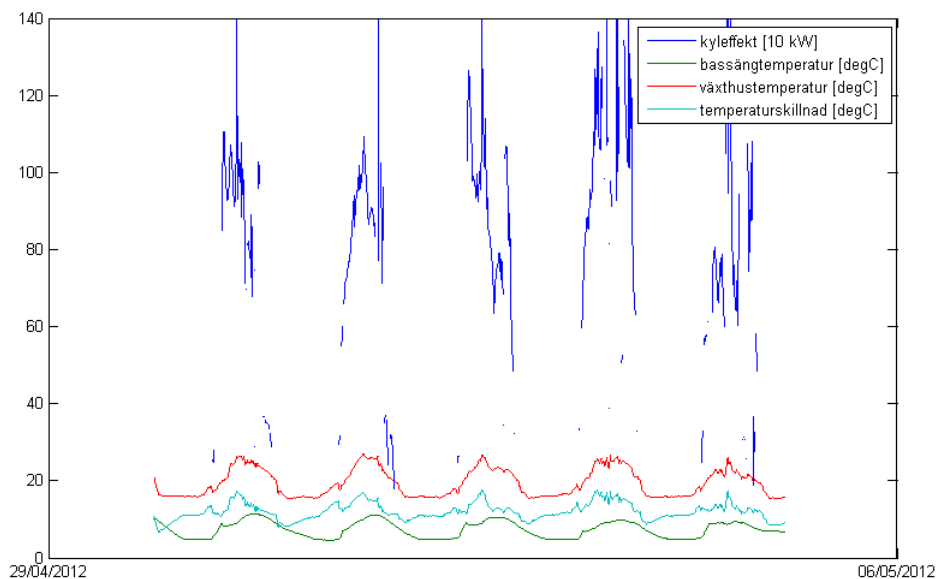


Figur 12 Kyleffekt mot pumpfrekvens då temperaturskillnaden mellan växthusluft och kylvatten är 10–12 grader.

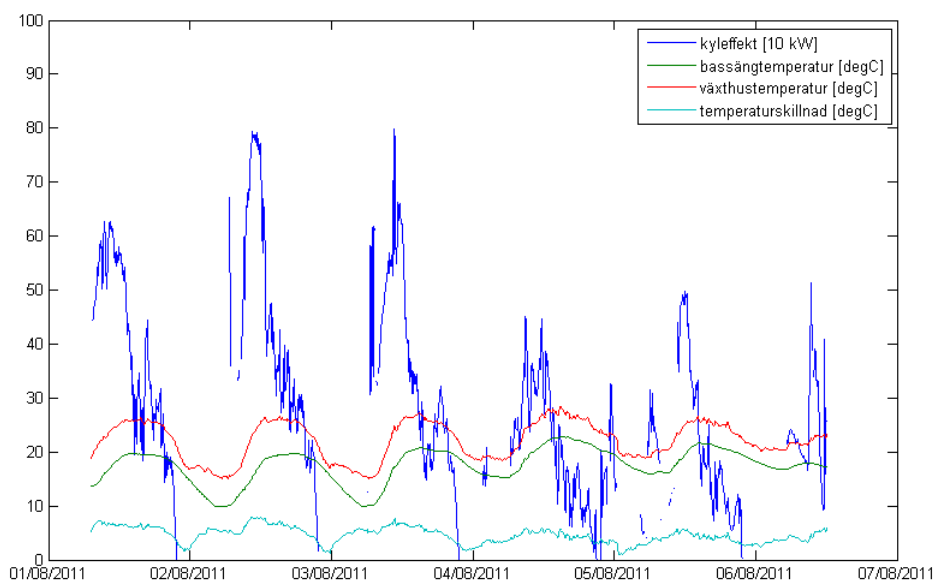
Anläggningens totala kyleffekt över tid visas i Figur 13. Av figuren framgår att de högsta mer kontinuerliga kyleffekterna uppnåddes i början av maj 2012. Kylvattentemperaturen var då tillräckligt låg för att kunna generera kyleffekter kring 1000 kW (Figur 14). Mot slutet av sommaren var kyleffekten mestadels under 400 kW, vilket var otillräckligt för att möta kylbehovet och hålla växthuset slutet. Under denna period var kyleffekten ofta bättre på förmiddagen, innan bassängtemperaturen hade hunnit stiga (Figur 15). Orsaken till att tillräcklig kyleffekt inte uppnåddes var att utelufttemperaturen inte möjliggjorde kylning av bassängen till tillräckligt låg temperatur. Även igensatta filter gjorde att kylvattenflödet var begränsat, men som konstaterats ovan torde detta ha en mindre inverkan.



Figur 13 Kyleffekt vid olika tidpunkter.



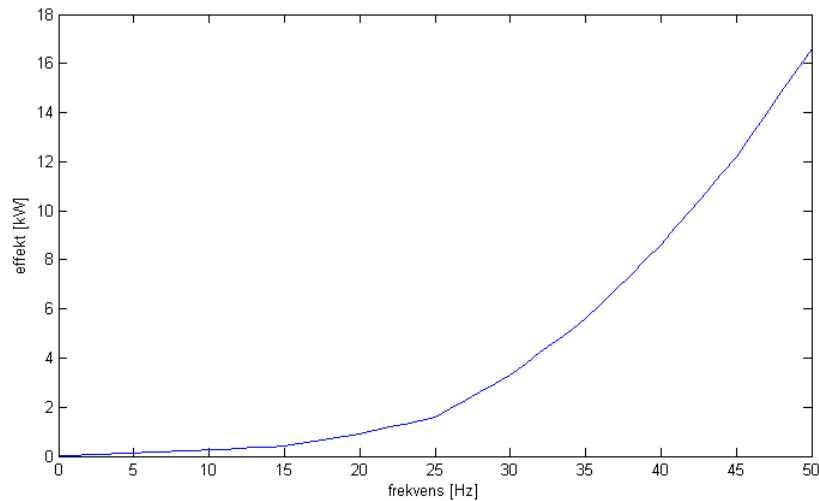
Figur 14 Kyleffekt under fem dygn i maj 2012.



Figur 15 Kyleffekt samt växthustemperatur och lufttemperatur under sex dagar i augusti 2011. Kyleffekten är högst under förmiddagen.

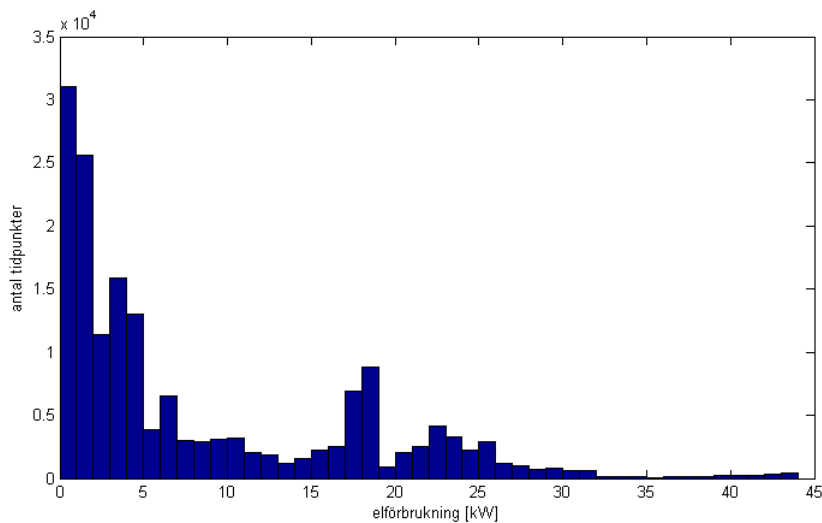
4.3 ANLÄGGNINGENS ELFÖRBRUKNING OCH COP

Pumparnas sammanlagda effekt och den kumulerade elförbrukningen uppmättes kontinuerligt. Effekten för de fyra enskilda pumparna kan approximativt beräknas utgående från en vid ett enskilt tillfälle uppmätt kurva över effektförbrukningen vid olika varvtal. Kurvan visas i Figur 16.

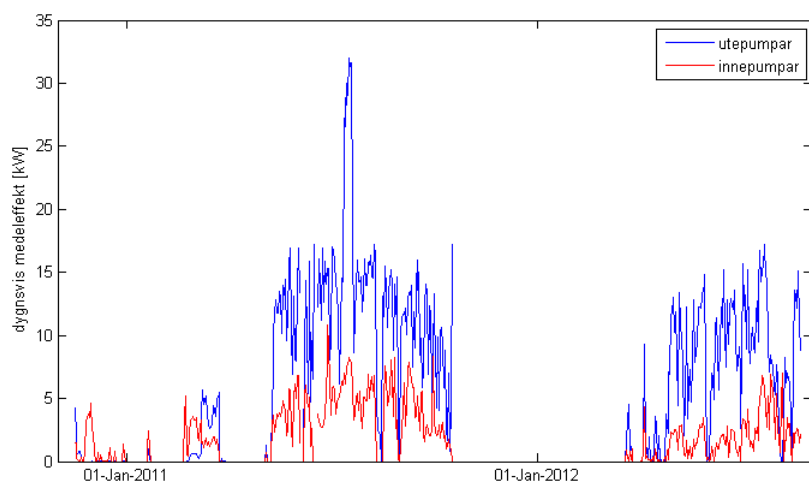


Figur 16 Elektrisk effektförbrukning vid olika frekvens för pumparna. Kurvan är uppmätt med 5 Hz intervall från 15 till 50 Hz.

Ett histogram över den elektriska effektförbrukningen visas i Figur 17. Den dygnsvisa medeleffekten för utepumparna och innepumparna visas i Figur 18. Av figuren framgår att utepumparna är de som förbrukar mest effekt. Stor del av effektförbrukningen inträffar under sommarhalvåret. Det beror på att kylbehovet är större under sommaren men också på att verkningsgraden är sämre när kylvattnet är varmt. Under sommaren 2012 var effektförbrukningen lägre än under sommaren 2011. Det beror på att munstyckena i innesystemet var stockade och inte tillät körning på högre varvtal och därmed högre effekt. Effektbehovet för bassängkylning minskade då också, men inte i samma grad.

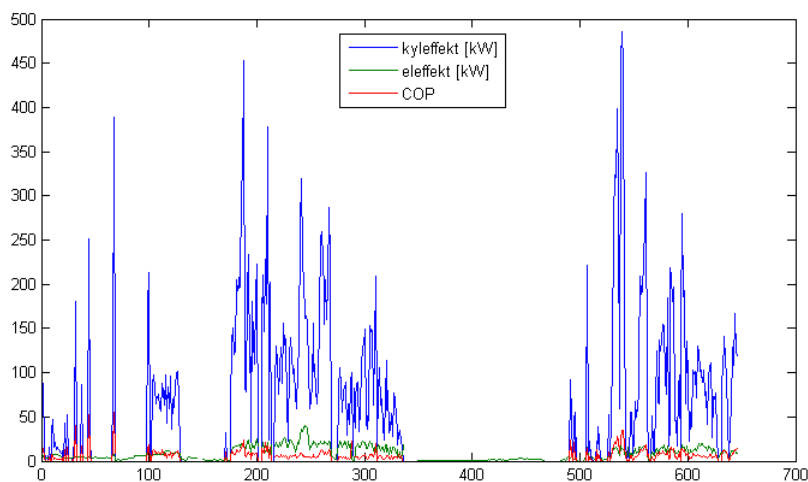


Figur 17 Histogram över sammanlagda elförbrukningen. Styrsystemet, filterpump och vintertid en värmefläkt genererar en grundförbrukning om 1–5 kW. Toppen vid 18–19 kW är de tidpunkter, främst nattetid, då utepumparna är igång för att kyla bassängen och innepumparna inte är igång.

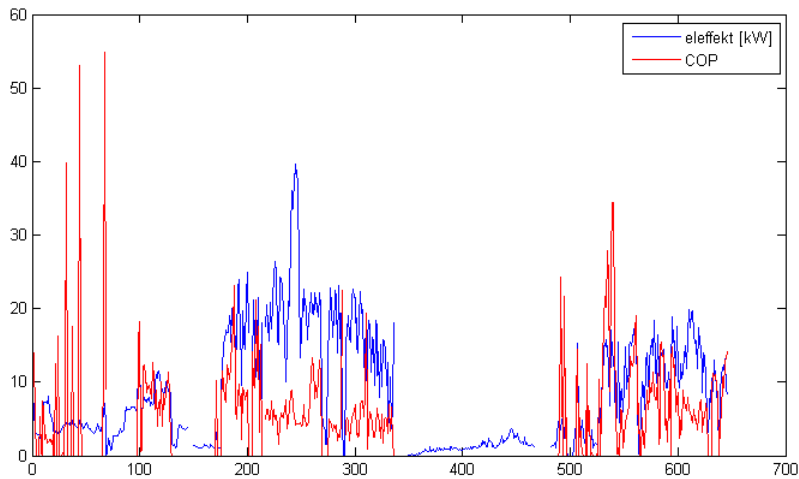


Figur 18 Dygnsvis medeleffekt för utepumparna och innepumparna.

Det är inte värst meningsfullt att beräkna momentana värden för COP, dvs. kvoten mellan kyleffekt och elektrisk effekt. Det beror på att kylningen av bassängen inte inträffar tidsmässigt samtidigt som kylningen av växthuset. För att förbättra effektiviteten kyls bassängen i första hand nattetid. En beräkning av COP görs därför lämpligen på dygnsbasis. Dygnsvisa medeltal för kyleffekt, eleffekt och COP visas i Figur 19. I Figur 20 visas COP och eleffekt. Det viktade medeltalet för COP över hela tidsperioden är 6,0. Värdet varierar betydligt, främst enligt årstid. Under vintern och våren är behovet av bassängkylning lågt och hög kylning uppnås även vid låga effekter hos innepumparna. COP blir då högt. Momentant kan COP vara mycket högt vintertid. Kylbehovet är emellertid begränsat och baseffektbehovet för filterpump och värme i pumphuset drar ned det dygnsvisa COP-medelvärdet.



Figur 19 Dygnsvisa medeltal för kyleffekt, eleffekt och COP under hela tidsperioden. Värdet för COP är beräknat som dygnsmedeltalet av kyleffekten delat med dygnsmedeltalet för eleffekten. Horisontella axeln anger antalet dygn från mätstart.



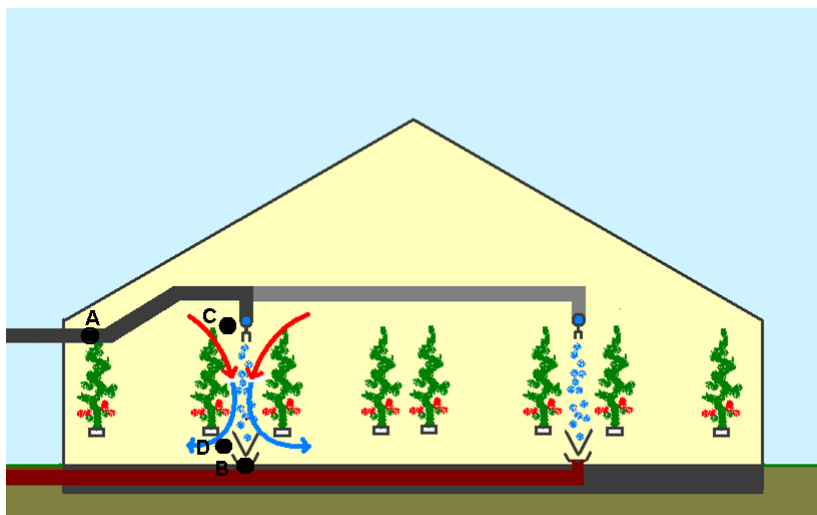
Figur 20 Dygnsvisa medeltal för eleffekt och COP under hela tidsperioden. Värdet för COP är beräknat som dygnsmedeltalet av kyl-effekten delat med dygnsmedeltalet för eleffekten.

4.4 BERÄKNING AV AVFUKTNINGSFLÖDEN

Det totala energiflödet till dropparna under fallrörelsen genom luften kan bestämmas utgående från temperaturökningen hos dropparna. Detta kan göras genom att mäta temperaturen före ($t_{v,in}$) och efter droppridån ($t_{v,ut}$) samt vattenflödet. Det överförda värmeflödet till hela ridån ges då av ekvationen

$$4.1 \quad \dot{Q}_{tot} = \dot{m}_v c_{pv} \cdot (t_{v,ut} - t_{v,in})$$

där \dot{m}_v är vattnets massflöde och c_{pv} vattnets specifika värmekapacitet. Mätningen utförs i praktiken i punkterna A och B i Figur 21. Temperaturskillnaden mellan dessa båda punkter uppstår huvudsakligen via luftkontakten, men en mindre del uppstår genom rörfriktion, genom omvandling av lägesenergi till värme i fallrörelsen och genom värmeöverföring under strömningen i rör och ränna. Energin för rörfriktion och lägesenergi tillhandahålls av pumpen och pumpeffekten utgör en övre gräns för denna. Beroende på pumpfrekvens ger den upphov till en uppvärmning om högst 0,2–0,4 °C för pumpfrekvenser mellan 27 Hz och 40 Hz. Vid stationärt tillstånd torde den termiska uppvärmningen i rör och rännor i många situationer vara försumbar. Just när anläggningen startar kan den vara betydande. Vid kraftig solstrålning kan den av rörsystemet absorberade värmen uppgå till ca 10 kW och därmed orsaka en uppvärmning om mellan 0,05 °C (vid 40 Hz pumpfrekvens) och 0,12 °C (vid 27 Hz pumpfrekvens).



Figur 21 Mätpunkter för beräkning av kyleffekt och avfuktningens flöde. Vattentemperaturen mäts där inloppsroren kommer in i växthus (A) och där uppsamlingsrännorna mynnar ut i utloppsroren (B). Luftens temperatur mäts just ovanför vattenridån (C) och där luften kommer ut från droppsepareringen (D).

Ångflödet till dropparna kan inte mätas direkt. I princip kunde man mäta vattenflödet i punkt A och B i Figur 21 och beräkna mellanskillnaden men den massökning det handlar om skulle drunkna i mätosäkerheten. Ångflödet kan däremot beräknas indirekt på två olika sätt.

1) När man känner till vattenridåns temperatur samt luftens entalpi och vatteninnehåll kan man, enligt teoretisk analys i del 3 av denna rapportserie, räkna ut ångflödet \dot{m}_a utgående från totala värmeflödet \dot{Q}_{tot} (latent och sensibelt) mellan luft och vattenridå med ekvationen

$$4.2 \quad \dot{m}_a = \frac{x_l - x_y}{h_l - h_y} \cdot \dot{Q}_{tot}$$

I denna ekvation är x_l luftens vatteninnehåll, h_l luftens entalpi, x_y vatteninnehållet hos mättad luft med vattenridåns temperatur och h_y entalpi hos mättad luft med vattenridåns temperatur. Ekvationen förutsätter konstanta värden för dessa tre storheter. Vartefter vattendropparna faller genom luften förändras alla tre. En noggrann analys skulle förutsätta mer detaljerad kännedom om växelverkan mellan vattendroppar och luft under olika skeden av fallrörelsen. Detta innebär en avsevärd komplikation. Som approximation används i stället ett medeltal av värdet före och efter processen för alla tre storheterna.

2) Man kan också utgå från förändringen i luftens vatteninnehåll under kontakten med vattenridån. Luften sveps med det fallande vattnet och man får ett luftflöde enligt Figur 21. Luftens tillstånd mäts i punkterna C och D, dvs. före och efter vattenkontakten. Luftflödet mäts inte men kan beräknas utgående från luftens entalpi förändring enligt ekvationen

$$4.3 \quad \dot{Q}_{tot} = \dot{m}_l \cdot (h_m - h_{ut})$$

Ångflödet från luft till vattenridå kan beräknas utgående från förändringen i luftens vatteninnehåll enligt

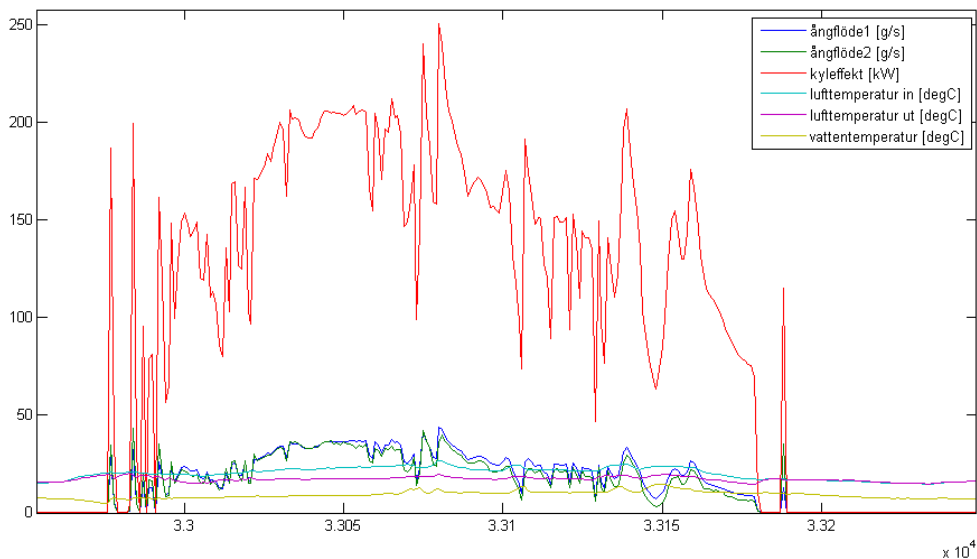
$$4.4 \quad \dot{m}_a = \dot{m}_l \cdot (x_{in} - x_{ut})$$

Genom att kombinera ekvationerna (6.2) och (6.3) fås

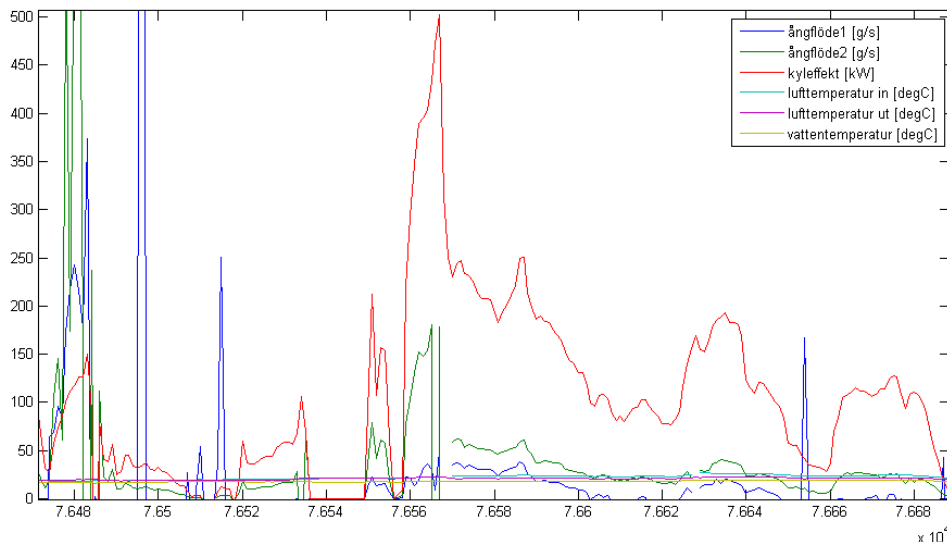
$$4.5 \quad \dot{m}_a = \frac{x_{in} - x_{ut}}{h_{in} - h_{ut}} \cdot \dot{Q}_{tot}$$

Båda metoderna förutsätter att luftflödet sker som i Figur 21. Undersökning med spårrok i växthuset visade att det uppstår en viss återcirkulation av den avfuktade luften så att en del av den stiger uppåt och flödar in i vattenridån på nytt ungefär halvvägs i ridån. Denna återcirkulation är svår att kvantifiera. Beräkningsmetod 1 torde vara mer känslig för denna störning. Med metod 2 kan den ses som en rent intern process. Rökförsöket ger emellertid skäl att förmoda att en viss mängd luft också annars sugts in från sidan. Denna luft har inte nödvändigtvis samma tillstånd som luften som kommer uppifrån. Utan kännedom om mängd och tillstånd för detta flöde finns ingen möjlighet att bedöma dess inverkan och det måste därför ignoreras.

Figur 22 och Figur 23 visar för två olika tidsperioder ångmassflödet beräknat på de två ovan nämnda sätten. I Figur 22 ger de båda metoderna god överensstämmelse medan de i Figur 23 ger tidvis mycket dålig överensstämmelse. Orsaken till den dåliga överensstämmelsen i detta fall är att kylvattnets temperatur är hög. Entalpitetskillnaderna i ekvationerna (4.2) och (4.5) blir då låga och mätosäkerheten börjar spela en stor roll. Eftersom entalpitetskillnaden finns i nämnaren kan orimligt stora värden lätt uppstå. Generellt förefaller beräkningssätt 1 ge stabilare resultat.



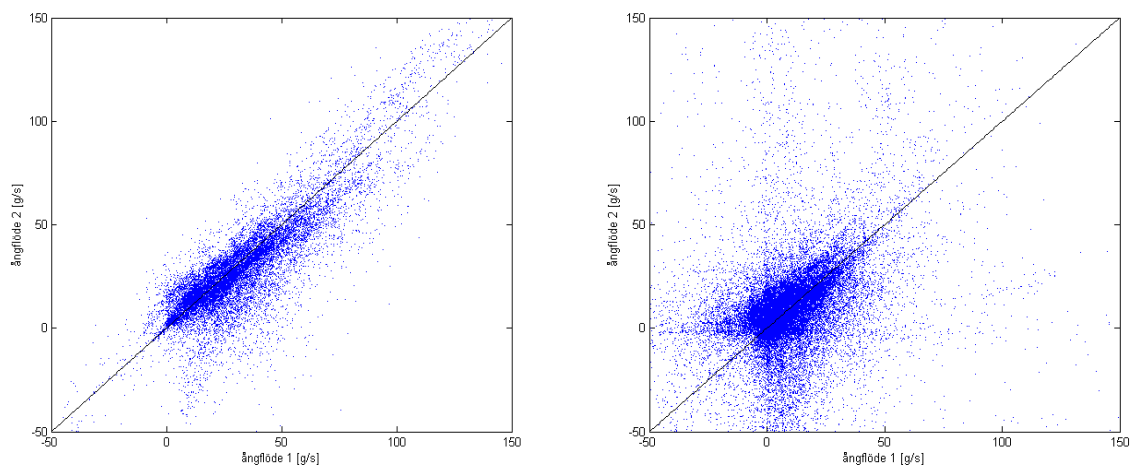
Figur 22 Till västra vattenridån bortkondenserat ångmassflöde vid olika tidpunkter under ett dygn 10.3.2011. Ångflödet är beräknat enligt två olika metoder. De båda metoderna ger huvudsakligen god överensstämmelse.



Figur 23 Till västra vattenridån bortkondenserat ångmassflöde vid olika tidpunkter under en 18 h period 8.8.2011. Ångflödet är beräknat enligt två olika metoder. Överensstämmelsen mellan de båda räknesätten är dålig. Det beror på låga temperaturskillnader mellan kylvatten och luft.

Figur 24 visar ångmassflödet enligt beräkningssätt 2 mot ångmassflödet enligt beräkningssätt 1. Figuren visar att korrelationen mellan de båda beräkningssätten beror av entalpitetsskillnaden.

I praktiken betyder detta att avfuktningens flöde kan beräknas med hyfsad noggrannhet vid tidpunkter då kylvattentemperaturen i förhållande till växthusluftens temperatur är låg medan avfuktningens beräkningar är mer eller mindre meningslösa vid tidpunkter då kylvattentemperaturen ligger nära växthusets daggpunkt. De senare tidpunkterna är vanliga under sommaren och hösten. Dagtid föreligger då också ett kylbehov och anläggningen körs inte primärt i avfuktningssyfte. Under vissa tidpunkter, såsom höstnätter och även mulna höstdagar, förekommer dock avfuktningens behov utan kylbehov samtidigt som tillgänglig kylvattentemperatur ligger nära daggpunkten. För dessa tidpunkter skulle det vara relevant att beräkna avfuktningens effektivitet men det låter sig inte göras då man inte kan beräkna ångmassflödet på ett tillförlitligt sätt.



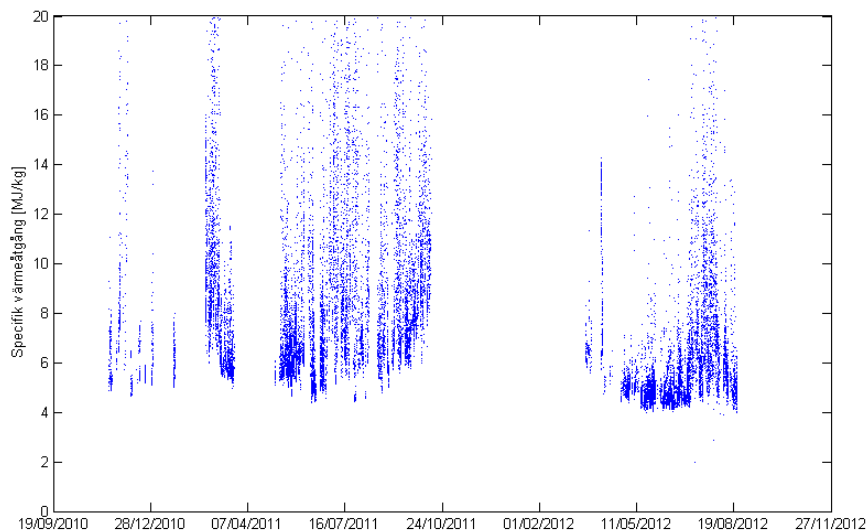
Figur 24 Beräknat ångflöde enligt metod 2 mot beräknat ångflöde enligt metod 1. Till vänster tidpunkter då vardera entalpitetsskillnaden är minst 5 kJ. Till höger tidpunkter då någondera entalpitetsskillnaden är mindre än 5 kJ.

4.5 ANLÄGGNINGENS AVFUKTNINGSEFFEKTIVITET

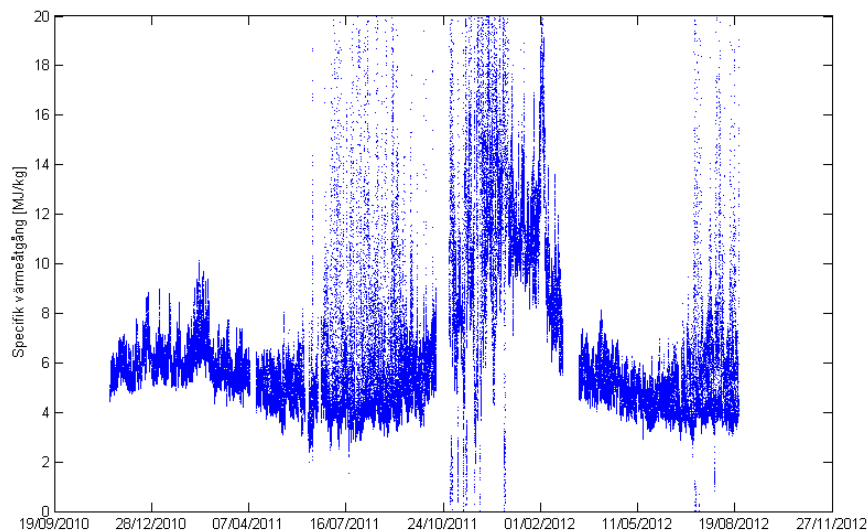
Anläggningen bortför alltid värme samtidigt som den avfuktar, men det omvända är inte alltid fallet. Bortförd värmemängd per avlägsnad fukt mängd vid olika tidpunkter visas i Figur 25. Under tidpunkter då det finns ett värmeöverskott i växthuset är denna kvot inte värst relevant. Under tidpunkter då det finns ett värmeunderskott är den däremot ett mått på hur mycket värme som måste tillföras för att kompensera den förlust som avfuktningen genererar. Den kan då lämpligen benämnas specifik värmeåtgång för avfuktningen. Av figuren kan ses att kvoten värme/fukt varierar kraftigt och som lägst är ungefär 5 MJ/kg. Under en period i maj 2012 hålls kvoten ganska stabilt på denna nivå. Under sommaren 2011 och 2012 förekommer många höga värden, men dessa är som redan nämnts inte så relevanta eftersom de förekommer vid tidpunkter med värmeöverskott.

Som jämförelse ges specifik värmeåtgången vid ventilation i Figur 26. Den har beräknats utgående från uteluftens tillstånd och tillståndet hos luften i växthuset ovanför plantorna, dvs. den luft som kan förväntas försvinna i samband med ventilationen. De höga värdena under vintern 2011–2012 beror på att växthuset var ur bruk och hölls på underhållsvärme +5 °C, varför fukttinnehållet i luften var lågt. Dessa värden är alltså inte representativa. Även under sommaren är värdena ibland höga, men saknar sannolikt relevans eftersom de torde inträffa vid tidpunkter med värmeöverskott. Under de tider av året då ventilationen orsakar oönskade värmeförluster ligger värdet i allmänhet mellan 4 och 7 MJ/kg.

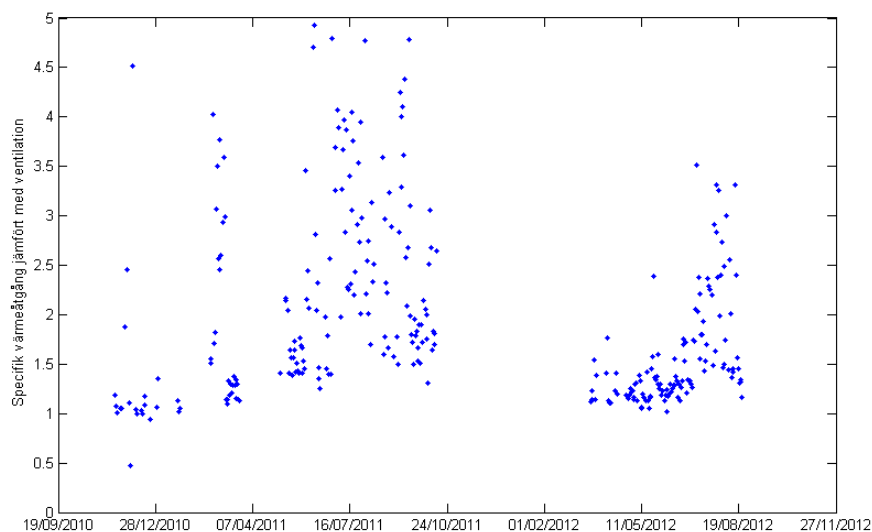
För att jämföra avfuktningseffektiviteten hos anläggningen med ventilation beräknades förhållandet mellan specifik värmeåtgången för anläggning och ventilation. Ventilationsvärdena beräknades då endast för de tidpunkter när anläggningen verkligen var i drift och är således direkt jämförbara. Resultatet ses i Figur 27. Av figuren framgår att värmeåtgången med anläggningen i bästa fall är ungefär samma som vid ventilation (värdet 1 i figuren), men oftast högre. Vid de tidpunkter som är mest relevanta, dvs. vinter, är värdena ganska lika.



Figur 25 Specifik värmeåtgång (bortförd värmemängd i MJ per avlägsnad fukt mängd i kg) vid olika tidpunkter då anläggningen varit i drift. Klart felaktiga värden är eliminerade.



Figur 26 Bortförd värmemängd per avlägsnad fukt mängd vid ventilation. Värdet har beräknats för alla tidpunkter oberoende av om ventilation verkligen skett eller inte. De höga värden under vintern 2011–2012 beror på att växthuset var ur bruk och hölls på underhållsvärme +5 °C, varför fukttinnehållet i luften var lågt. Dessa värden är alltså inte representativa.



Figur 27 Förhållandet mellan specifik värmeförlust med den undersökta anläggningen och med ventilation. Ventilationsvärdena är beräknade endast för de tidpunkter då anläggningen varit igång. Punkterna representerar dygnsmedeltal. Värdet 1 betyder att specifik värmeförlusten för anläggningen är lika stor som för ventilation.

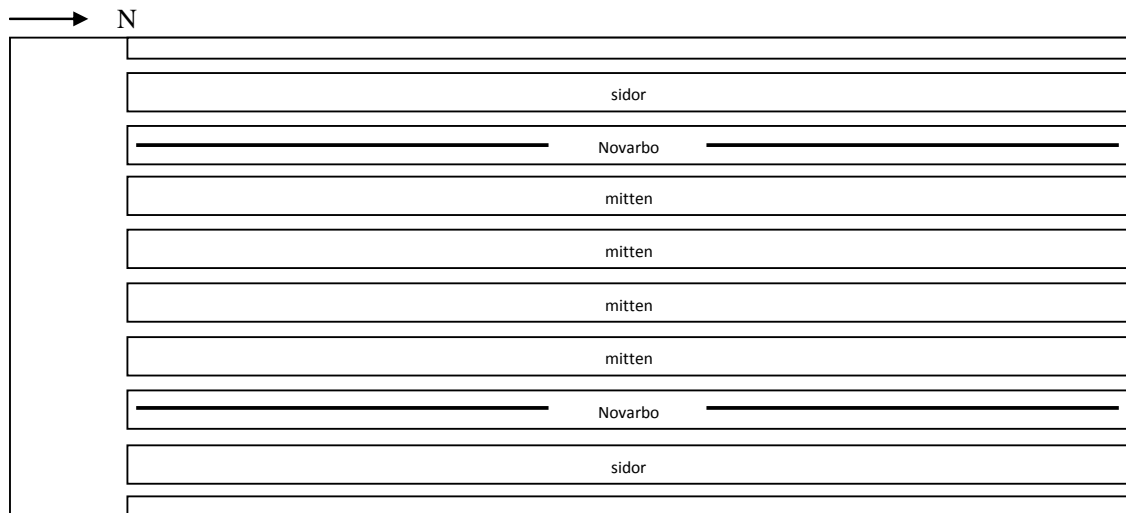
4.6 SKÖRD

Nedan redovisas resultat från skördeuppföljningen i växthuset Norrás under odlingsperioden 2010–2011.

4.6.1 MATERIAL OCH METODER

I odlingen användes konstljus från högtrycksnatriumlampor (HPS) under vintersäsongen 2010–2011. Den installerade ljuseffekten var 252 W/m² varav takbelysningen utgjorde 181 W/m² och mellanbelysningen 71 W/m². Plantorna bildade dubbla rader mellan odlingsgångarna. Novarbo

vattenridån installerades mellan plantraderna på två platser i växthuset (Figur 28 och Figur 29). För att kunna installera avfuktningssystemet mellan plantraderna måste man där ta bort HPS-mellanbelysningen och avståndet mellan dessa plantrader ökades lite. Sammanlagt fyra plantrader påverkades alltså när mellanbelysningslamporna togs bort. För växthuset som helhet minskade mellanbelysningseffekten då till 53 W/m².



Figur 28 Placeringen av Novarbo-systemet (svarta streck) i växthuset. Varje rektangel representerar en plantdubbelrad utom plantraderna närmast väggen. De är enkelrader. Mellan plantdubbelraderna finns odlingsgångar. Plantdubbelraderna med Novarbo-vattenridå saknade mellanbelysning. I övriga dubbelrader fanns mellanbelysning



Figur 29 Novarbos droppridå med droppavskiljaren.

Mellan sommaren 2010 och hösten 2011 gjordes två planteringar i växthuset. Första planteringen gjordes i ett tomt växthus som hade genomgått grundlig städning. Fem olika tomatsorter, vilka nedan benämns sort A, sort B, sort C, sort D och sort E, planterades vecka 28/2010. Alla dessa är etablerade sorter i växthusodling. Syftet med variationen av sorter var att undersöka responsen hos olika sorter till odling i semislutet växthus. Huvudsorten var sort A. I första planteringen placerades sorterna A, B, C och D på flera olika platser i växthuset, också i raderna invid avfuktningssystemet. Den andra planteringen var en mellanplantering som gjordes vecka 12/2011 med sort A och sort B (Tabell 1). Båda sorterna planterades också invid avfuktningssystemet. Planteringstätheten över hela huset var 2,58 plantor per m². Som växtunderlag användes Kekkila torvunderlag. Plantorna drevs upp vid Martens trädgårdsstiftelse.

Tabell 1 Sammandrag på planteringar.

	planteringstid	skördetid	tomatsorter
första plantering	v 28/2010	36/2010 – 18/2011	A, B, C, D, E
mellanplantering	v 12/2011	19/2011 – 41/2011	A, B

Plantskötseln följde vanliga odlingsrutiner. Tomater plockades tre gånger per vecka fram till vecka 37/2011, två gånger per vecka därefter. I skördeanalysen nedan betraktas växthuset bestå av tre olika områden: plantrader invid avfuktningensanläggningen ("Novarbo"-rader), plantrader i mitten på huset dvs. innanför Novarbo-raderna, ("mitten") och plantrader mellan avfuktningensanläggningen och växthusets långsidor ("sidor"). För att följa upp skörden från de olika tomatorterna markerades ett antal odlingssäckar. Från var och en av dessa plockades tomaterna skilt under hela odlingsperioden och sorterades enligt kvalitet i första klass, andra klass och avfall. Antalet tomater räknades och totalvikten uppmättes.

I första odlingen uppföljdes skörden från 12 odlingssäckar (med fyra plantor per säck) per sort. Av sort A uppföljdes ytterligare 12 säckar som befann sig mellan avfuktningensanläggningen och växthusets långsidor. Vid sammanställningen av skörderesultatet behandlades data från raderna bredvid avfuktningensanläggningen skilt för att undersöka effekterna av vattenridån på skörden. Detta innebär att antalet säckar (upprepningar N) i rader med mellanbelysning var 9 stycken per sort i mitten på huset, medan skörderesultat från raderna utan mellanbelysning bredvid avfuktningensanläggningen beräknades som medeltalet av tre säckar var av sorterna A, B, C och D, dvs. totalt 12 säckar (N = 12).

I andra odlingen från vår till höst 2011 uppföljdes skörden från 10 säckar per sort i rader som befann sig i mitten av huset och från 10 säckar per sort i rader bredvid avfuktningensanläggningen. Ytterligare uppföljdes skörden från 6 säckar per sort från sidorna. Erhållna skörderesultat jämförs med skörden från tidigare år från samma hus utan avfuktningensanläggning.

4.6.2 RESULTAT

Skördeperioden 36/2010 – 18/2011

Skörden i växthuset inleddes vecka 36/2010 och fortgick under 35 veckor ända till vecka 18/2011. Enligt den sortvisa uppföljningen i mitten av växthuset gav sorterna A och B i medeltal mest skörd av klass 1 (49,7 kg/m² respektive 49,6 kg/m²), medan sort D med 46,7 kg/m² gav den minsta skörden av klass 1 (Tabell 2, Figur 30). Skillnaden mellan de olika sorterna var 6 %.

Tabell 2 Tomatskörden från vecka 36/2010 till vecka 18/2011. För fem plantsorter (A–E) visas vikten för totala skörden, vikten för skörd av 1. klass tomater, vikten för skörd av 2. klass tomater och vikten för den ratade skörden. N = upprepningar (dvs. antalet odlingspåsar som medeltalet baseras på). A sidor: skörd från plantorna som växte mellan avfuktningensanläggning och husets långsida; Novarbo rader: skörd från plantorna som växte bredvid avfuktningensanläggning (sorterna A–D) utan mellanbelysning.

Sort och placering	N	Skörd [kg/m ²] medeltal ± standardavvikelse			
		total	1. klass	2. klass	avfall
A mitten	9	50,74 ± 2,92	49,66 ± 2,81	0,84 ± 0,30	0,25 ± 0,12
B mitten	9	51,38 ± 2,59	49,65 ± 2,53	1,34 ± 0,44	0,37 ± 0,17
C mitten	9	49,63 ± 4,08	47,92 ± 3,68	1,51 ± 0,61	0,20 ± 0,08
D mitten	9	48,65 ± 2,20	46,72 ± 2,05	1,45 ± 0,68	0,39 ± 0,13
E mitten	9	49,12 ± 4,61	47,44 ± 4,50	1,29 ± 0,22	0,38 ± 0,16
A sidor	12	50,04 ± 4,48	48,52 ± 4,68	1,16 ± 0,44	0,36 ± 0,13
Novarbo rader (A–D)	12	38,37 ± 2,40	36,84 ± 2,50	1,05 ± 0,44	0,44 ± 0,26

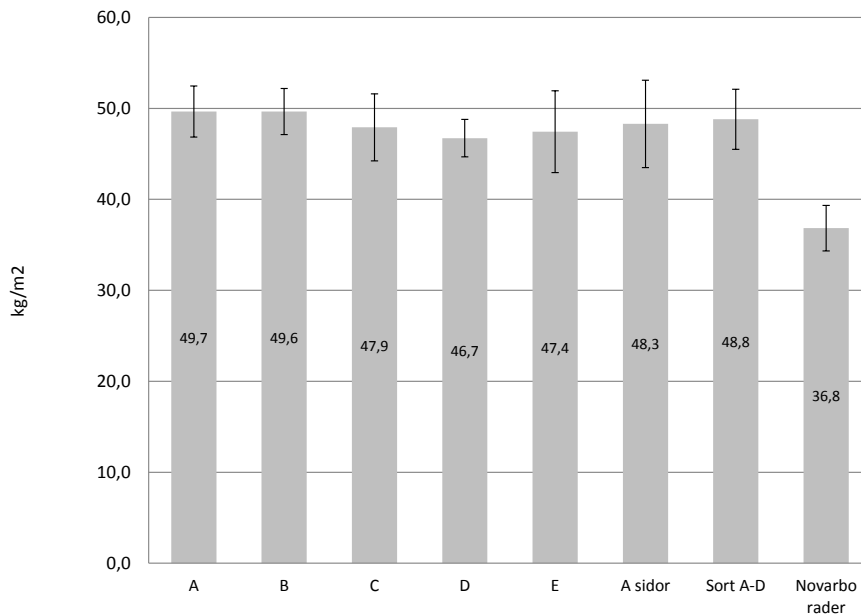
Vad gäller viktandelen av de olika skördeklasserna är skillnaderna mellan de olika sorterna små (Tabell 3).

Tabell 3 Tomatskörden av 1. klass, 2. klass och avfall i procent av totala skörden.

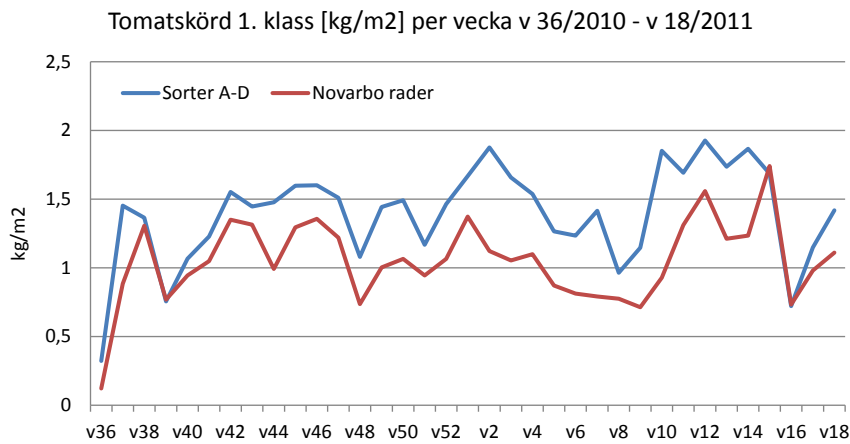
Sort och placering	Skördeklassens andel av totala skörden [%]		
	1. klass	2. klass	avfall
A mitten	97,9	1,7	0,5
B mitten	96,6	2,6	0,7
C mitten	96,6	3,0	0,4
D mitten	96,0	3,0	0,8
E mitten	96,6	2,6	0,8
A sidor	97,0	2,3	0,7
Novarbo rader (A–D)	96,0	2,7	1,1

För att jämföra skörden från plantorna intill avfuktningssystem med skörden från plantorna som växte i den mellersta delen av huset, beräknades ett viktat medeltal av sorterna A–D från mitten av huset (Figur 30). Plantorna som växte bredvid avfuktningssystemet, och därmed utan mellanbelysning under vintermånaderna, producerade i genomsnitt 12 kilogram per kvadratmeter (24,6 %) mindre skörd av 1. klass tomater än sorterna A–D i mitten av huset. Denna skillnad var statistiskt signifikant (t -test, $p < 0.001$). I Figur 31 ses tydligt att den genomsnittliga veckovisa skörden från plantorna intill avfuktningssystemet nästan hela tiden låg under skörden från plantorna som växte i den mellersta delen av växthuset. I Figur 32 visas samma data kumulativt.

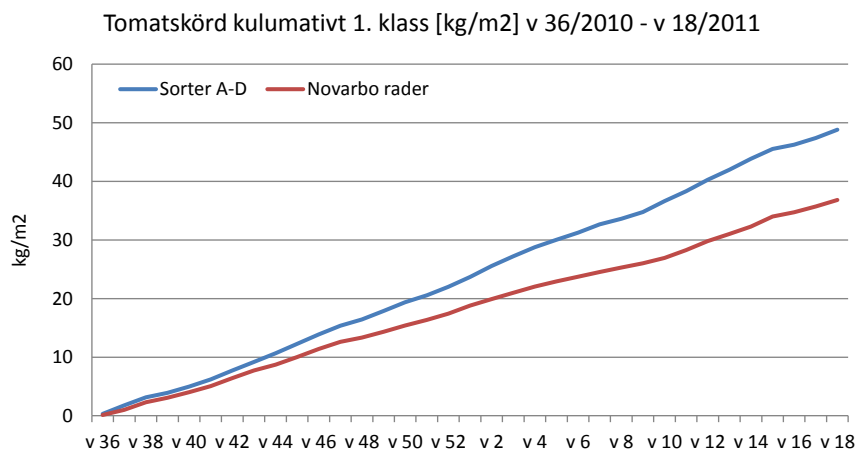
Tomatskörd 1. klass [kg/m²] v 36/2010 - v 18/2011



Figur 30 Skörd av tomat 1. klass (medeltal ± standardavvikelse) för fem tomatorter. A sidor: plantrader som befinner sig mellan Novarbo-systemet och växthusets uteväggar. Sort A–D: viktad medelskörd för sorterna A, B, C och D. Novarbo rader: plantrader som befinner sig intill avfuktningssystemet och därför saknar mellanbelysning.

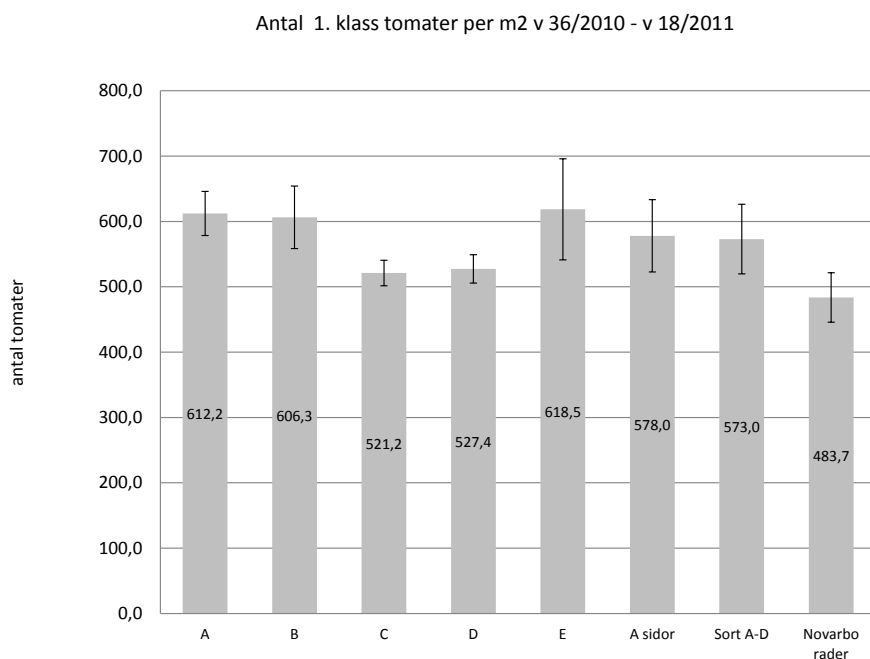


Figur 31 Tomatskörd 1. klass [kg/m²] veckovis från vecka 36/2010 till vecka 18/2011 för sorterna A, B, C och D, och för planter som växte bredvid avfuktningssystemet utan mellanbelysning (Novarbo rader).



Figur 32 Tomatskörd kumulativt 1. klass visas som viktat medeltal för sorterna A–D, och för plantor som växte bredvid avfuktningssystemet utan mellanbelysning (Novarbo rader).

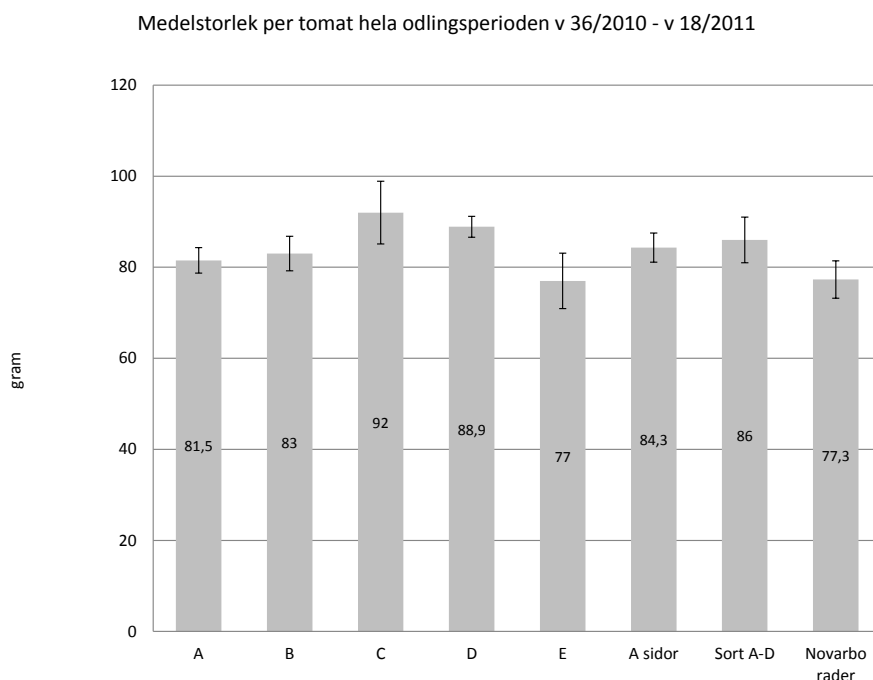
Antalet tomater som producerades under hela odlingsperioden varierade mera än totala vikten mellan sorterna. Skillnaden mellan sort E, med det högsta antalet tomater, och sort C med det lägsta antalet var 15,7 % (Figur 33). Plantorna bredvid avfuktningssystemet producerade i genomsnitt 15,6 % färre tomater per m² än plantor av samma sort i mitten av växthuset. Skillnaden var statistiskt signifikant (*t*-test, $p < 0.001$).



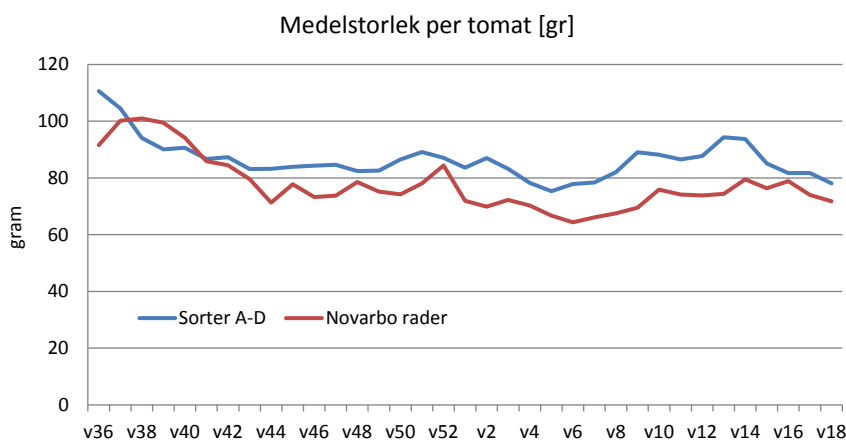
Figur 33 Antal tomater 1. klass (medeltal ± standardavvikelse) för fem tomatsorter. A sidor: plantrader som befinner sig mellan Novarbo-systemet och växthusets uteväggar. Sort A–D: viktat medeltal för sorterna A–D. Novarbo rader: plantrader som befinner sig intill Novarbo-systemet utan mellanbelysning.

En medelstorlek på tomaterna över hela odlingsperioden beräknades. I genomsnitt producerade sort E den minsta tomaten och sort C den största (Figur 34). Skillnaden var 15 gram eller 16,3 %. Tomater från plantorna intill avfuktningssystemet var i genomsnitt 10,1 % lättare än tomater från mellersta delen av växthuset. Skillnaden var statistiskt signifikant (*t*-test, $p < 0.001$). Den veckovisa medelstorleken visas i Figur 35. Medelstorleken hos tomaterna som växte bredvid

avfuktningssystemet låg hela tiden under medelstorleken för samma sorter (A–D) i mellersta delen av växthuset, med undantag av veckorna 38–40 då förhållandet var det omvända.



Figur 34 Medelstorlek per tomat per sort beräknad som medel (\pm standardavvikelse) över hela odlingsperioden för fem tomatsorter. A sidor: plantrader som befinner sig mellan Novarbo-systemet och växthusets uteväggar. Sort A–D: viktat medeltal för sorterna A–D. Novarbo rader: plantrader som befinner sig intill Novarbo-systemet utan mellanbelysning.



Figur 35 Medelstorlek per tomat under odlingsperioden. Sort A–D: viktad skördmedeltal för sorter A, B, C och D. Novarbo rader: plantrader som befinner sig intill Novarbo-systemet utan mellanbelysning.

Skördeperioden 19/2011 – 41/2011

Skörden i växthuset påbörjades vecka 19/2011 och odlingen skördades under 22,3 veckor till vecka 41/2011. Konstljus användes i början av odlingen fram till början av maj. Inget konstljus användes på hösten. Sortvisa plockningar visade att sort A i mitten av växthuset gav mest 1. klass skörd och sort B intill avfuktningssystemet gav i medeltalet minst 1. klass skörd (25,5 kg/m² respektive 21,1 kg/m²) (Tabell 4). Sort A producerade högsta skörden i mitten på växthuset och minsta skörden vid sidorna. Sort B producerade högsta skörden vid sidorna och minsta vid avfuktningssystemet.

Tabell 4 Tomatskörden från vecka 19/2011 till vecka 41/2011. Visas vikten för totala skörden, 1. klass tomater, 2. klass tomater och avfall. N = upprepningar (dvs. antal odlingspåsar därifrån medeltalet beräknats). A sidor och B sidor: skörd från plantorna som växte mellan avfuktningssystem och husets långsidor; A Novarbo och B Novarbo: skörd från plantorna som växte bredvid avfuktningssystem utan mellanbelysning; A mitten och B mitten: skörd från plantorna som växte i mitten av huset.

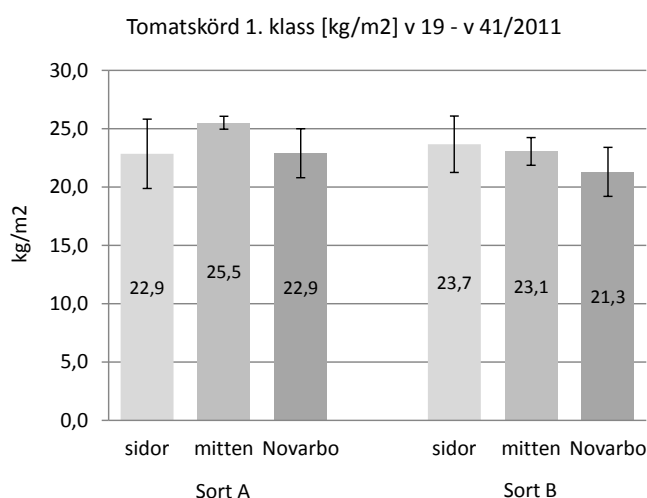
Sort och position i växthus	N	Skörd [kg/m ²] medeltal ± standardavvikelse			
		total	1. klass	2. klass	avfall
A mitten	8	26.18 ± 0.63	25.52 ± 1.15	0.59 ± 0.24	0.07 ± 0.06
A sidor	6	23.60 ± 3.12	22.85 ± 2.97	0.62 ± 0.20	0.12 ± 0.04
A Novarbo	10	23.85 ± 1.84	23.06 ± 1.87	0.71 ± 0.29	0.08 ± 0.05
B mitten	9	24.00 ± 1.39	23.06 ± 1.19	0.81 ± 0.31	0.13 ± 0.10
B sidor	5	25.18 ± 2.74	23.67 ± 2.42	1.19 ± 0.32	0.32 ± 0.19
B Novarbo	10	22.01 ± 2.15	21.06 ± 2.06	0.78 ± 0.20	0.17 ± 0.12

Andelen skörd av olika klass visas i Tabell 5. Den procentuella andelen 2. klass tomater av totala skörden låg lite högre i sort B än i sort A.

Tabell 5 Tomatskörden 1. klass, 2. klass och avfall i procent av totala skörden.

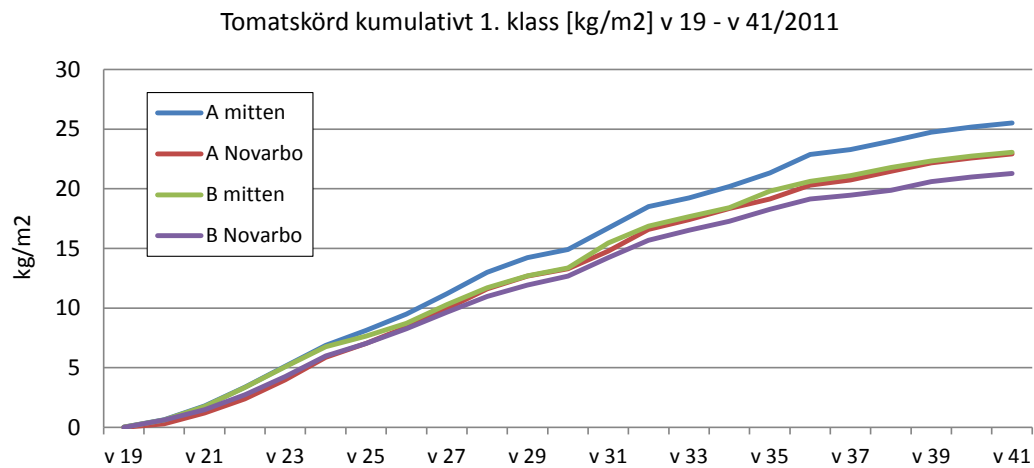
Sort	Andel skördklass i procent av totala skörden		
	1. klass	2. klass	avfall
A mitten	97.5	2.3	0.3
A sidor	96.8	2.6	0.5
A Novarbo	96.7	3.0	0.3
B mitten	96.1	3.4	0.5
B sidor	94.0	4.7	1.3
B Novarbo	95.7	3.5	0.8

I Figur 36 visas skörden från ett balanserat antal upprepningar för plantor i mitten av växthusets versus plantor intill Novarbo rader, och ytterligare skörderesultat från plantor som växte på sidor. Plantor intill avfuktningssystemen producerade 10,2 % mindre skörd i sort A och 7,8 % mindre i sort B än i samma sort i mitten på huset. Dessa skillnader testades separat för sort A och för sort B, och båda visade sig vara statistiskt signifikanta (*t*-test, sort A: $p < 0.01$; sort B: $p < 0.05$).

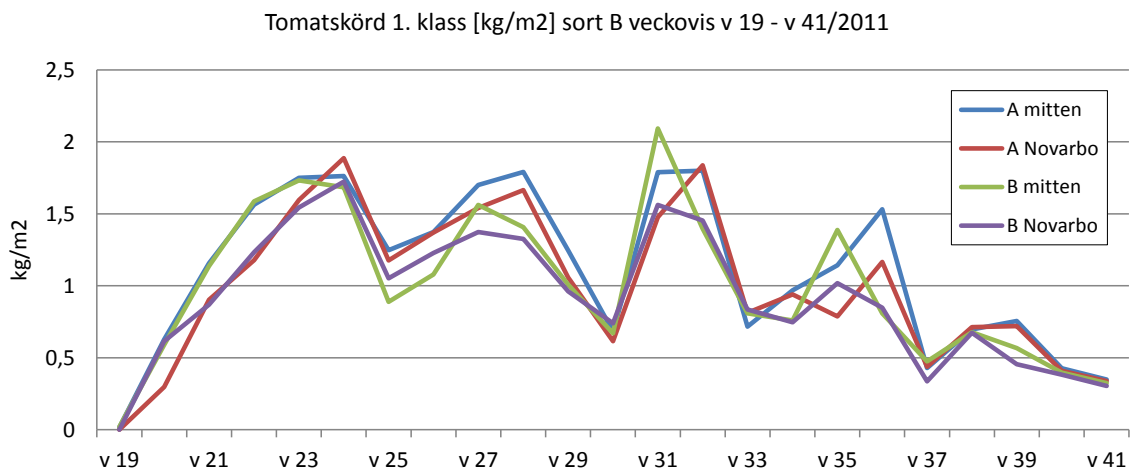


Figur 36 Tomatskörd av 1. klass [kg/m²] (medeltal ± standardavvikelse) för tomatsorterna A och B. A sidor, B sidor: plantrader som befinner sig mellan Novarbo-systemet och växthusets långsidor. Mitten: plantrader som befinner sig i mellersta delen av huset; Novarbo rader: plantrader som befinner sig intill Novarbo-systemet utan mellanbelysning. Sort A sidor: N = 6 upprepningar, sort B sidor: N = 5 upprepningar; sort A mitten och sort A Novarbo: N = 8 upprepningar; sort B mitten och sort B Novarbo: N = 9 upprepningar.

Tomatskörden visas kumulativt i Figur 37 och veckovis i Figur 38. I Figur 37 ses att skörden från sorterna A och B i mitten av växthuset var nästan identisk fram till vecka 24. Efter det kom sort B i mitten på huset och sort A vid avfuktningensanläggningen på nästan samma nivå. I den veckovisa presentationen av skörden (Figur 38) ses en fördröjning i skörderesultat från Novarbo-raderna jämfört med plantor som växte i mitten av huset.

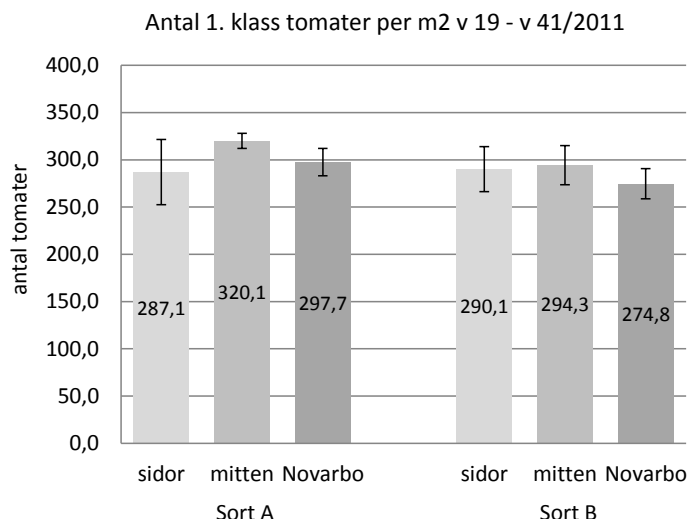


Figur 37 Tomatskörd kumulativt 1. klass visas för sorterna A och B i mitten på växthuset och för plantor som växte bredvid avfuktningensanläggningen (Novarbo rader).



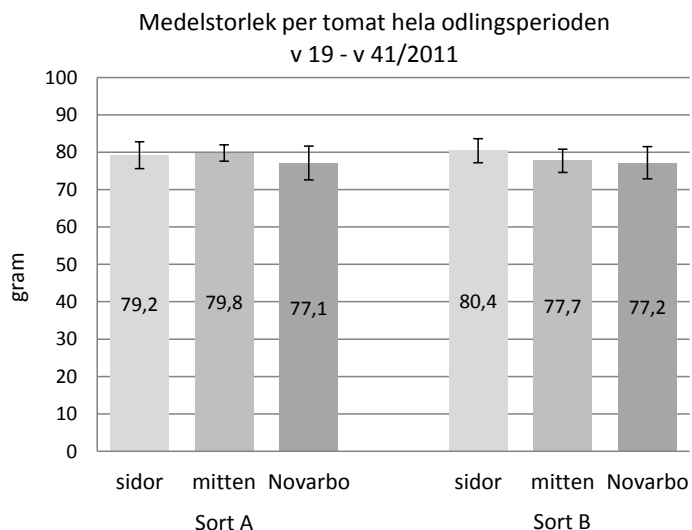
Figur 38 Tomatskörd 1. klass [kg/m²] veckovis från vecka 19/2010 till vecka 41/2011 visas för sorterna A och B i mitten på växthus och för plantor som växte bredvid avfuktningensanläggningen (Novarbo rader).

För båda sorterna producerade plantorna i mitten på huset fler tomater per m². Sort A intill avfuktningensanläggningen producerade 7 % färre tomater och sort B intill avfuktningensanläggningen 6,6 % färre tomater än samma sort i mitten på huset (Figur 39). Dessa skillnader testades separat för sort A och för sort B, och båda var statistiskt signifikanta (*t*-test, sort A: $p < 0.01$; sort B: $p < 0.05$).



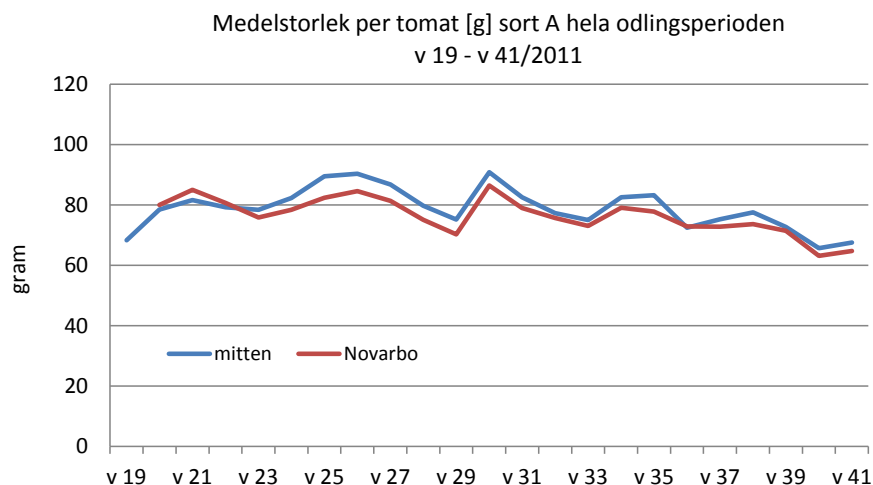
Figur 39 Antal 1. klass tomater (medeltal ± standardavvikelse) av sorterna A och B. Sidor: plantrader som befinner sig mellan Novarbo-systemet och växthusets långsidor. Mitten: plantrader som befinner sig i mellersta delen av huset; Novarbo: plantrader som befinner sig intill avfuktningssystemet och därmed är utan mellanbelysning. Sort A sidor: N = 6 upprepningar, sort B sidor: N = 5 upprepningar; sort A mitten och sort A Novarbo: N = 8 upprepningar; sort B mitten och sort B Novarbo: N = 9 upprepningar.

Medelstorlek per tomat beräknad över hela odlingsperioden visade bara små variationer. För sort A var tomater i mitten på huset störst, för sort B var det tomater som växte vid sidorna av huset (Figur 40). För sort A var tomaterna intill avfuktningssystemet 3,4 % lättare än i mitten av huset. För sort B var tomaterna vid avfuktningssystemet bara 0,6 % lättare än i mitten av huset. Dessa skillnader testades igen separat för sort A och för sort B, men de var inte signifikanta (*t*-test).

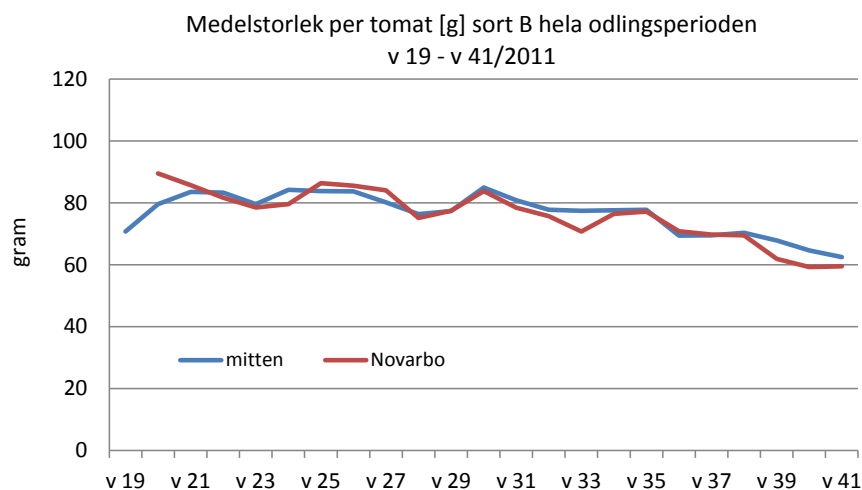


Figur 40 Medelstorlek per tomat beräknad som medeltal (± standardavvikelse) över hela odlingsperioden. Sidor: plantrader som befinner sig mellan Novarbo-systemet och växthusets långsidor. Mitten: plantrader som befinner sig i mellersta delen av huset; Novarbo: plantrader som befinner sig intill avfuktningssystemet och därmed är utan mellanbelysning. Sort A sidor: N = 6 upprepningar, sort B sidor: N = 5 upprepningar; sort A mitten och sort A Novarbo: N = 8 upprepningar; sort B mitten och sort B Novarbo: N = 9 upprepningar.

I Figur 41 och Figur 42 presenteras tomaternas medelstorlek över hela odlingsperioden. För sort A är medelstorleken i början (veckorna 20–22) högre från planter intill avfuktningssystemet och mindre efter det. För sort B är skillnaderna mindre och mer osystematiska.



Figur 41 Medelstorlek per tomat över odlingsperioden för sort A.



Figur 42 Medelstorlek per tomat över odlingsperioden för sort B.

Skörderesultatet för båda odlingarna sammanfattas i Tabell 6. Den genomsnittliga veckovisa skörden i andra odlingen (vecka 12–vecka 41) är låg på grund av att konstljus inte användes under hösten 2011.

Tabell 6 Sammanfattning av skörderesultat från odlingsäckar i mitten av växthuset år 2010–2011. Genomsnittlig veckovis skörd beräknad enligt $([\text{kg}/\text{m}^2] / \text{antal skördveckor})$.

odlingsperiod	vintersäsongen 2010 – 2011					sommaren 2011	
	planterades	v 28/2010					v 12/2011
skördades	v 36/2010 – v 18/2011					v 19 – v 41/2011	
antal skördveckor	35					22,3	
sort	A	B	C	D	E	A	B
antal försöksrutor (d.v.s. upprepningar N)	9	9	9	9	9	8	9
skörd 1. kl (kg/m^2)	49,7±2,8	49,6±2,5	47,9±3,7	46,7±2,1	47,4±4,5	25,5±1,0	23,1±1,2
veckovis skörd	1,42	1,42	1,37	1,33	1,35	1,14	1,04

4.6.3 DISKUSSION

Att samtidigt med inverkan av avfuktningssystemet undersöka flera olika sorter skapade onödigt många variabler och försöksupplägget skulle därför inte upprepas på nytt.

De olika sorterna uppvisade vissa skillnader i skörd. De sorter som producerade färre tomater hade större frukter i första odlingen. I andra odlingen visade sort A och sort B också skillnader i mängden 1. klass skörd och antalet producerade tomater.

Eftersom det inte fanns ett jämförelseväxthus till förfogande som kunde användas som kontroll i den här undersökningen, kan inverkan av avfuktningssystemet på totalskörden bara jämföras med skörderesultat från samma hus från tidigare år. Detta är naturligtvis inte optimalt eftersom planteringstidpunkt och därmed skördeperioden var olika mellan åren. Odlingsåret 2009–2010 uppföljdes skörden i Norrås också från markerade växtunderlag under hela odlingsäsongen. Odlingen planterades vecka 34/2009 och skördades under totalt 35,6 veckor från vecka 42/2009 till vecka 25/2010. Mängden 1. klass skörd var i medeltal $47,9 \pm 3,2 \text{ kg/m}^2$ (\pm SD, $N = 35$ växtunderlag). Den genomsnittliga skörden per vecka var $1,35 \text{ kg/m}^2$ odlingsåret 2009–2010. Den genomsnittliga veckovisa skörden för sort A under odlingen 2010–2011 var därmed 5,2 % högre än år 2009–2010. Dock var den genomsnittliga veckovisa skörden ännu ett år tidigare (2008–2009) $1,46 \text{ kg/m}^2$ och därmed 2,8 % högre än under odlingen med avfuktningssystemet 2010–2011. Utgående från dessa tre odlingar kan man tyvärr inte dra några slutsatser angående inverkan av avfuktningssystemet på den allmänna skördenivån.

Tomatplantorna i de plantrader där avfuktningssystemet hade installerats producerade mindre skörd än plantorna i mitten av huset under båda odlingsperioderna. Under den första perioden var skördeminskningen nästan 25 % medan den var mellan 8–10 % under den andra perioden. Skördeminskningen var ett resultat av både färre och mindre tomater. Under den andra perioden var skillnaden i vikt dock liten.

Avsaknaden av mellanbelysning var troligen orsaken till den stora skördeminskningen under den första odlingsperioden. Att mellanbelysningen saknades i raderna invid avfuktningssystemet påverkade säkerligen också början av andra odlingsperioden, eftersom konstljus fortfarande användes när mellanplanteringen gjordes. Men också under sommaren låg skörden i raderna invid avfuktningssystemet för det mesta under nivån i mitten av huset. Möjligtvis har också andra faktorer än avfuktningssystemets verkan på luften påverkat skörden, så som skuggningen från anläggningen och en lägre temperatur i växtunderlaget i raderna bredvid avfuktningssystemet. Under vintersäsongen var denna temperaturskillnad ganska konstant ungefär 2,5 grader och uppstod främst p.g.a. avsaknaden av värmande mellanbelysning. Under sommaren var skillnaden mer varierande men i medeltal ungefär lika stor som under vintern. Skillnaden uppstod under sommaren p.g.a. avfuktningssystemets kylande verkan.

En närmare betraktelse av skörderesultatet år 2009–2010 visar att skörden var några procent lägre i den rad på västra sidan av huset där avfuktningssystemet senare installerades än i raderna i mitten av växthuset. Detta kunde betyda att den uppmätta skillnaden i skörd mellan Novarbo-raderna och plantorna i mitten på huset också handlar om en positionseffekt. Skillnaden år 2009–2010 är trots allt mindre än 8 %, alltså betydligt mindre än 2010–2011 men bara något mindre än i odlingen från vår till höst 2011.

Man kunde eventuellt förvänta sig en positionseffekt i form av förändrad skördenivå då man närmar sig växthusets sidor och att denna positionseffekt skulle inverka redan på Novarbo-raderna. I odlingen från vår till höst 2011 var skörden för sort A på sidorna lika stor som i raderna invid avfuktningssystemet, medan den för sort B var större på sidorna än i raderna med avfuktningssystemet. Resultatet ger inget belägg för att närheten till sidorna skulle inverka på Novarbo-raderna.

Raderna som p.g.a. att de låg intill avfuktningssystemet saknade mellanbelysning utgjorde 22 % av husets plantrader. I dessa rader uppstod en signifikant skördeminskning främst beroende på avsaknaden av mellanbelysning. Om man i åretruntodling inte kan ersätta denna mellanbelysning med starkare takbelysning, så måste avfuktningssystemet generera en betydande skördeökning i resten av växthuset för att kompensera förlusten i de rader som saknar mellanbelysning.

5 UTVÄRDERING AV DEN UNDERSÖKTA ANLÄGGNINGEN

5.1 TEKNISK FUNKTIONALITET

Anläggningens grundfunktion motsvarade förhandsförväntningarna. Ett antal problem uppstod dock under användningsperioden, några av dem påverkade i betydande grad utfallet av hela försöket.

Ett mindre problem av rent teknisk natur var att sandfilterbackspolningsautomatiken inte fungerade. Detta måste i stället göras manuellt några gånger per vecka. Också rengöringspumpen fylldes ofta med luft och upphörde pumpa. Under långa perioder var en nästan daglig översyn nödvändig för att hålla igång pumpen.

Under ett häftigt störtregn sommaren 2010 sköljdes jordmassor från området kring bassängen ner i denna. Grundproblemet var för låga kanter kring bassängen. I september 2010 tömdes och rengjordes bassängen och kanterna höjdes. Hela rörsystemet inklusive inledningen genomspolades. Senare kunde man ändå konstatera att det förekom fin lera i filtren även efter spolningen och troligen hade man vid genomspolningen inte lyckats få bort allt mineralmaterial ur systemet.

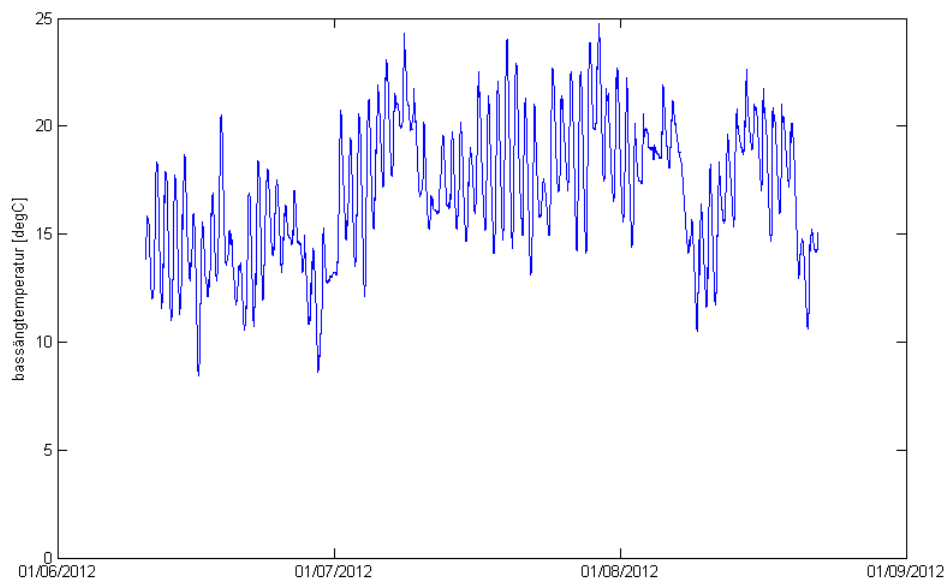
Vid ett tillfälle i början av försöksperioden brast delar av upphängningen till en linje och den rörlinjen föll delvis ned. Orsaken torde ha varit en snabb värmekontraktion då röret stått tomt och upphettats av solen. När pumparna sedan sattes igång sjönk temperaturen hos rörgodset mycket snabbt. I en rörlinje med längden 90 meter innebar detta en kontraktion på flera hundra millimeter. Problemet åtgärdades genom att upphängningarna gjordes rörliga.

Januari 2011 uppstod översvämning i pumphuset. Orsaken till denna översvämning kunde aldrig fastställas. Av någon anledning kunde vattnet inte rinna mellan brunn och bassäng i den takt som det normalt gör. Översvämningen nådde cirka 20 cm över brunnskanten, vilket innebar att pumppmotorerna utsattes för vatten och måste öppnas och torkas.

I mars 2012 tömdes och rengjordes bassängen och bottenröret. En meterlång reva i gummifodringen reparerades. Bassängens form hade ändrats och volymen minskat genom att jorden kring bassängen hade sjunkit in mot bassängen.

Generellt kan man konstatera att en grävd bassäng med gummifodring ger upphov till flera problem. Deformationsmöjligheten är ett av dessa. Förutom deformation av jordslänten kring bassängen förekom även vatteninflöde under gummifodringen. Det bildades en vattenblåsa under gummit, vilken reducerade den effektiva volymen hos bassängen och reducerade flödet in till bottenröret när gummit steg upp mot detta. Ytterligare ett problem är att bassängtömning och -rengöring är mer eller mindre omöjlig vissa tidpunkter av året då det finns ett stort vätskestryck i marken kring bassängen. Om man då försöker tömma bassängen flyter vatten från marken in under gummit och lyfter detta.

Under senare halvan av sommaren 2012 konstaterades kraftig algutveckling i vattnet trots kopparjonisering. Grundorsaken till algutvecklingen torde vara för hög bassängtemperatur. Under juli 2012 steg temperaturen i utebassängen nästan dagligen över 20 °C och nådde som högst 25 °C (Figur 43). Enligt förhandsuppgift skulle bassängtemperaturen hållas under 20 °C. Så var alltså inte fallet trots att kyleffekten hos anläggningen och därmed värmelasten till bassängen låg betydligt under den dimensionerade volymen.



Figur 43 Bassängtemperatur under sommaren 2012.

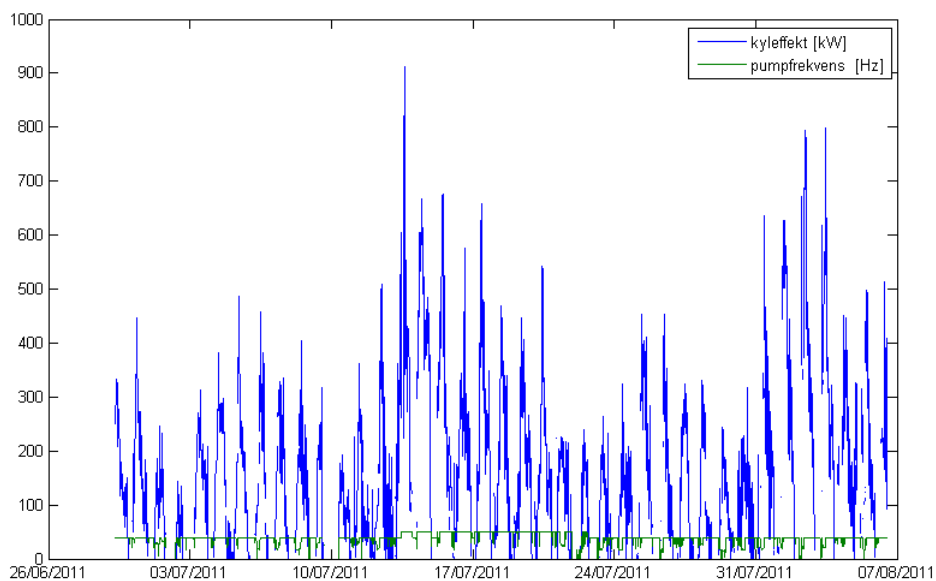
Det största problemet under drifttiden var fortgående problem med snabb igensättning av de filter som fanns i sprinklingsmunstyckena. Enligt förhandsuppgifter från anläggningsleverantören skulle dessa behöva bytas några gånger i året. I själva verket stockades de tidvis så snabbt att väsentlig nedsättning av möjligt vattenflöde uppstod redan på några dagar. Det visade sig också att det inte var bara filtren som stockades, utan även i de små utloppshålen i munstyckena uppstod någon form av mineralavlagring. Filtren kunde tvättas i grovtvättmaskin, men mineralavlagringen i munstyckena var mer svåråtgärdad. Eftersom det handlade om ungefär 750 filter krävdes mer än en dags arbetsinsats för att byta hela serien. Det var inte alls möjligt att byta filtren så ofta som skulle ha behövts och det här ledde till att anläggningen en stor del av tiden hade reducerade flöden.

Leverantören uppger att motsvarande filterstockningsproblem inte förekommit på andra håll. Om så är fallet kan orsakerna antingen vara den lokala vattenkvaliteten, ansamling i bassängen av damm från omkringliggande jordbruksmark eller rester av de jordmassor som spolades ner i bassängen sommaren 2010. I den undersökta anläggningen var det här i alla fall ett problem, som inte kunde lösas under hela försökstiden.

5.2 PRESTANDA

Syftet med anläggningen var att kunna hålla växthuset slutet och kylningen var dimensionerad för att klara allt utom de hetaste sommardagarna. Enligt utförda modelleringar (se del fyra i denna rapportserie) krävs en kylkapacitet om cirka 600 kW. Anläggningens kylkapacitet uppgavs av leverantören till 650–1000 kW, beroende på omständigheterna. I verkligheten uppnåddes visserligen kyleffekter över 1000 kW, men endast vid tidpunkter då tillgänglig kylvattentemperatur var tillräckligt låg. Sommartid var kyleffekten ofta mindre än hälften av vad som skulle ha krävts för att hålla växthuset slutet. Under försökstiden bedömdes detta till stor del bero på att flödena i innekretsen var reducerade p.g.a. igensatta filter. Analysen i avsnitt 4.2 har emellertid visat att ett högre flöde knappast hade resulterat i tillräckligt hög kyleffekt. Grundproblemet torde vara att kylvattentemperaturen ofta var för hög. Uteenheten klarade inte av att sänka vattentemperaturen så mycket som skulle ha krävts. På grund av igensatta bottenrör kunde utepumparna sommaren 2012 köras på högst 40 Hz. Sommaren 2011 kördes pumparna också mestadels på 40 Hz av energiekonomiska orsaker. Det är emellertid

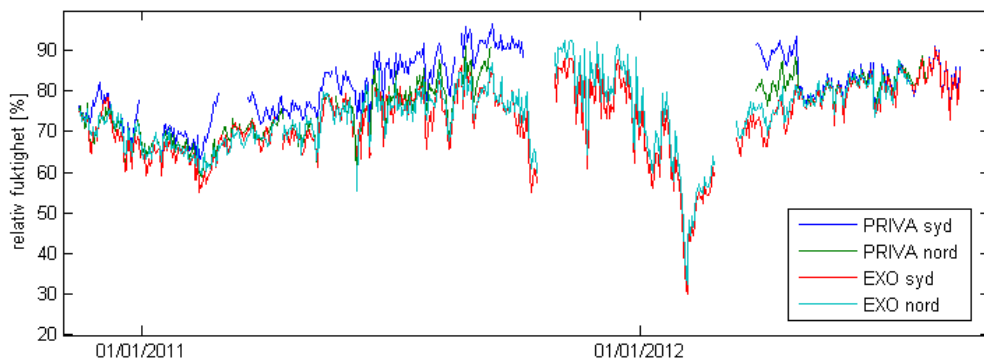
tveksamt om ens körning på fulla 50 Hz skulle ha förändrat saken. Under sommaren kördes utepumparna med 50 Hz under en period, men inte heller då var kyleffekten tillräcklig för att hålla växthuset slutet (Figur 44).



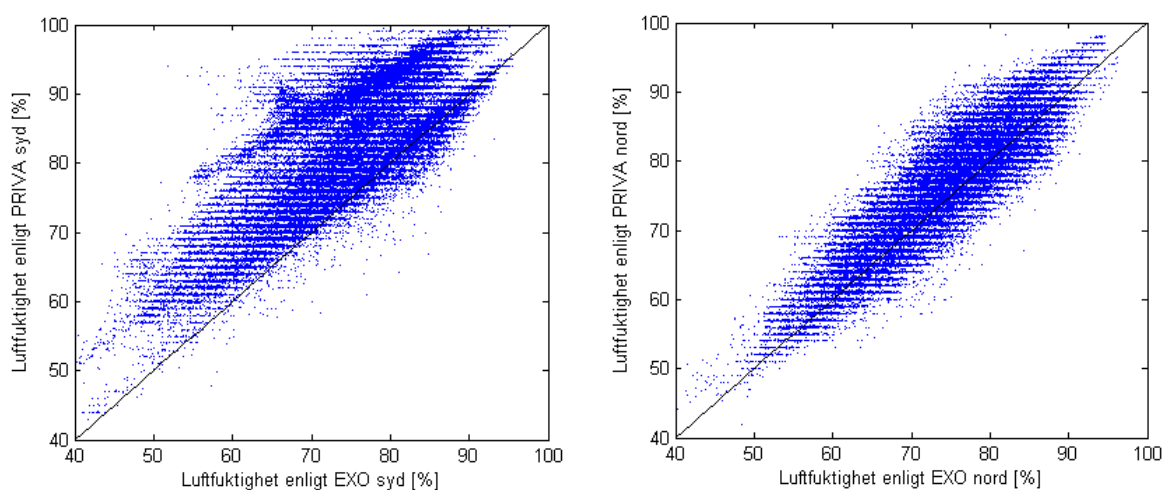
Figur 44 Kyleffekt och pumpfrekvens under sex veckor sommaren 2011. Under nio dagar (13-22.7) kördes utepumparna med högre frekvens.

För att växthuset skulle hållas slutet krävdes också att kyl/avfuktningssystemet klarade av att hålla luftfuktigheten på tillräckligt låg nivå. Den i PRIVA inställda luftfuktighetsnivån då takluckorna började öppnas varierade något under försöksperioden, men låg i allmänhet kring 80 %. Avfuktningssystemet var därför inställt att börja avfukta vid cirka 75 %. Det visade sig vara en nivå som anläggningen sällan klarade av att uppnå. Inte heller lyckades anläggningen hålla luftfuktigheten under 80 % annat än när kylvattnet var mycket kallt.

Eftersom fuktsensorerna som styrde anläggningen (EXO) inte var samma som de som styrde lucköppningen (PRIVA) krävdes en någorlunda god överensstämmelse mellan dessa. Detta kontrollerades vid ett par tillfällen och överensstämmelsen befanns då tillräckligt god, med avvikelser på några procent. 25.4.2012 upptäcktes att en av de två fuktsensorerna i PRIVA visade kraftigt felaktiga värden. Felet korrigerades då. Först efter försökstidens slut gjordes en systematisk studie av överensstämmelsen mellan fuktsensorerna i PRIVA och EXO. Den visade att det fel som upptäcktes våren 2012 var resultatet av en längre degraderingsprocess. Under en årslång period hade ena givaren i PRIVA givit för högt värde (Figur 45 och Figur 46). Det innebär att luckorna under denna period åtminstone delvis har varit öppna i onödan.



Figur 45 Dygnsmedeltal för relativa luftfuktigheten [%] enligt de två fuktsensorer som användes för att styra avfuktningssystemet (EXO) och de två fuktsensorer som användes för att styra lucköppningen (PRIVA). Av figuren framgår att PRIVA syd ger ett avvikande värde under en stor del av hela mätperioden.

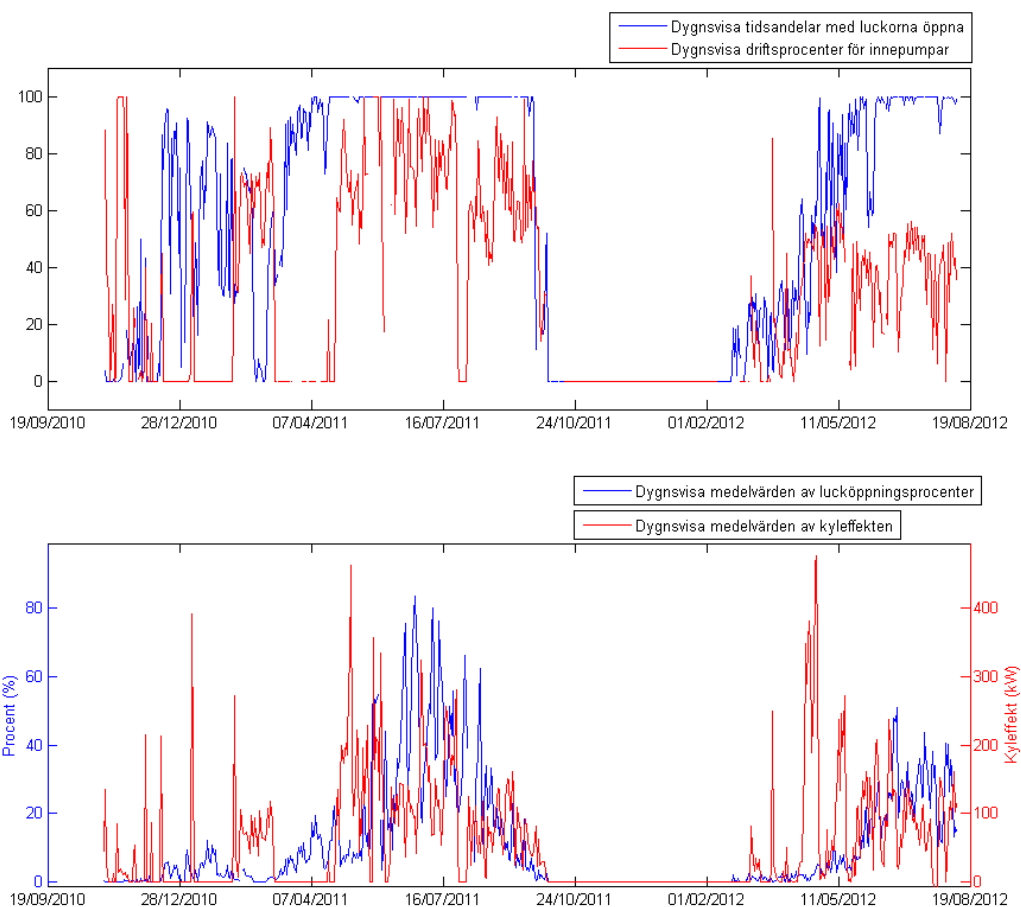


Figur 46 Jämförelse mellan luftfuktighet registrerad med PRIVA och EXO i södra delen av växthuset (vänstra grafen) och norra delen av växthuset (högra grafen). Av figuren framgår en systematisk avvikelse mellan PRIVA- och EXO-sensorerna i den södra delen av växthuset medan det i den norra delen är främst slumpmässiga variationer.

Samtidigt som anläggningen avfuktade kylde den också, vilket sänkte lufttemperaturen och därmed också daggpunkten. Denna kylningsprocess var betydligt snabbare än växthusautomatikens respons för att genom ökning av rörtemperaturerna höja temperaturen tillbaka till börvärdet. Under tiden innan temperaturen stigit tillbaka till börvärdet kunde relativa luftfuktigheten vara t.o.m. högre än före anläggningen startade. Den höga relativa luftfuktigheten fick då luckorna att öppnas. Av denna orsak visade det sig periodvis vara omöjligt att hålla luckorna stängda trots att det fanns tillgång till kallt kylvatten. Grundproblemet var här anläggningens pulserande gång, vilken i sin tur berodde på det faktum att det fanns ett minimiflöde i innerkretsarna. I en anläggning med helt steglös reglering kunde det här problemet förmodligen ha undvikits.

Sammanfattningsvis kan man säga att under sommar och höst var kylvattentemperaturen så hög att anläggningen inte klarade av att hålla luftfuktigheten på önskad nivå. Under perioder med lågt kylbehov var anläggningens pulserande gång igen ett problem som gjorde att luftfuktigheten inte hölls på önskad nivå. Den period då anläggningen fungerade bäst ur avfuktningssynpunkt var när det fanns ett tillräckligt kylbehov i växthuset för att hålla igång anläggningen kontinuerligt samtidigt som det fanns tillräckligt kallt kylvatten att tillgå. Ur denna synpunkt var därför vårvintern och våren de bästa årstiderna (se Figur 47). Den registrerade lucköppningen under dessa perioder kan åtminstone delvis

bero på problemet med den felaktiga fuktgivaren och säkra slutsatser angående anläggningens förmåga att hålla luftfuktigheten på önskad nivå kan därför inte dras.



Figur 47 Ovan: Andel av varje dygn då luckorna varit helt stängda (blå) samt andel av tiden då innepumparna varit igång (röd). Nedan: Genomsnittlig lucköppning dygnsvis (röd) och genomsnittlig kyleffekt dygnsvis (blå)

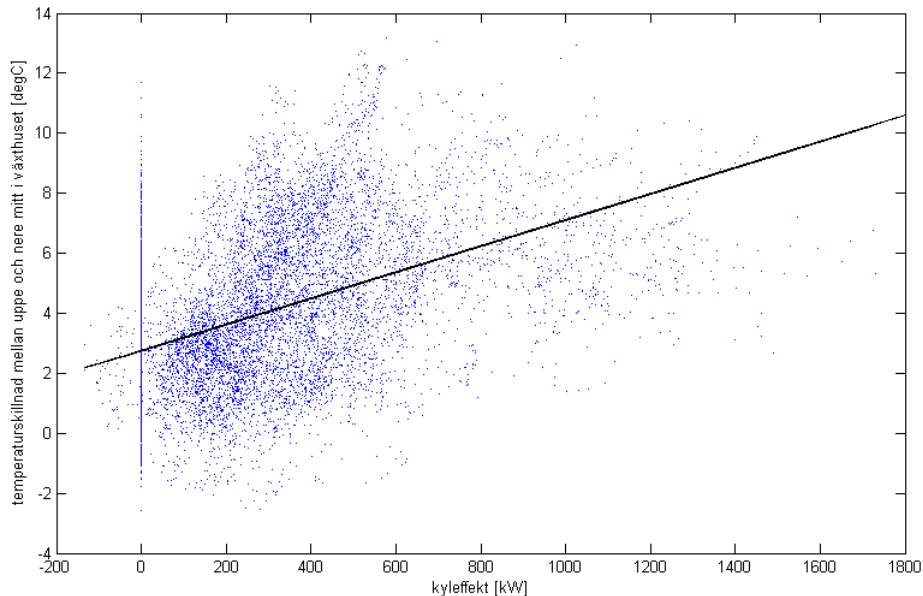
5.3 INVERKAN PÅ PLANTOR OCH VÄXTHUSKLIMAT

Syftet med anläggningen var att kunna hålla växthuset slutet. Eftersom det här inte egentligen lyckades medförde det inte heller någon väsentlig ändring av koldioxidhalten. Övriga klimatinställningar var i stort sett samma som före anläggningen togs i bruk.

Innan försöket fanns en viss oro för hur plantorna närmast droppridån skulle reagera. Droppridån var placerad mitt mellan två odlingsrader. Plantorna vinklades en aning utåt och de relativt få blad som växte ut så att de utsattes för vattenridån togs bort vartefter. Inga egentliga problem med plantornas välmående uppdagades under försökstiden. Droppridåns placering mitt mellan två odlingsbäddar medförde dock att anläggningen inte kunde användas när plantorna var små. Plantorna hängde då inte tillräckligt stabilt för att man skulle kunna hålla dem borta från vattenridån. Först två månader efter plantering hade plantorna nått en sådan stadga att det var möjligt att köra anläggningen. Det här är förstås en nackdel eftersom det försämrar lönsamheten om anläggningen inte kan köras hela tiden. Detta gäller i ännu högre grad i säsongodling där plantering sker i februari–mars. Man förlorar då förhållandevis mycket av den tid av året då de bästa förutsättningarna för att använda anläggningen föreligger, dvs. perioden mars–juni. Å andra sidan bör påpekas att problemet inte nödvändigtvis

förekommer i alla installationer utan beror av radavståndet där anläggningen installeras. I det växthus som användes i försöket var avståndet förhållandevis litet.

Den kylda luften från vattenridåerna flödar ut på ca 40 cm höjd över marken och sprids längs marken under odlingsbäddarna. Som ett resultat av detta uppstår större vertikala temperaturgradienter än när kylningen görs genom att öppna takluckorna (Figur 48). Temperaturgradienten ökar med ökad kyleffekt. I praktiken kan de högre kyleffekterna bara åstadkommas med tillräckligt kallt kylvatten, och temperaturgradienten kan därför lika väl sägas öka med ökad temperaturskillnad mellan växthusluft och kylvatten.



Figur 48 Temperaturskillnad mellan uppe (ovanför planttopparna) och nere (odlingsbäddnivå) mot kyleffekt vid tidpunkter då globala instrålningen överstiger 500 W/m^2 . Medeltalet för punkter då anläggningen inte är igång är $2,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Medeltalet för punkter då anläggningen är igång är $4,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

I en holländsk studie (Qian, o.a., 2012) jämfördes odlingsresultaten i fyra växthus, två med tillförsel av kyld luft ovanifrån, två med tillförsel underifrån. I båda fallen var det fråga om mekanisk ventilation. Man kunde konstatera att kylning underifrån gav upphov till temperaturgradienter över $5 \text{ }^\circ\text{C}$ vid hög solinstrålning, medan kylning ovanifrån inte gav upphov till sådana gradienter. Man undersökte ett antal variabler, såsom assimilatproduktion, assimilatfördelning, tomaternas torrsubstanshalt, antal skördade tomater och tomaternas storlek. Över odlingssäsongen som helhet fann man inga signifikanta skillnader för någon av dessa variabler. Under sommaren, när temperaturgradienterna var som högst, var frukterna lite (8 %) större i växthusen med kylning underifrån. För de övriga faktorerna fanns inte heller då några signifikanta skillnader. På basen av denna studie, som enligt författarna vid publikation 2011 torde varit den enda i sitt slag, finns alltså inte skäl att tro att de temperaturgradienter anläggningen gav upphov till skulle ha påverkat skörden negativt.

5.4 ENERGIEKONOMI

Värmeenergimässigt medförde avfuktning med anläggningen under uppvärmningssäsongen (höst, vinter och vår) större värmeförluster än vad avfuktning med ventilation skulle ha gjort (Figur 27). Under vinter och vår är skillnaden ganska liten, men på hösten är den betydande.

För att bestämma den energimerkostnad som på detta sätt uppstod skulle det krävas en beräkning av hur stor del av driften som härrör från ren avfuktning utan att något samtidigt kylbehov föreligger. Det låter sig inte enkelt göras utgående från loggade data utan skulle kräva en tillförlitlig fuktflödesmodellering. En sådan ligger utanför ramen för detta arbete. Här måste bara konstateras att användning av anläggningen ger upphov till en energikostnad också i form av värme.

Det genomsnittliga COP-värdet under året låg kring 6. Det här är ett värde som är lite bättre än för en kompressorbaserad kylanläggning, men ändå högt med tanke på de stora värmemängder som skall kylas bort sommartid. COP-värdet beror av driftinställningarna. Om man ökar den temperaturdifferens mellan växthusluft och kylvatten som krävs för att innepumparna skall gå eller den temperaturdifferens mellan bassäng och uteluft som krävs för att utepumparna skall kyla bassängen kommer också COP-värdet att öka. Samtidigt minskar emellertid den andel av tiden som anläggningen kan användas. Även en ökning av tillåten temperatur i växthuset kan öka COP-värdet.

Den sammanlagda elenergiförbrukningen under hela försöksperioden var 144 MWh. Det innebär en elenergikostnad i storleksordningen 13 000 euro eller 4 euro per kvadratmeter och år.

5.5 DISKUSSION

Anläggningen lyckades inte prestera den kyleffekt som behövdes under sommaren (varken under den första sommaren, då värmestillförseln låg på en onödigt hög nivå, eller under den andra sommaren med normal värmestillförsel). Under delar av året var det omöjligt att hålla luftfuktigheten på önskad nivå. Den felaktiga fuktgivaren orsakade därtill onödig lucköppning. Av dessa orsaker hölls växthuset slutet i en mycket låg omfattning i förhållande till vad som hade förväntats. Det här betyder inte att anläggningen var verkningslös. Även fast den endast klarade av att ta hand om en del av kylbehovet reducerade den behovet av ventilation och därmed koldioxidförlusterna. Ett noggrant värde på inbesparingen är svårt att beräkna men redan en grov överslagsberäkning visar att värdet av den inbesparade koldioxiden var mindre än energikostnaden för att driva anläggningen.

Inställningen av koldioxidnivå i växthuset var relaterad till lucköppning. Då luckorna var stängda eller lucköppningen var liten hölls en hög koldioxidnivå (800–1000 ppm). Nivån reducerades kraftigt i lucköppningsintervallet 10–15 %. En partiell minskning av lucköppningen gav därför inte nödvändigtvis någon ökning i koldioxidhalten om inte öppningen sjönk under det övre tröskelvärdet. För att väsentligt öka koldioxidhalten skulle ha krävts att luckorna hållits någorlunda stängda, dvs. under det lägre tröskelvärdet. Den ökning av genomsnittlig koldioxidhalt som anläggningen gett upphov till är svår att kvantifiera. Det torde dock vara klart att den är så liten att man inte kan förvänta sig att se resultatet i form av ökad skörd, vilket bekräftas av skördedata. I skördedata finns ingen indikation på att anläggningen gett upphov till en skördeökning. Den enda säkra slutsats som kan dras är att avlägsnandet av mellanbelysningen i de rader där vattenridåerna var placerade reducerade skörden i dessa rader.

För att uppnå fördelar i form av reducerad spridning av skadeinsekter skulle det krävas att växthuset hålls närapå helt slutet. På denna punkt kan anläggningen alltså inte ha gjort någon väsentlig nytta.

Anläggningens kylkapacitet är i hög grad beroende av temperaturskillnaden mellan växthusluft och kylvatten. Kylvattnets temperatur beror av uteluftens temperatur och relativa fuktighet. De senare kan inte påverkas, varför den enda möjligheten att öka kylkapaciteten är att tillåta högre temperatur inne i växthuset. Enligt Heuvelink finns det möjlighet att tillåta både högre temperatur och högre relativ fuktighet i slutna växthus där koldioxidhalten hålls högre än vad som normalt är fallet. Det här ligger

emellertid bortom konventionell odlingserfarenhet och de odlingsansvariga under försöksperioden var av förståeliga skäl inte villiga att prova högre temperatur och relativ fuktighet. Man kan spekulera i huruvida en höjning av fuktgränsen till t.ex. 85 % skulle ha möjliggjort högre grad av slutenhet. Det är däremot osannolikt att en temperaturhöjning med någon grad skulle ha räckt till för att hålla växthuset slutet sommartid.

På basen av utfallet av försöket i det aktuella växthuset, med de klimatinställningar som användes och med tomat som gröda måste slutsatsen bli att anläggningen inte har gett önskat resultat. De eventuella vinningarna i form av reducerad koldioxidförbrukning räcker inte till för att motivera driften då inga andra fördelar uppnås. Slutsatsen torde vara giltig även för andra typer av växthus med tomat som odlingsväxt.

När det gäller andra växter bör påpekas att anläggningens förmåga att möta avfuktningens behovet i mycket hög grad beror av vilket värde på luftfuktigheten som tillåts. Det här beror i sin tur av vilken växt som odlas. För tomat används ofta värden kring 80 %. För t.ex. gurka kan högre värden tillåtas, vilket ökar förutsättningarna för att anläggningen skall klara av att sköta avfuktningen. I den rapport (Särkkä, Hovi-Pekkanen, Kaukoranta, Tahvonen, & Huttunen, 2006) där motsvarande anläggning användes för gurkodling sommartid uppges att växthuset hölls slutet största delen av tiden och att man uppnådde en skördeökning på 24 %. Orsaken till att man lyckades hålla växthuset slutet kan vara att man höll högre fukt- och temperaturinställningar.

6 LITTERATURFÖRTECKNING

- Qian, T., Dielemann, J. A., Elings, A., de Gelder, A., van Kooten, O., & Marcelis, L. F. (2012). Vertical Temperature Gradients in the Semi-Closed Greenhouses: Occurrence and Effects. *Proc. XXVIIIth IHC - IS on Greenhouse 2010 and Soilless Cultivation*. Acta Hort. 927, ISHS.
- Särkkä, L. E., Hovi-Pekkanen, T., Kaukoranta, T., Tahvonen, R., & Huttunen, J. (2006). Greenhouse Cooling in Summer in Finland – Preliminary Results of Climate Control and Plant Response. *Proc. IS on Greenhouse Cooling*. Acta Hort. 719, ISHS.

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 Vasa, 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 Vasa
Växel tfn (06) 328 5000
Fax (06) 328 5110
www.novia.fi

ANSÖKNINGSBYRÅN

Wolffskavägen 33, 65200 Vasa
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