

Energiebesparing op circulatie bij de bewaring van bloembollen door aanpassingen aan het bewaarsysteem

Effecten van een afgeronde uitblaasopening en een nieuw ontwerp palletkist

Dr. H. Gude en Ir. J. Wildschut

© 2005 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Meerjarenafspraken Energie Bloembollen (KAVB, PT, Min. v. LNV, SenterNovem en telers)



In samenwerking met **Omnivent**

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Bloembollen

Adres : Postbus 85
: 2160 AB Lisse
Tel. : 0252 - 462121
Fax : 0252 - 462100
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

INHOUDSOPGAVE

	Pagina
1 Samenvatting	3
2 Inleiding	4
3 Materiaal en methode	6
4 Resultaten	7
5 Conclusies	11
6 Discussie en aanbevelingen	11
7 Kennisoverdracht	12
Bijlage: Ruwe metingen	13

1 SAMENVATTING

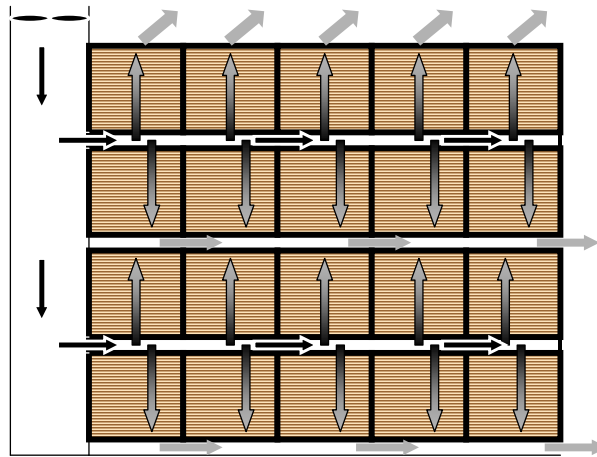
Bloembollen worden grotendeels in palletkisten bewaard, waar met behulp van een zgn. systeemwand 500 m³ lucht per m³ bollen per uur door de kisten wordt geblazen voor een optimale temperatuurverdeling en om plaatselijke ophoping van vocht en het schadelijke ethyleengas te voorkomen. Door grote drukverschillen (en -verliezen) in het systeem moet meer gecirculeerd worden dan nodig is. Enkele jaren geleden is door het toenmalige IMAG in samenwerking met Wageningen Universiteit aangetoond dat met relatief simpele aanpassingen aan het bewaarsysteem een veel gelijkmatiger drukverdeling en minder drukverliezen konden worden gerealiseerd, waardoor minder energie nodig was. Voorbeelden van die aanpassingen zijn: afgeronde uitblaasopeningen i.p.v. hoekige, een schuine balk onderin de palletkisten, het aanbrengen van een extra luchtweerstand bovenop de stapeling, etc.

In overleg met de Werkgroep Energie van het Milieuplatform Bollensector is besloten de energiebesparing die met de afgeronde uitblaasopening en de nieuwe kuubkist gerealiseerd kan worden, in een praktijksituatie te meten en aan kwekers en installateurs te demonstreren. De proeven zijn op Proefbedrijf de Noord (PPO) in samenwerking met Omnivent uitgevoerd. Dit onderzoek heeft aangetoond dat aanpassingen aan kuubkist en systeemwand in combinatie met frequentie-geregelde ventilatoren enorme energiebesparingen opleveren. Het nieuwe ontwerp kuubkist met smallere latten en schuine balken in de bodem bespaart 35% op het energieverbruik in vergelijking met de gangbare kisten. Afronding van de uitblaasopening levert in combinatie met gangbare kisten een energiebesparing van 43% op. De combinatie afgeronde uitblaasopening en nieuw ontwerp kuubkist bespaart 50% energie ten opzichte van de gangbare systeemwand in combinatie met de gangbare kist. In situaties zonder frequentieregeling besparen de aanpassingen bij gelijke hoeveelheden kisten voor de wand niet zondermeer energie, maar leiden ze tot meer lucht door het gehele systeem: bij alleen aangepaste kist 17%, bij alleen aangepast systeem 19% en bij de combinatie aangepast systeem/aangepaste kist 23%. In die situaties kan de kweker toch energie besparen door meer kisten voor de wand te plaatsen, zodat per hoeveelheid bollen minder energie verbruikt wordt. De aanpassingen aan systeem en kist zijn ook gunstig voor het drogen van bollen: door meer lucht zijn de bollen eerder droog, wat op zich ook een vorm van energiebesparing is.

2 INLEIDING

Bloembollen worden grotendeels in palletkisten bewaard, waar met systeemventilatoren 500 m³ lucht per m³ bollen per uur door de kisten wordt geblazen voor een optimale temperatuurverdeling en om plaatselijke ophopingen van vocht en het schadelijke ethyleengas te voorkomen. In de praktijk worden verschillende systemen gebruikt, die alle bestaan uit een systeemventilator en een luchtkanaal waarin druk opgebouwd wordt, voordat de lucht via de palletopening in de kisten geblazen wordt. De meest voorkomende systemen zijn:

- De éénlaagsbeluchting, waarbij per uitblaasopening 1 rij kisten rechtstreeks wordt ingeblazen in de palletopening. Door meerdere uitblaasopeningen boven elkaar in één systeemwand kunnen wel meerdere lagen kisten op elkaar geplaatst worden.
- Het dubbellaags-systeem ofwel 2-laagsbeluchting. In dit systeem worden per uitblaasopening 2 lagen kisten belucht, één laag via de palletopening omhoog en één laag van bovenaf naar beneden (zie Figuur 1). Dit is het meest voorkomende bewaarsysteem in de bollensector en om die reden als onderzoekobject voor energiebesparing gekozen.



Figuur 1. Het dubbellaags bewaarsysteem voor kuubkistenbewaring. Foto: de buitenkant van het bewaarsysteem. De kisten worden voor de openingen geplaatst. De illustratie toont een schematische dwarsdoorsnede door het systeem met palletkisten en de luchtstroom. Illustratie: IMAG

Enkele jaren geleden is door het toenmalige IMAG (Wageningen UR) onderzoek gedaan naar luchtstromen in kuubkisten en in het dubbellaags-systeem, met het doel te komen tot aanpassingen aan de systeemwand en de kuubkist die leiden tot energiebesparing. Met behulp van de CFD-techniek (Computational Fluid Dynamics), waarbij het gedrag van lucht in stapelingen met behulp van de computer wordt berekend en gesimuleerd, bleek dat in een dubbellaags-systeem grote verschillen in luchtsnelheid bestaan tussen de verschillende kisten. Tussen de kist met de laagste luchtsnelheid en die met de hoogste snelheid bleek een factor 6 verschil in luchtsnelheid te bestaan. Als de kist met de laagste snelheid voldoende lucht krijgt (wat een vereiste is), gaat door de 'beste' kist 6 maal teveel lucht. Dit betekent een enorm energieverlies en kwaliteitsverlies door overmatige uitdroging. Vervolgens zijn aanpassingen, gericht op het nivelleren van druk- en luchtsnelheidsverschillen in het bewaarsysteem, in het computermodel ingevoerd en zijn de gevolgen voor de luchtsnelheid en het energieverbruik doorgerekend. Het onderzoek leverde de volgende aanpassingen op:

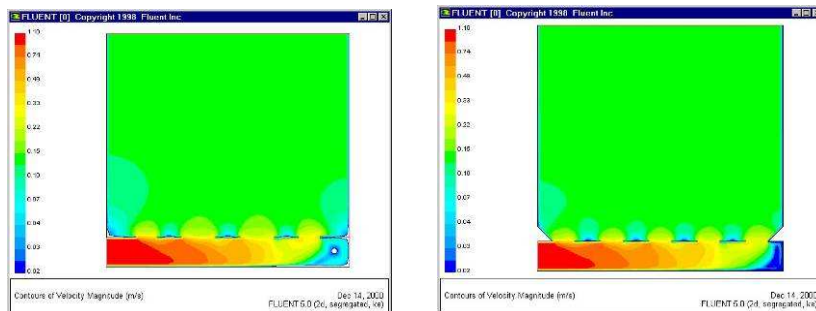
- Het aanbrengen van veranderingen in de bodem van de kuubkist. In de bodem van de gangbare kist bevinden zich enkele brede platte latten voor de stevigheid. In de hoeken onderin de kist leiden deze platte latten tot dode hoeken, plekken waar de lucht moeilijk komt. Door een smalle *schuine* balk rondom onderin de kist aan te brengen en een groter aantal smallere latten in de bodem van de kist aan te brengen ontstaat een kist met een even groot

oppervlak in de bodem voor het doorlaten van lucht, maar waar de lucht makkelijker (en met minder energie) door heengaat (Figuur 2).

- Het aanbrengen van een extra luchtweerstand bovenop de stapeling d.m.v. een houten plaat (niet helemaal dicht).
- Het afdichten van de uitblaaskanalen aan de kant, het verst van de ventilator.
- Het afronden van de uitblaasopening van de systeemwand. De uitblaasopening heeft rechte hoeken, die veel luchtweerstand en zelfs wervelingen veroorzaken. Door de hoeken af te ronden wordt de weerstand verminderd en daarmee de benodigde ventilatorenergie.

In een laboratoriumopstelling met een systeemwand en kuubkisten zijn de voorspellingen gevalideerd en op hoofdlijnen bevestigd (voor details, zie het rapport "Modelmatig onderzoek naar energiezuiniger bewaarcellen" op de MJA-E Bloembollen-site van SenterNovem).

De computermodellen voorspelden een totale energiebesparing van ongeveer 40% op het bewaarsysteem als alle wijzigingen werden doorgevoerd.



Figuur 2. CFD-illustraties van de luchtsnelheid in de traditionele palletkist (links) met 5 brede platte latten in de bodem en de aangepaste palletkist met 4 smallere latten en 2 schuine balken aan de zijkanten. De hoogste luchtsnelheid wordt met rood en de laagste met blauw aangegeven. In de aangepaste kist zijn de dode hoeken aan de zijkant kleiner en is de werveling in de palletopening (de witte cirkel links) verdwenen. Bron: IMAG.

Vooraf de energiebesparing door de afgeronde uitblaasopening (bij gebruik van frequentieregeling) en het nieuwe ontwerp kuubkist was aanzienlijk en sprak bij de praktijk sterk tot de verbeelding. In overleg met de Werkgroep Energie van het Milieuplatform Bloembollensector is besloten de energiebesparing, die met de afgeronde uitblaasopening en de aangepaste kuubkist gerealiseerd kan worden, in een praktijksituatie te meten en aan kwekers en installateurs te demonstreren. In 2003 is in proeven op Proefbedrijf de Noord van PPO in samenwerking met Omnivent de energiebesparing onder praktijkomstandigheden gemeten. In 2004 zijn het principe van de afgeronde uitblaasopening en aangepaste kuubkist en de gerealiseerde energiebesparing met economische onderbouwing aan het bollenvak gedemonstreerd.

3 MATERIAAL EN METHODE

In bewaarperiode 2003 zijn door Omnivent op proefbedrijf de Noord 2 bewaarsystemen gebouwd: één conventioneel systeem met rechthoekige uitblaasopening en één aangepast systeem met afgeronde uitblaasopening. Voor elk systeem zijn 8 kuubkisten met plantgoed geplaatst (een dubbele laag van 4 kisten diep). De inhoud van de kisten (aantallen en zifmaat plantgoed) was nagenoeg identiek. Er zijn 2 soorten kuubkisten gebruikt: de conventionele, met brede platte latten aan de zijkant onderin, en een aangepast model met schuine balken onderin. De systemen waren voorzien van 2 identieke ventilatoren met een aangepaste capaciteit (in overeenstemming met het aantal kisten), waarvan het toerental traploos werd geregeld door middel van frequentieregelaars met digitale uitlezing. Tijdens het bewaarperiode zijn verschillende combinaties gemaakt van de 2 systemen (conventioneel en aangepast, d.w.z. afgerond) en de 2 typen kist (conventioneel en aangepast, d.w.z. 'schuine balk'):

- 1) conventioneel systeem en conventionele kist
- 2) conventioneel systeem en aangepaste kist
- 3) aangepast systeem en conventionele kist
- 4) aangepast systeem en aangepaste kist

In alle combinaties is bij verschillende frequenties de luchtsnelheid op verschillende plaatsen voor de uitblaasopening gemeten en zijn de luchtdruk en het energieverbruik bepaald. De normale frequentie is 50Hz, de frequentie van de net-wisselstroom. Met een frequentieregelaar wordt het toerental van de ventilator traploos omlaag gebracht, waardoor de hoeveelheid lucht en het energieverbruik verminderd worden (vergelijkbaar met het gebruik van frequentieregelaars in de praktijk). Door de combinaties van systemen en kisten onderling te vergelijken kunnen afzonderlijk de effecten van de aangepaste kist en het aangepaste systeem berekend worden.

In dit verslag wordt alleen gewerkt met luchtsnelheden (m/s). Door dit getal te vermenigvuldigen met het oppervlak van uitblaasopening wordt de hoeveelheid lucht per tijdseenheid (debiet) verkregen. Voor de effecten van de aanpassingen op de luchthoeveelheid en de energiebesparing doet dit niet ter zake.

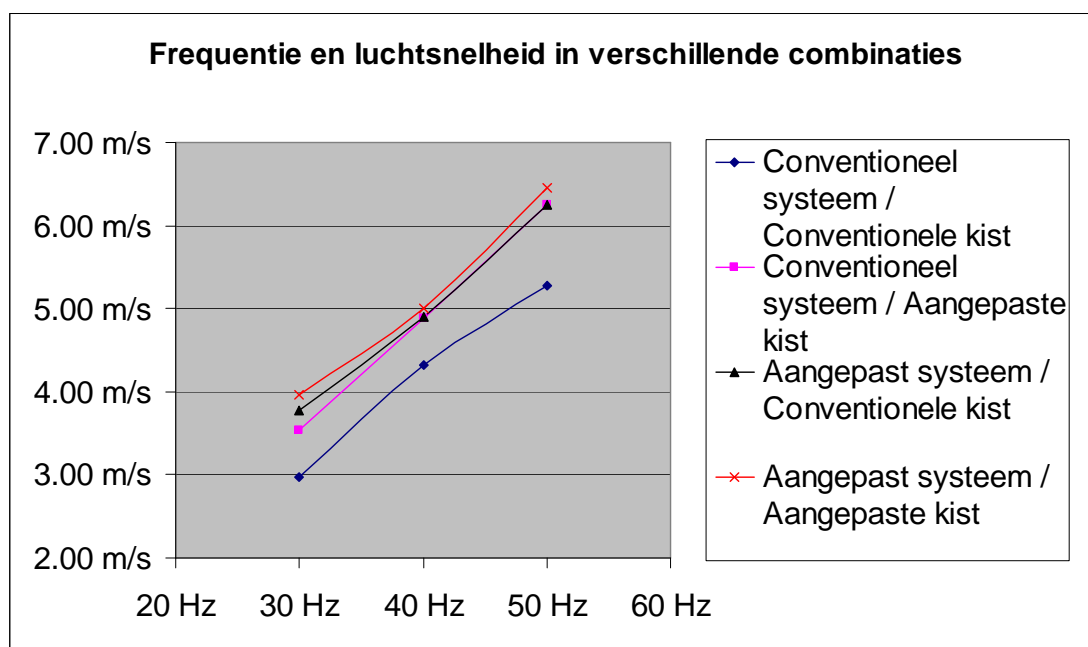
Alle ruwe metingen zijn opgenomen in de bijlagen.

4 RESULTATEN

De combinaties van type systeem en type kist worden in het vervolg met een nummer aangeduid (zie ook materiaal en methode):

- 1 conventioneel systeem en conventionele kist
- 2 conventioneel systeem en aangepaste kist
- 3 aangepast systeem en conventionele kist
- 4 aangepast systeem en aangepaste kist

In figuur 3 worden de effecten van de verschillende combinaties systeem en kist op de luchtsnelheid bij verschillende frequenties van de ventilator weergegeven. In één oogopslag wordt duidelijk dat de aanpassingen aan systeem en kist bij vergelijkbare frequenties beduidend meer lucht geven. De laagste luchtsnelheid is gemeten in het conventionele systeem met de conventionele kist (de ruitsymbolen). De hoogste luchtsnelheid wordt verkregen in de combinatie aangepast systeem en aangepaste kist (de kruisjes). De overige combinaties liggen daar qua luchthoeveelheid tussenin.



Figuur 3. Verband tussen ventilatorfrequentie en luchtsnelheid in verschillende combinaties van conventioneel of aangepast systeem en conventionele of aangepaste kist (de normale frequentie is 50Hz, de frequentie van de net-wisselstroom. Met een frequentieregelaar wordt het toerental van de ventilator traploos omlaag gebracht, waardoor de hoeveelheid lucht en het energieverbruik verminderd worden).

Voor iedere combinatie liggen de punten vrijwel op een rechte lijn. Lineaire regressie van de verbanden levert de volgende formules voor de lijnen en correlatie-coëfficiënten (r^2) op:

Combinatie 1: luchtsnelheid (m/s) = 0.1159 maal frequentie (Hz) - 0.444 ; $r^2 = 0.99$

Combinatie 2: luchtsnelheid (m/s) = 0.1362 maal frequentie (Hz) - 0.559 ; $r^2 = 1.00$

Combinatie 3: luchtsnelheid (m/s) = 0.1236 maal frequentie (Hz) + 0.027 ; $r^2 = 1.00$

Combinatie 4: luchtsnelheid (m/s) = 0.1251 maal frequentie (Hz) + 0.135 ; $r^2 = 0.99$

Uit deze functies is bij iedere frequentie berekend hoeveel meer lucht door het systeem gaat als gevolg van aanpassingen aan systeem of kist. Bijvoorbeeld bij 30 Hz: In combinatie 1 wordt dan $30 \times 0.1159 - 0.444 = 3.033$ m/s luchtsnelheid gemeten. In combinatie 2 levert dat een luchtsnelheid op van $30 \times 0.1362 - 0.559 = 3.527$ m/s. Alleen al door het gebruik van de aangepaste kist gaat er dus 17% meer lucht door het hele systeem bij dezelfde frequentie.

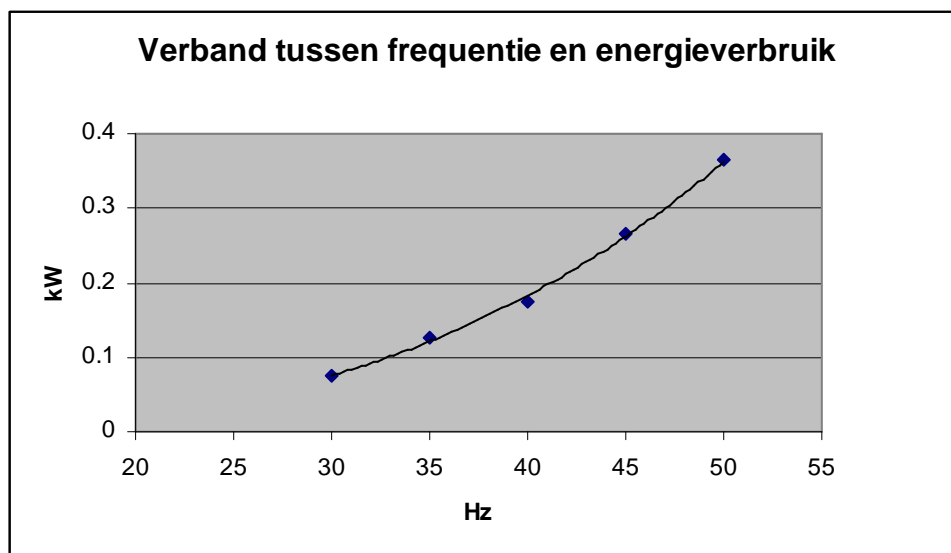
In onderstaande tabel is op deze wijze de procentuele toename in hoeveelheid lucht door aanpassingen in systeem en kist bij 30, 40 en 50 Hz weergegeven (ten opzichte van de controle: combinatie 1).

Combinatie Systeem/kist	30 Hz	40 Hz	50 Hz	gemiddeld
Conv./conv.	-	-	-	-
Conv./aangepast	+ 17	+ 17	+ 17	+ 17 %
Aangepast/conv.	+ 23	+ 19	+ 16	+ 19 %
Aangepast/aangepast	+ 28	+ 23	+ 19	+ 23 %

Tabel 1. Procentuele toename in luchthoeveelheid bij verschillende frequenties als gevolg van aanpassingen aan systeem en kist ten opzichte van de combinatie conventioneel systeem/conventionele kist (de normale frequentie is 50Hz, de frequentie van de net-wisselstroom. Met een frequentieregelaar wordt het toerental van de ventilator traploos omlaag gebracht, waardoor de hoeveelheid lucht verminderd wordt).

Uit deze tabel blijkt dat alleen al door de aangepaste kist gemiddeld 17% meer lucht door het conventionele systeem gaat. Door alleen het systeem te veranderen (afgerond) bedraagt de toename in lucht gemiddeld 19%. Door systeem én kist aan te passen neemt de hoeveelheid lucht niet veel meer toe dan bij de afzonderlijke aanpassingen: 23 % tegenover 17 en 19%. Aanpassing van de kist leidt tot eenzelfde winst bij alle frequenties. De winst door aanpassing aan het systeem varieert met de frequentie en is hoger naarmate de frequentie lager is.

De stap naar energieverbruik is ingewikkelder. Het stroomverbruik in de 2 systemen (conventioneel en aangepast) is gemeten bij een reeks van frequenties (30 tot 50 Hz). In Figuur 4 wordt de gemeten opgenomen energie (kW) bij verschillende frequenties weergegeven. Dit verband geldt voor alle combinaties van systeem en kist.



Figuur 4. Verband tussen frequentie en energie(stroom)verbruik. In wiskundige formule: $kW = 2.9559 \times Hz^3 / 10^6 - 0.0059$.

Tussen frequentie en stroomverbruik bestaat een 'derde macht'-verband. De wiskundige formule voor dit verband luidt: $kW = 2.9559 \times (Hz^3 / 10^6) - 0.0059$.

De energiewinst door aanpassingen aan systeem en kist zijn als volgt berekend: de aanpassingen geven meer lucht (Figuur 3). Vervolgens wordt berekend hoeveel lager de ventilator-frequentie mag worden om in de aangepaste situatie dezelfde hoeveelheid lucht te

krijgen als in de uitgangssituatie conventioneel/conventioneel. Dit levert dus een verlaagde frequentie op. Vervolgens wordt in de formule onderaan Figuur 4 het energieverbruik bij die verlaagde frequentie vergeleken met de oorspronkelijke frequentie en wordt de procentuele energiebesparing berekend.

Een voorbeeld:

Hoe groot is de energiebesparing in de combinatie aangepast systeem en conventionele kist (combinatie 3) ten opzichte van conventioneel/conventioneel bij een frequentie van 40Hz? Ingevuld in de formules onder Figuur 3 levert dit voor combinatie 1 (conventioneel/conventioneel) een luchtsnelheid op van 4.19 m/s. Combinatie 3 (aangepast/conventioneel) geeft bij 40 Hz een luchtsnelheid van 4.97, dat is 19% meer lucht. Vervolgens wordt berekend hoeveel lager de frequentie in de aangepaste situatie mag worden om dezelfde hoeveelheid lucht te verkrijgen als in combinatie 1. Invulling van 4.19 m/s in de formule voor combinatie 3 levert een frequentie op van 33.7 Hz. De frequentie mag dus omlaag van 40 naar 33.7 Hz in het aangepaste systeem om dezelfde hoeveelheid lucht te geven als de uitgangssituatie (combinatie 1). Het energieverbruik bij deze frequenties wordt berekend door deze getallen in te vullen in de formule onder Figuur 4. Energieverbruik bij 40 Hz is 0.1833 kW en bij 33.7 Hz is dat 0.1072 kW. Procentueel is deze besparing op stroomverbruik 42%.

Op dezelfde manier is de energiebesparing voor alle 3 combinaties van aanpassingen ten opzichte van de uitgangssituatie (Conventioneel/conventioneel) doorgerekend bij 30, 40 en 50 Hz (Tabel 2).

Combinatie Systeem/kist	30 Hz	40 Hz	50 Hz	gemiddeld
Conv./conv.	-	-	-	-
Conv./aangepast	35%	35%	35%	35%
Aangepast/conv.	50%	42%	37%	43%
Aangepast/aangepast	58%	48%	43%	50%

Tabel 2. Procentuele besparing op energieverbruik (stroomverbruik ventilator) door aanpassingen aan systeem en/of kist bij verschillende frequenties. De normale frequentie is 50Hz, de frequentie van de net-wisselstroom. Met een frequentieregelaar wordt het toerental van de ventilator traploos omlaag gebracht, waardoor de hoeveelheid lucht en het energieverbruik verminderd worden.

Uit Tabel 2 blijkt dat aanpassingen aan systeem en kist enorme energiebesparingen opleveren. Aanpassing aan alleen de kist geeft al een gemiddelde energiebesparing van 35% op het stroomverbruik. Alleen aanpassing van het systeem leidt tot een besparing van 43% (voorbeeld: per ventilator van 2.2 kW bij 2500 draaiuren per seizoen betekent dit een besparing van 2365 kWh, ofwel € 213 bij een kWh-prijs van € 0.09). De combinatie aangepast systeem én aangepaste kist geeft een besparing van gemiddeld 50%. Deze besparingen worden alléén gerealiseerd als met behulp van frequentieregelaars de luchthoeveelheid teruggeschroefd wordt tot in de uitgangssituatie (het algemeen geldende advies). Als de aanpassingen doorgevoerd worden zónder frequentieregelaars (en in alle situaties dus met de normale frequentie van 50 Hz wordt geventileerd) dan leveren de aanpassingen geen energiebesparingen op, maar wordt 17 à 23% meer lucht gegeven. In die gevallen kan de kweker toch energie besparen door dan meer kisten voor de wand te plaatsen waardoor het energieverbruik per kist bollen omlaag gaat.

2004

In 2004 zijn de resultaten uit het onderzoek aan de praktijk gedemonstreerd. Door Omnivent is een demonstratiemodel van de systeemwand met afgeronde uitblaasopening gemaakt, dat is getoond bij studieclubbijekomsten, op open dagen en op de Kennismarkten Energie Bloembollen. Bij die bijeenkomsten zijn ook de energiebesparing en financiële besparing toegelicht. Daartoe zijn door

bedrijfskundigen van PPO de gevolgen van de aanpassingen aan het systeem voor de energiebesparing op bedrijven berekend. Bij deze demonstratie-activiteiten is de aandacht vooral gericht op de afgeronde uitblaasopening, omdat de aanpassingen aan bestaande kisten vanwege de hoge investering bij kwekers op bezwaren stuiten.

In de communicatie werd een energiebesparing van 22% door de afgeronde uitblaasopening gehanteerd. Dit is de besparing van de afgeronde opening gemiddeld over de 2 typen kisten (combinatie 3 en 4) ten opzichte van het energieverbruik bij de gangbare uitblaasopening gemiddeld over de 2 typen kisten (combinatie 1 en 2). Door de in dit verslag gekozen benadering voor het berekenen van de energiebesparing door de afzonderlijke aanpassingen (systeem of kist of de combinatie) ziet de realistische energiebesparing er een stuk gunstiger uit: 35 tot 50%. In de toekomst zal met deze besparingsgetallen naar buiten worden getreden.

5 CONCLUSIES

Dit onderzoek heeft aangetoond dat aanpassingen aan kuubkist en systeemwand in combinatie met frequentie-geregelde ventilatoren enorme energiebesparingen opleveren. Het nieuwe ontwerp kuubkist met smallere latten en schuine balken in de bodem bespaart 35% op het energieverbruik in vergelijking met de gangbare kisten. Afronding van de uitblaasopening levert in combinatie met gangbare kisten een energiebesparing van 43% op. De combinatie afgeronde uitblaasopening en nieuw ontwerp kuubkist bespaart 50% energie ten opzichte van de gangbare systeemwand in combinatie met de gangbare kist. In situaties zonder frequentieregeling besparen de aanpassingen bij gelijke hoeveelheden kisten voor de wand niet zondermeer energie, maar leiden ze tot meer lucht door het gehele systeem: bij alleen aangepaste kist 17%, bij alleen aangepast systeem 19% en bij de combinatie aangepaste systeem/aangepaste kist 23%. In die situaties kan de kweker toch energie besparen door meer kisten voor de wand te plaatsen, zodat per hoeveelheid bollen minder energie verbruikt wordt. De aanpassingen aan systeem en kist zijn ook gunstig voor het drogen van bollen: door meer lucht zijn de bollen eerder droog, wat op zich ook een vorm van energiebesparing is.

6 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Dit onderzoek heeft interessante energiebesparingsmogelijkheden opgeleverd. Met het duurder worden van de energie wordt het voor telers en exporteurs al snel interessant om te investeren in de genoemde aanpassingen, zeker als het gaat om nieuwbouw. Tot nu toe is het getal van 22% energiebesparing voor de afgeronde uitblaasopening gecommuniceerd naar de telers. Bij inbouw in een bestaande wand (kosten €300,-), een ventilator van 2,2 kWh met 2500 draaiuren per seizoen, een kWh prijs van €0.09, een verwachte gemiddelde energieprijstijging van 6% per jaar, *zonder* fiscale regelingen, eia en kia en *exclusief* de kosten van een frequentieregelaar, komt de terugverdientijd voor de aanpassing hiermee onder de 4 jaar. Achteraf is de manier waarop de besparing toen is berekend onjuist: het gemiddelde energieverbruik van de 2 afgeronde systemen (met conventionele kist en aangepaste kist) is vergeleken met het gemiddelde energieverbruik van de 2 aangepaste systemen. Het energieverbruik van het conventionele systeem werd hierdoor onderschat. De gedetailleerde (en juiste) berekeningen in dit rapport laten de besparingen zien van de afzonderlijke aanpassingen (kist, wand en combinatie) ten opzichte van het conventionele systeem met de conventionele kist. De aldus berekende besparing bedraagt 35 tot 50%, waarmee de terugverdientijd dan dicht bij de 2 jaar komt. Gerekend inclusief de kosten van een frequentieregelaar (€900,-) komt de terugverdientijd dan uit op ongeveer 8 jaar bij inbouw en ongeveer 6 jaar bij nieuwbouw. Voor de aanpassingen aan de kuubkisten zijn nog geen bedrijfseconomische berekeningen gemaakt, omdat de kosten hiervan nog niet bekend zijn. Bij alle berekeningen over energiebesparing moet wel de kanttekening gemaakt worden dat het onderzoek is uitgevoerd met kuubkisten met een palletopening van 12 cm, de meest gangbare kist in het Noordelijk zandgebied. Bij kuubkisten met een grotere palletopening is de besparing vermoedelijk geringer en op dit moment niet kwantificeerbaar. Het is wenselijk om de effecten van aanpassingen aan het bewaarsysteem in vervolgonderzoek ook met kuubkisten met een grotere palletopening te bestuderen.

Aanbevelingen

Aan telers wordt geadviseerd om over te schakelen op droog- en bewaarsystemen met afgeronde uitblaasopening en/of palletkisten volgens het nieuwe ontwerp in combinatie met frequentieregelaars. Indien overschakeling op frequentieregelaars financieel niet haalbaar is, maar het aangepaste systeem of de aangepaste kisten wel, dan wordt geadviseerd om *of* een extra rij kisten voor de wand te zetten, *of* een minder zware ventilator te installeren. Door de winst in luchthoeveelheid krijgen de bollen voldoende lucht en kan een deel van de wand uitgeschakeld worden, wat ook energiebesparing oplevert. Telers met systeemwanden voorzien van een 'hoog en laag toeren'-regeling kunnen met aangepaste kisten en/of aangepaste wand op 'laag toeren'

overschakelen en zodoende veel energie besparen. In dat geval moet wel de vereiste minimale luchthoeveelheid door de kisten gecontroleerd worden.

7 KENNISOVERDRACHT

De resultaten uit dit project zijn in 2003, 2004 en 2005 bij tal van studieclubbijeenkomsten, open dagen, cursussen en de Kennismarkten Energie (MJAE Bloembollen) met telers, broeiers, exporteurs, adviseurs en installateurs besproken. Hierbij is gebruik gemaakt van een schaalmodel van de afgeronde opening, posters en powerpoint-presentaties.

Bijlage 1: Ruwe metingen

Meting PPO de Noord

Testopstelling 1

Conventioneel systeem / Conventionele kist

<i>frequentie</i>	<i>2 cm</i>	<i>4 cm</i>	<i>6 cm</i>	<i>8 cm</i>	<i>10 cm</i>	<i>gem.</i>	<i>druk vent.</i>	<i>druk laatste</i>
30 Hz	2.48 m/s	2.81 m/s	3.25 m/s	3.30 m/s	2.99 m/s	2.97 m/s	33.7 Pa	18.5 Pa
40 Hz	3.31 m/s	4.33 m/s	4.50 m/s	5.22 m/s	4.27 m/s	4.33 m/s	60.7 Pa	33.2 Pa
50 Hz	4.75 m/s	4.05 m/s	5.41 m/s	6.46 m/s	5.75 m/s	5.28 m/s	93.4 Pa	51.2 Pa

Testopstelling 2

Conventioneel systeem / Aangepaste kist

<i>frequentie</i>	<i>2 cm</i>	<i>4 cm</i>	<i>6 cm</i>	<i>8 cm</i>	<i>10 cm</i>	<i>gem.</i>	<i>druk vent.</i>	<i>druk laatste</i>
30 Hz	4.24 m/s	4.11 m/s	4.27 m/s	2.53 m/s	2.50 m/s	3.53 m/s	29.5 Pa	14.0 Pa
40 Hz	5.96 m/s	6.01 m/s	5.05 m/s	3.77 m/s	3.62 m/s	4.88 m/s	53.8 Pa	29.1 Pa
50 Hz	7.51 m/s	7.56 m/s	6.38 m/s	5.55 m/s	4.27 m/s	6.25 m/s	81.4 Pa	46.0 Pa

Gemiddelde

Conventioneel systeem

<i>frequentie</i>	<i>2 cm</i>	<i>4 cm</i>	<i>6 cm</i>	<i>8 cm</i>	<i>10 cm</i>	<i>gem.</i>	<i>druk vent.</i>	<i>druk laatste</i>
30 Hz	3.36 m/s	3.46 m/s	3.76 m/s	2.92 m/s	2.75 m/s	3.25 m/s	29.5 Pa	14.0 Pa
40 Hz	4.64 m/s	5.17 m/s	4.78 m/s	4.50 m/s	3.95 m/s	4.60 m/s	53.8 Pa	29.1 Pa
50 Hz	6.13 m/s	5.81 m/s	5.90 m/s	6.01 m/s	5.01 m/s	5.77 m/s	81.4 Pa	46.0 Pa

Testopstelling 3

Aangepast systeem / Conventionele kist

<i>frequentie</i>	<i>2 cm</i>	<i>4 cm</i>	<i>6 cm</i>	<i>8 cm</i>	<i>10 cm</i>	<i>gem.</i>	<i>druk vent.</i>	<i>druk laatste</i>
30	3.82 m/s	4.06 m/s	3.86 m/s	3.82 m/s	3.29 m/s	3.77 m/s	32.0 Pa	17.3 Pa
40	5.21 m/s	5.10 m/s	5.71 m/s	4.64 m/s	3.84 m/s	4.90 m/s	54.7 Pa	32.2 Pa
50	6.26 m/s	6.74 m/s	6.77 m/s	5.91 m/s	5.53 m/s	6.24 m/s	83.0 Pa	49.9 Pa

Testopstelling 4

Aangepast systeem / Aangepaste kist

<i>frequentie</i>	<i>2 cm</i>	<i>4 cm</i>	<i>6 cm</i>	<i>8 cm</i>	<i>10 cm</i>	<i>gem.</i>	<i>druk vent.</i>	<i>druk laatste</i>
30	4.07 m/s	4.38 m/s	3.60 m/s	3.71 m/s	4.01 m/s	3.95 m/s	30.0 Pa	19.7 Pa
40	4.71 m/s	5.70 m/s	5.45 m/s	4.71 m/s	4.47 m/s	5.01 m/s	53.6 Pa	33.7 Pa
50	6.56 m/s	6.87 m/s	6.65 m/s	6.12 m/s	6.08 m/s	6.46 m/s	83.4 Pa	48.2 Pa

Gemiddelde

Aangepast systeem

<i>frequentie</i>	<i>2 cm</i>	<i>4 cm</i>	<i>6 cm</i>	<i>8 cm</i>	<i>10 cm</i>	<i>gem.</i>	<i>druk vent.</i>	<i>druk laatste</i>
30	3.95 m/s	4.22 m/s	3.73 m/s	3.77 m/s	3.65 m/s	3.86 m/s	29.5 Pa	14.0 Pa
40	4.96 m/s	5.40 m/s	5.58 m/s	4.68 m/s	4.16 m/s	4.95 m/s	53.8 Pa	29.1 Pa
50	6.41 m/s	6.81 m/s	6.71 m/s	6.02 m/s	5.81 m/s	6.35 m/s	81.4 Pa	46.0 Pa

Testopstelling 5**Conventioneel systeem / Conventionele kist**

<i>frequentie</i>	Vermogen
30 hz	0.07 kW
35 hz	0.12 kW
40 hz	0.18 kW
45 hz	0.26 kW
50 hz	0.36 kW
55 hz	0.43 kW

Aangepast systeem / Aangepaste kist

<i>frequentie</i>	<i>Vermogen</i>
30 hz	0.08 kW
35 hz	0.13 kW
40 hz	0.17 kW
45 hz	0.27 kW
50 hz	0.37 kW
55 hz	0.45 kW