

# Mogelijkheden voor bevochtiging van ULO-koelcellen rond het vriespunt

*Humidification of ULO cooling rooms at temperatures around zero degrees*

Ann Schenk<sup>1</sup>,  
Mulugeta Admasu Delele<sup>2</sup>,  
Pieter Verboven<sup>2</sup>,  
Bart Nicolai<sup>1,2</sup>

- <sup>1</sup> Vlaams Centrum voor Bewaring van Tuinbouwproducten, Heverlee, België  
<sup>2</sup> BIOSYST-MeBioS, Katholieke Universiteit Leuven België

Koude lucht is arm aan vocht. Hierdoor zal koeling bij lage temperaturen al snel betekenen dat er veel uitdroging kan optreden. De belangrijkste manier om dit te vermijden is werken met voldoende grote verdampers met grote koelcapaciteit zodat men op milde wijze (= niet té koud) toch snel kan koelen. Toch is enige uitdroging vaak onvermijdelijk. Een bijkomend hulpmiddel om vochtverlies te beperken kan extra vochttoediening zijn. Toch is dit bij negatieve temperaturen en eventueel zelfs ULO- (ultra low oxygen) condities niet vanzelfsprekend. VCBT en MeBioS inventariseerden de diverse methoden. Hogedrukbevochtiging lijkt toepasbaar onder ULO-bewaaromstandigheden bij lage temperatuur. Daarom werd dieper in gegaan op deze werkwijze.

## Bevochtiging bij negatieve temperatuur in ULO-omstandigheden: geen peulschil

Vooral peren zijn dankbaar voor bevochtiging tijdens de bewaring. Peren hebben een minder prominente waslaag dan appels en door hun vorm zijn ze vooral aan de nek gevoelig voor uitdroging. Uitgedroogde peren vertonen dan ook snel 'slappe nekken'. Peren worden koud bewaard bij negatieve temperaturen. Dit bemoeilijkt de bevochtiging. Met de bevochtiging moet je de relatieve vochtigheid (R.V.) van de lucht verhogen. Hiervoor moet je waterdamp toevoegen aan de lucht. Er moet dus water verdampen en dat is bij een temperatuur van -1°C of lager niet eenvoudig! Alleen heel kleine druppeltjes water zullen nog verdampen bij dergelijke temperaturen. Perenbewaring levert nog een extra probleem op. De ULO-bewaring voor peren sluit nl. al meteen de luchtondersteunde

bevochtiging uit. Bevochtiging met bv. perslucht zou conflicteren met de lage-zuurstofomstandigheden en is daarom onbruikbaar. Er zijn enkele experimenten geweest met persstikstofbevochtiging of bevochtiging ondersteund door gecompriëerde ULO-cellucht, maar dat blijkt in de praktijk moeilijk werkbaar.

## Voor een goed resultaat zijn kleine druppels nodig

Bij lage temperatuur verdampt water niet zomaar. Toch is er, om de relatieve vochtigheid te verhogen, verdamping van water nodig in de koelcel. Bij 0 of -1 °C moeten de waterdruppels zeer klein zijn om nog te verdampen. Hoe klein? Dat werd berekend door MeBioS en de resultaten ervan zijn weergegeven in figuur 1.

Bij de berekening werd een aantal veronderstellingen gemaakt zoals: de druppel is verdampt wanneer hij kleiner is dan 0.1µm diameter, de luchttemperatuur = -1 °C, luchtvochtigheid = 90 %, luchtsnelheid = 3 m/s, koelcellengte = 8 m, hoogte boven de peren = 1 m, druppelsnelheid bij injectie = 3 m/s (uitblaassnelheid van de verdamper), druppeltemperatuur bij injectie = 25 °C (leidingwater).

Uit de berekeningen volgt dat een druppel van 10 µm nog moeiteloos verdampt binnen 2 meter na de injectie, terwijl een druppel van 20 µm na 8 meter nog niet verdampt is en dus zal neerslaan op de peren. De ideale druppelgrootte zal dus 10 µm of kleiner zijn.

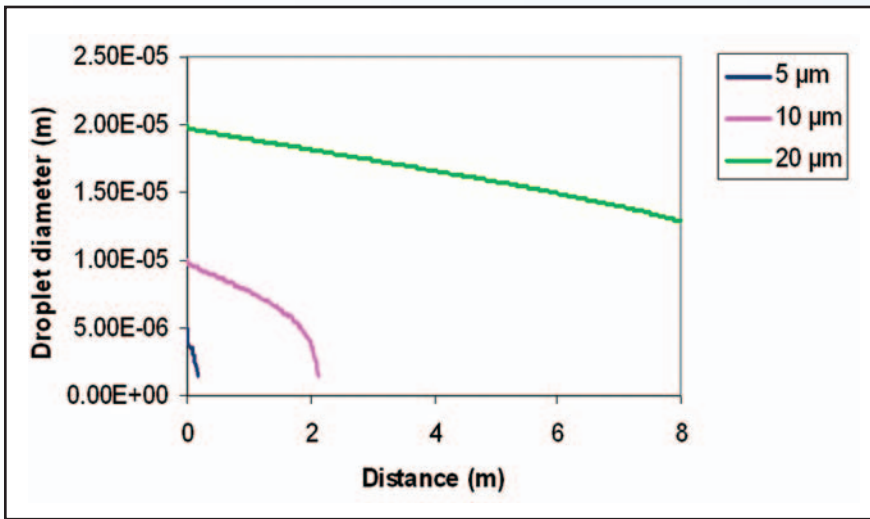
Gewoon met de tuinslang water verspuiten in de koelcel heeft dus geen enkele zin, want hiermee worden enkel grote druppels gevormd. Er zijn diverse bevochtigingssystemen die deze kleine druppeldiameters kunnen produceren:

### Samenvatting

ULO (ultra low oxygen) -koelcellen rond het vriespunt stellen specifieke eisen aan bevochtigingssystemen. Het systeem mag geen zuurstofrijke lucht in de koelcel binnenbrengen en moet voldoende kleine druppels produceren. VCBT en MeBioS, beiden verbonden aan de Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen van de Katholieke Universiteit Leuven, berekenden de criteria voor dergelijke systemen. Bovendien werd een simulatie gedaan van de reductie in gewichtsverlies van vruchten bij een verhoging van de R.V. Het resultaat was duidelijk: het is mogelijk om de R.V. te verhogen met een luchtbevochtigingssysteem, maar de homogeniteit van de luchtvochtigheid verbetert niet echt.

### Summary

ULO (ultra low oxygen) cooling rooms at temperatures around zero degrees have specific requirements for humidification systems. Entrance of fresh air should be avoided and droplets need to be small enough. The Flanders' Centre of Postharvest Technology and MeBioS, both connected to the Catholic University of Leuven, calculated the criteria for these humidification systems. Moreover the influence of an increase of R.H. on the moisture loss of fruits was simulated. The results are clear: it is possible increase the R.H. by humidification systems, but the homogeneity remains the same.



Figuur 1: Afstand die wordt afgelegd door de verdampende druppels vooraleer ze de minimale grootte bereiken (0.1 μm)

- persluchtverneveling
- hogedrukverneveling
- ultrasoonbevochtiging
- stoombevochtiging

**ULO-bewaring en luchtbevochtiging: niet alle systemen zijn toepasbaar**

Omwille van de ULO-condities in de koelcel is het onmogelijk om zuurstofrijke buitenlucht in de koelcel te blazen. Dit geeft met name problemen voor de persluchtbevochtiging. Wat druppelgrootte betreft zou persluchtbevochtiging prima voldoen voor perenbevochtiging. Persluchtbevochtiging werkt echter met behulp van gecomprimeerde buitenlucht die het water vernevelt. In ULO-koelcellen betekent dit dat er twee mogelijkheden van werkwijze zijn.

1. Werken met stikstof, afkomstig uit de stikstofgenerator. Dit kost echter zeer veel energie en is economisch niet haalbaar.
2. Werken met gecomprimeerde koelcellucht, waarbij de lucht van elke koelcel afzonderlijk naar een compressor (één per koelcel) gezogen wordt, gecomprimeerd en dan als ondersteuning wordt gebruikt voor de persluchtverneveling. De lucht uit de koelcel is echter zeer rijk aan vocht en wordt bovendien nog eens extra bevochtigd in de koelcel en dit geeft problemen voor de compressoren. Bij navraag blijkt er geen enkele compressorfabrikant bereid te zijn om garantie te geven op de werking van de compressor in dergelijke omstandigheden.

Concreet betekent dit dat er twee

bevochtigingssystemen zijn die kunnen ingezet worden bij peren: ultrasoonbevochtiging en hogedrukbevochtiging. Stoombevochtiging is erg onderhoudsgevoelig en gebruikt veel energie.

**Zin of onzin van bevochtiging**

Een bevochtigingssysteem plaatsen betekent een investering. Daarom moet duidelijk zijn wat de te verwachten winst is van een dergelijke investering. VCBT en MeBioS berekenden daarom de vochtverliezen bij twee relatieve vochtigheden.

Een numeriek model werd gebruikt om aan de hand van experimenteel bepaalde diffusie-eigenschappen het vochtverlies te voorspellen. Voor dit doel werd de eindige-elementenme-

thode toegepast. Op deze manier krijgen men een schatting van vochtverliezen bij verschillende luchtvochtigheden.

Een kist met 20 kg Conferenceperen werd 9 maanden bewaard bij optimale bewaarcondities (2.5% O<sub>2</sub>; 0.7% CO<sub>2</sub> bij -1 °C en 95 % R.V.). Twee peren met verschillend gewicht (startgewicht  $m_{p1}$  = 165 g en  $m_{p2}$  = 264 g) werden elke 2 maanden gewogen. De vorm van de peren werd opgemeten met een computervisiesysteem. Daarnaast werd vochtverlies berekend (simulatie).

De geometrische vormen van de 2 peren werden gebruikt in een eindige-elementenmodel dat het vochtverlies van individuele peren berekent. De volgende condities werden aangelegd:

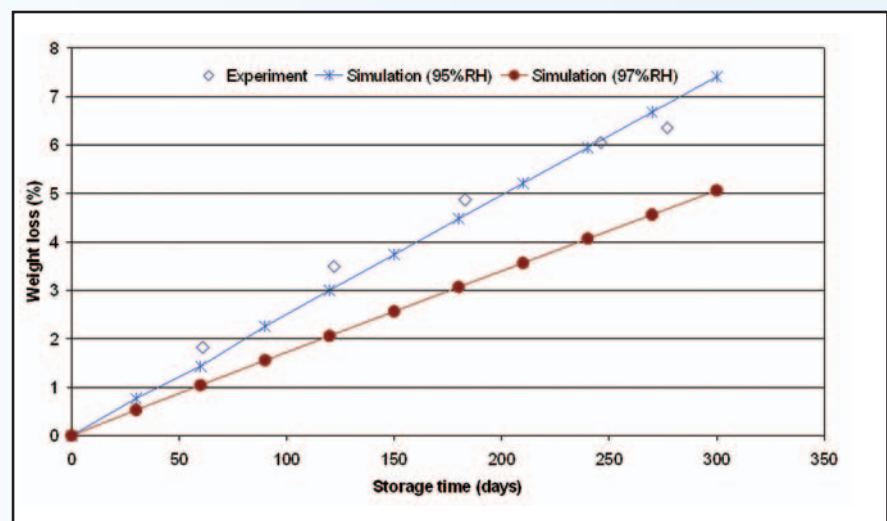
**Conditie I:**

R.V. = 95 %; T = -1 °C  
Luchtsnelheid = 1 · 10<sup>-4</sup> m/s

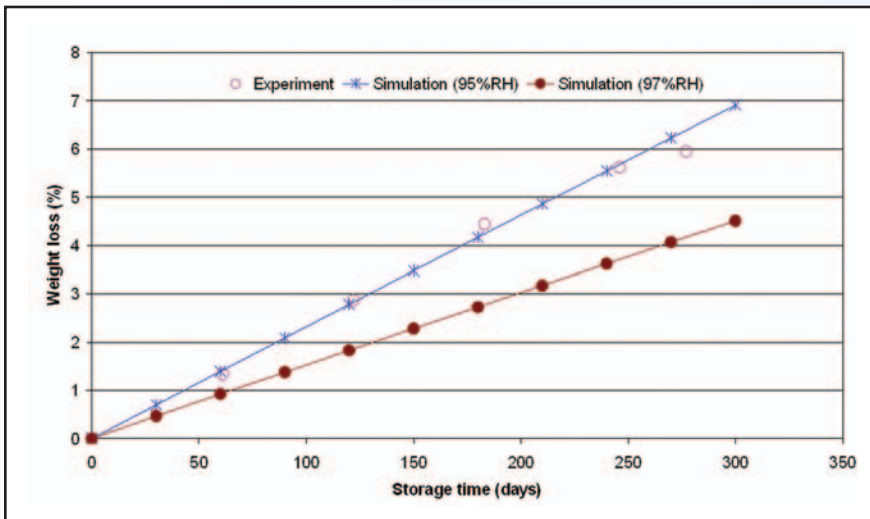
**Conditie II:**

R.V. = 97 %; T = -1 °C  
Luchtsnelheid = 1 · 10<sup>-4</sup> m/s

De gemeten en berekende vochtverliezen bij de verschillende R.V voor een kleine en een grote peer zijn weergegeven in respectievelijk figuur 2 en figuur 3. Op basis van de simulaties ontstaat een beeld van de reductie van het vochtverlies van Conference peren ten gevolge van een verhoging van de relatieve vochtigheid door middel van een bevochtigingssysteem in CA-koelcellen. Een verhoging van 95% R.V tot 97% R.V. kan het vochtverlies met 2.4% reduceren.



Figuur 2: Vochtverlies van peer p1 ( $m_{p1}$  = 165 g) bij lange CA bewaring en verschillende R.V. waarden.



Figuur 3: Vochtverlies van peer p2 ( $m_{p2} = 264$  g) bij lange CA bewaring en verschillende R.V. waarden.

**Luchtbevochtiging: R.V verhoogt maar wordt niet homogener**

MeBios simuleerde de vochtverdeling in de bevochtigde koelcellen. In eerste instantie werd een lege koelruimte beschouwd. De vochtverdeling in een koelruimte voor en na bevochtiging met hogedrukverneveling wordt weergegeven in figuur 4. Omwille van kleine temperatuursverschillen is er voor de bevochtiging een variabiliteit in RV van 93 % tot 95 % in de ruimte. Een hoge RV in de koelbatterij is het resultaat van de zeer lage temperatuur in deze zone. Als gevolg wordt een hoge vochtigheidsgraad vastgesteld in de belangrijkste luchtstroom in de cel, met lagere waarden in het centrum van de ruimte en aan

de wanden, waar de temperatuur hoger is. In alle zones van de cel stijgt de RV significant. Het patroon blijft echter vergelijkbaar met de basissituatie. De berekeningen worden momenteel uitgebreid naar gevulde cellen.

**Kanttekeningen**

- Indien bevochtigd wordt moeten de peren nog beter dan anders beschermd zijn tegen schimmelziekten: onder erg vochtige omstandigheden groeien schimmels immers gemakkelijk. Datzelfde geldt voor palloxen en koelcellen: we zien meer optreden van sneeuwschimmel in bevochtigde cellen met natte palloxen.
- Hou er rekening mee dat verdamping de lucht afkoelt: het kan zijn dat je

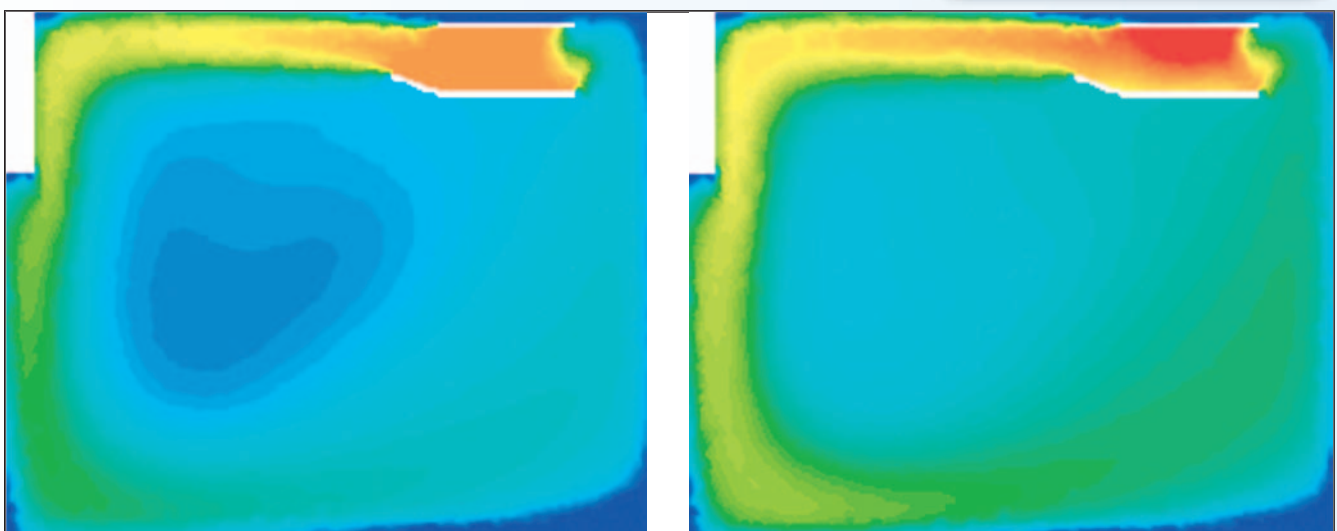
de instellingen van de koelinstallatie moet aanpassen om bevrozing van de peren te voorkomen.

- Uit ervaringen blijkt dat peren die te weinig vocht verliezen laat hol en bruin kunnen vertonen op het eind van de bewaring. Streef naar een vochtverlies van 0.1 à 0.2 % per maand.
- De berekende winsten in bovenstaande experimenten moeten genuanceerd worden: ze zijn berekend op basis van een kleinschalig experiment waarin de uitdroging groter is dan in een praktijkfrigo. De aangevoerde trends gelden echter wel: bij hogere R.V treedt duidelijk minder vochtverlies op.

□

**Dankwoord**

Dit onderzoek wordt gefinancierd door de Interfacultaire Raad voor Ontwikkelingssamenwerking (IRO) van de K.U.Leuven. Een gedeelte van de informatie is afkomstig van een studie gemaakt voor Jacobs-Vaes Koeling, die ons de toestemming gaf voor publicatie, waarvoor dank. Tenslotte leverde de firma Becrou uit Evere technische en materiële ondersteuning.



Figuur 4: Gesimuleerde verdeling van de luchtvochtigheid in een koelruimte op  $-1$  °C: (a) voor bevochtiging, (b) 8 minuten na bevochtiging (rood = 95% R.V., donkerblauw = 93% R.V.)