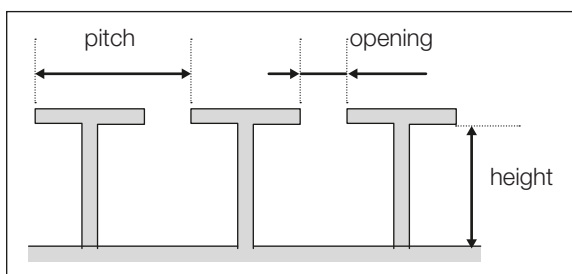


## STUDIE WAGENINGEN UR NAAR VERLAGING STEADY STATE-TEMPERATUURVERSCHIL

# Luchtverdeelmat vermindert temperatuurverschil in gekoelde zeecontainers

Bij een studie van Wageningen UR bleek dat een geoptimaliseerde luchtverdeelmat het steady state-temperatuurverschil tussen de warmste en koudste meetlocatie in een laadruimte met bijna 50 procent deed verminderen. Dat biedt perspectief voor het geconditioneerd transport van bijvoorbeeld druiven, kiwi's en rozen. Vervolproeven moeten uitwijzen of de goede resultaten ook in de praktijk kunnen worden behaald.

**S**teeds meer intercontinentaal fruitvervoer vindt plaats in koelcontainers. Wereldwijd zijn er ongeveer 1 miljoen 40ft HC (40 voets- High Cube) koelcontainers. Een koelcontainer wordt gemiddeld vijf keer per jaar gebruikt voor een transport. De reefermarkt groeit jaarlijks met ongeveer 5 procent (bijv. Fitzgerald et al., 2011). In minder dan 1 procent van de koelcontainervershippingen komt het tot een schadeclaim tegen de vervoerder. Een belangrijk deel van deze claims heeft betrekking op hoge temperaturen, in het bijzonder aan de deurzijde van de container. Het is gebruikelijk dat in koelcontainertransporten de temperaturen aan de deurzijde hoger zijn dan aan de koelunitzijde. Daarom is er behoefte aan meer homogene temperaturen tijdens 'steady state'.



**Figuur 1.** Schematische dwarsdoorsnede van een T-profielen-vloerdeel. Standaarddimensies in 40ft HC reefern: hoogte = 60 mm, afstand = 63,5 mm, opening = 35 mm.

Voor klimaatbeheersing in gesloten ruimten moet geconditioneerde lucht worden geleid naar de plaats waar het nodig is. Dit wordt meestal gedaan

door luchtkanalen. Koelcontainers hebben een vloer met T-profielen. Die T-profielen vormen de luchtkanalen van de containers. De T-vloer bestaat uit 35 longitudinale T-profielen over de volledige lengte van de container (zie figuur 1). De hoogte en de opening van de T-profielen zijn gelijk over de gehele lengte. Bovendien is de luchtweerstand van de opening aan de bovenkant van de T-profielen zeer laag. Vandaar dat de meeste lucht normaal gesproken uit de kanalen ontsnapt voordat hij de deurzijde bereikt. Dat is de reden waarom het gebruik van stuw materiaal wordt aanbevolen (zie bijvoorbeeld in de referentielijst onderaan dit artikel: Anoniem, geen jaar; de Haan, geen jaar; Montsma et al, 2011.). Ook het bedekken van delen van de vloer is beschreven (Defraeye et al, 2016; Elfsson et al, 2013.). Voor ladingen met trays, die met name de horizontale luchtstroom vergemakkelijken, zijn nog complexere luchtgeleidingssystemen voorgesteld (Dodd & Worthington-Smith, 2006). Ondanks alle inspanningen is er nog steeds geen algemeen gebruikte eenvoudige luchtverdeelmat om de temperatuurverdeling in koelcontainers, onafhankelijk van de belading, te verbeteren. Toch lijkt duidelijk dat één type luchtverdeelmat kan helpen om de temperatuurverschillen bij vrijwel elk transport te verminderen. Dit type luchtverdeelmat zou dichter moeten zijn aan de koelunitzijde en meer luchtdoorlatend aan de deurzijde. Idealiter is zo'n luchtverdeelmat voorafgaand aan het beladen gemakkelijk in de container te plaatsen. In een studie van Wageningen UR is experimenteel bepaald hoe een geoptimaliseerde

luchtverdeelmat de verdeling van de ladingtemperatuur beïnvloedt.

### Test in klimaatkamer

De tests zijn uitgevoerd in een zes maanden oude standaard 40 ft. HC koelcontainer (interne L x B x H: 1159 x 228 x 255 cm), geplaatst in een klimaatkamer. De container was tijdens de tests gevuld met 20 pallets (100 x 120 cm). De pallets waren in een blokpatroon geplaatst: vijf blokken van vier pallets met een schoorsteen van 20 x 20 cm in het centrum. Elk pallet was geladen met zeven lagen lege kartonnen dozen, resulterend in een ladinghoogte van 224 cm. De dozen hadden geen ventilatiegaten. De pallets zijn in de container geplaatst zonder afdekking van de openingen tussen de pallets en de zijwanden, en zonder afdekking van de twee buitenste openingen in de T-profielen. Er is zo veel mogelijk op gelet dat de lading de zijwanden niet raakt.

Tijdens de tests zijn de temperaturen gemeten met driedraads PT100-sensoren met een nauwkeurigheid van  $\pm 0,25$  °C en een loginterval van 1 minuut. In figuur 2 (op de volgende pagina) zijn de posities van de 20 sensoren in de container weergegeven. Acht sensoren, nummer 1 t/m 4 en 13 t/m 16, zijn helemaal beneden (D) of boven (U) in de acht hoeken van de lading geplaatst. Sensoren 6, 7 en 8 zijn gepositioneerd in de luchtinlaat van de T-vloer onder de koelunit; nummer 19 in het centrum van het retourluchtrooster, en nummer 17 in de T-vloer. De lading had vijf schoorstenen. In iedere schoorsteen is één sensor aan de zijkant van een karton geplakt (nummer 5, 9, 10 en 11), in de schoorsteen aan de deurzijde zijn twee sensoren geplaatst (nummer 12 en 20). De laatste sensor, nummer 18, is geplaatst in een doos in de zesde laag van pallet 17. Bekend is dat dit het gebied is waar temperaturen het traagst veranderen in reactie op setpointwijzigingen. Sensor 18 is vooral gebruikt om te controleren of alle temperaturen in steady state zijn. De sensoren zijn zodanig aan de zijkanten van de dozen getapet dat de sensortips ongeveer 1 centimeter verwijderd bleven van de dozen, en de containerwand niet raakten (zie figuur 3, volgende pagina).

### Optimale bedekking T-vloer

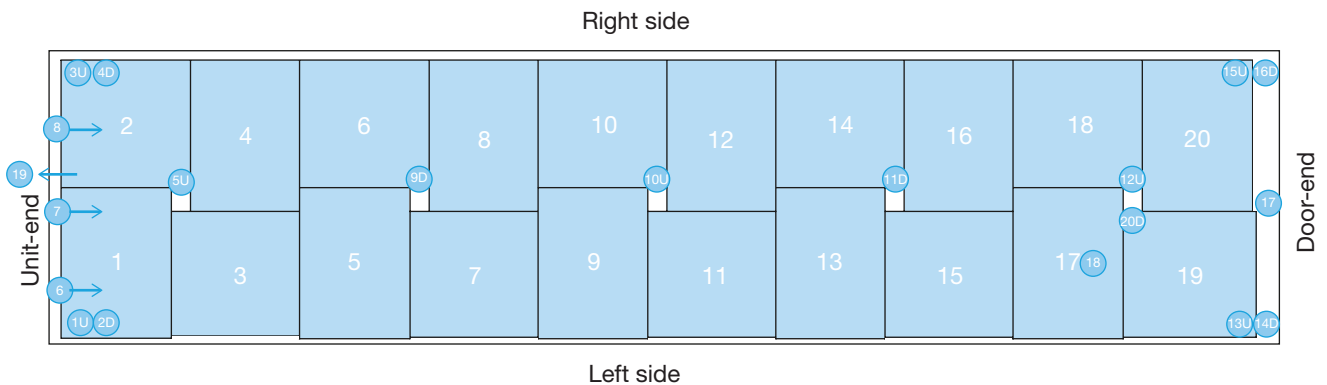
In een gecoördineerde actie tussen Maersk Line, Wageningen UR en IBP Fraunhofer voerde IBP Fraunhofer in 2015 een modelstudie uit om de optimale bedekking van de T-vloer te berekenen bij niet-ademende lading. De in deze studie gepresenteerde luchtverdeelmat is het resultaat van empirische doorontwikkeling op basis van die voorspelling.



Een geoptimaliseerde luchtverdeelmat oogt simpel, maar bleek in een studie goed te werken om de temperatuurverschillen in een laadruimte te verkleinen.

De luchtverdeelmat is niet geperforeerd en heeft een trapeziumvorm. De basis van het trapezium is aan de koelunitzijde geplaatst en bedekt daar de volledige vloerbreedte. De top van het trapezium beslaat 50 procent van de vloerbreedte en laat 5 procent van de vloerlengte aan de deurzijde volledig onbedekt. Aan de koelunitzijde bedekt het trapezium ongeveer 20 cm van de stootplaat die zich voor de T-profielen bevindt. Het voordeel daarvan is dat dit de luchtverdeling robuuster maakt voor slechte verbindingen tussen de stootplaat en de T-profielen.





**Fig. 2.** Bovenaanzicht van palletposities, palletnummering en nummering van sensoren. Definitie van de laadruimtesensoren: laadruimtesensoren zijn sensoren 1 ~ 5, 9 ~ 16, 18 en 20. Deze sensoren zijn direct in en rond de lading gepositioneerd, terwijl sensoren 6 ~ 8 en 17 tussen de T-profielen zitten, en sensor 19 in het retourluchtrooster is geplaatst.



**Fig. 3.** Close-up van een temperatuursensor.

### Steady state-temperaturen

In een klimaatkamer van Wageningen UR zijn de steady state-temperaturen gemeten met en zonder gebruik van de luchtverdeelmat. Een steady state is daarbij gedefinieerd als een periode van ten minste 12 uur, waarin voor iedere temperatuursensor het verschil tussen de eerste en de laatste meetwaarde kleiner is dan 0,2 °C. Beide tests zijn uitgevoerd bij een ingestelde temperatuur van 5 °C en een klimaatkamertemperatuur van 45 °C.

Om de temperatuurmetingen terug te brengen tot één informatief getal is de volgende key performance indicator gebruikt: 'warmste tijdgemiddelden laadruimtesensor' minus 'koudste tijdgemiddelden laadruimtesensor' in steady state.

Tabel 1 geeft de steady state-temperaturen weer, gemeten onder de verschillende testomstandigheden. Het meest interessant in deze tabel is de kolom 'warmste - koudste temperatuur'. Die bevat namelijk de hoogste minus de laagste waargenomen temperatuur in de laadruimte. Uiteraard is de temperatuurverdeling het beste als 'warmste - koudste' gelijk is aan nul.

### Betere uniformiteit

In de tests verbeterde de luchtverdeelmat duidelijk de uniformiteit van de steady state-temperaturen (vergelijk kolom 'warmste - koudste temp.' in tabel 1). Het gemeten steady state-temperatuurverschil tussen de warmste en koudste meetlocatie in de laadruimte verminderde met bijna 50 procent. De proeven werden uitgevoerd met een lading met nul autonome warmteproductie. Het is moeilijk te voorspellen wat deze resultaten betekenen voor ladingen met een aanzienlijke respiratoire warmteproductie. Bovendien is voorzichtigheid geboden bij het vertalen van deze resultaten naar het ge-

Test no.	luchtverdeelmat	koudste tijdgemiddelde temp. [°C]	koudste sensor	warmste tijdgemiddelde temp. [°C]	warmste sensor	warmste – koudste temp. [°C]
1	ja	5.1	2	6.6	3	1.5
2	nee	5.2	9	8.0	15	2.7

Tabel 1. Tijdgemiddelde steady state-temperaturen zoals waargenomen tijdens de test.

val van niet volledig voorgekoelde lading. Tijdens de test waren sensoren vooral rond - en nauwelijks in - de lading geplaatst. Met name de temperatuur-pulldown van dozen in de lagere niveaus van de pallets 1 en 2 is ongewis, omdat de luchtverdeelmat de luchtstroom in dit gebied juist flink reduceert. Producten die kunnen profiteren van de luchtverdeelmat zijn naar verwachting met name hoogwaardige temperatuurgevoelige producten met weinig of geen autonome warmteproductie, die goed zijn voorgekoeld. Producten die aan die beschrijving voldoen zijn bijvoorbeeld druiven, kiwi's, rozen, en sommige farmacieproducten.

### Gelijkwaardig temperatuureffect?

Zou een betere stuwage van goed ontworpen pallets en dozen een temperatuureffect kunnen sorteren dat gelijkwaardig is aan het effect van de luchtverdeelmat? Mogelijk wel, maar goed stuwen is geen sinecure. Integendeel, de juiste plaatsing van de luchtverdeelmat is veel minder gevoelig voor menselijke fouten. De luchtverdeelmat maakt de geleiding van lucht naar de deurzijde ongevoelig voor de manier waarop de pallets worden geplaatst. In veel containers is de verbinding tussen stootplaat en T-profielen imperfect. De luchtverdeelmat is niet bedoeld om dit probleem op te lossen, maar kan dat wel. Door de luchtverdeelmat gewoon te verlengen

tot op de stootplaat, wordt de luchtstroom ongevoelig voor onvolkomenheden in de verbinding tussen de T-profielen en de stootplaat.

Vanuit zuiver statistisch oogpunt is de basis voor conclusies te zwak: er is slechts één experiment uitgevoerd. Toch zijn er redenen om er vertrouwen in te hebben. De belangrijkste reden is dat de resultaten overeenkomen met theoretische inzichten: de bedekking van de T-profielen aan de koelunitzijde dwingt meer lucht naar de deurzijde. Dat kan derhalve de temperaturen aan de deurzijde alleen maar dichter bij de inblaasttemperatuur brengen, en dat is wat werd waargenomen. Toch zullen de experimenten worden herhaald, en wel op een wat grotere schaal - en in echte transporten. ■

#### Over de auteurs

L.J.S. Lukasse en M.G. Staal zijn onderzoekers bij Wageningen UR Food & Biobased Research, Wageningen.

#### Meer informatie

E: [leo.lukasse@wur.nl](mailto:leo.lukasse@wur.nl)

## REFERENTIES

- Anoniem (geen jaar). Hamburg Süd reefer guide. ISSN1670-7192.
- Defraeye T., Nicolai B., Kirkman W., Moore S., Niekirk S. Van, Verboven P., Cronje P. (2016). Integral performance evaluation of the fresh-produce cold chain: A case study for ambient loading of citrus in refrigerated containers. *Postharvest Biology and Technology*. 112, pp. 1-13. Doi 10.1016.
- Dodd M.C., Worthington-Smith P. (2006). Managing airflow in reefer containers benefits fruit quality. IIR-IRHACE, Auckland.
- Elíasson S., Margeirsson B., Arason S. (2013). Improved reefer container for fresh fish. Matis - Icelandic Food and Biotech R&D report no. 01-13.
- Fitzgerald W.B., Howitt O.J.A., Smith I.J., Hume A. 2011. Energy use of integral refrigerated containers in maritime transportation, *Energy Policy*, doi: 10.1016/j.enpol.2010.12.015.
- Haan H. De (geen jaar). De Beer's consolidated manual on the transportation of perishable cargo in reefer containers.
- Montsma M., Staal M., Lukasse L. (2011). Optimizing shipment of lily bulbs in 40ft reefer containers. Wageningen UR Food & Biobased Research report no. 1246.