



WAGENINGEN UR

For quality of life

Bewaren in een éénlaagssysteem

Analyse en verbetering van de luchtverdeling

A. Sapounas¹
J.B. Campen¹
G.P.A. Bot¹
J. Wildschut²

¹ Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen

² PPO Bloembollen & Bomen, Lisse

© 2008 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Meerjarenaafpraak energie Bloembollen (KAVB, PT, LNV, SenterNovem en telers).



Projectnummer: 32 360 452 07

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Wageningen UR Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Adres : Prof. Van Slogterenweg 2
Postbus 85, 2160 AB Lisse
Tel. : 0252 - 46 21 21
Fax : 0252 - 46 21 00
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

1. Introductie	4
2. Set Up van het CFD model	5
2.1 Ontwerp	5
2.1.1 Opslag ruimte	5
2.1.2 Kuubskisten en de geperforeerde bodem	6
2.2 CFD model	7
2.2.1 Set up van het CFD model	7
2.2.2 Randvoorwaarden	7
2.2.2.1 Parameters voor de geperforeerde vloer	7
2.2.2.2 Parameters van de bollen	8
3. Simulatie resultaten	10
3.1 Eenvoudige configuratie	10
3.1.1 CASE -1-A	10
3.1.2 CASE -1-B	12
3.1.2 CASE -1-B_a	13
3.1.3 CASE -1-C	14
3.1.4 CASE -1-D	16
3.2 Effect van verdubbeling van de ruimte onder de pallet	18
3.2.1. CASE -2-A	18
3.2.2. CASE -2-B	20
3.3 Droogwand met afgeronde uitblaasopeningen	22
3.3.1 CASE -3-A	22
CASE -3-B & CASE -3-Ba	24
3.3.3 CASE -3-C	28
3.4 Effect van druppelvormige spoilers	30
3.4.1 CASE – 4-A	30
3.4.2 CASE – 4-B	32
3.4.3 CASE – 4-C	34
3.4.4 CASE – 4-D	36
3.5 Effect van het verplaatsen van de huidige druppels	40
3.5.1 CASE – 5-A	40
3.5.2 CASE – 5-B	42
3.5.3 CASE – 5-C	44
3.5.3 CASE – 5-C	44
3.5.4 CASE – 5-D	46
3.5.5 CASE – 5-E	48
3.5.6 CASE – 5-F	50
3.6 Overzicht van de resultaten	51
3.7 Effect van de ontwerpparameters op de resultaten	53
3.7.1 Relatie tussen de geperforeerde plaat en de bollen	53
3.7.1 Vergelijking met het tweelaagssysteem	54
3.7.2 Overige resultaten	54
4. Conclusies	56
5. Aanbevelingen	57
Literatuur	58
Bijlage 1 Drukverdeling voor de verschillende situaties	59

1. Introductie

Dit project bestaat uit verschillende onderdelen:

1. Simuleren van de huidige situatie.
2. Onderzoek naar de invloed op de ventilatie door de volgende onderdelen:
 - a. De hoogte van het kanaal onder de pallets.
 - b. De openheid van de vloer.
 - c. De diameter van de bollen.
3. Simuleren van het functioneren van het systeem bij toepassing van afgeronde uitblaasopeningen.
4. Het bepalen van het effect van de druppelvormige spoilers in het systeem.
5. Het bepalen van mogelijke verbeteringen aan het systeem met het doel energie te besparen, waarbij de “druppels” ook kunnen worden ingezet.

Bovenstaande berekeningen worden gedaan middels computational fluid dynamics (CFD) berekeningen. Deze rekenmethode wordt voor verschillende doeleinden ingezet zoals de bepaling van de luchtstroming in en rond gebouwen, de stroming en temperatuurverdeling in elektronica, weersvoorspellingen etc. WUR Glastuinbouw heeft inmiddels 10 jaar ervaring met deze rekenmethode met de toepassing luchtstroming rond kassen, in koelcellen, stallen en droog- en bewaarsystemen. Het is een goede methode om verschillende systemen met elkaar te vergelijken op het gebied van luchtstroming en temperatuurverdeling. Hieronder een korte beschrijving van CFD.

Wat is het? Een rekenmethode om warmte en massa stromingen in of langs of door een geometrie te simuleren.

Hoe werkt het? De geometrie wordt opgedeeld in kleine stukjes waarover de continuïteitsvergelijkingen worden opgelost. Dit proces gebeurt iteratief tot convergentie wordt bereikt.

Wat zijn de voordelen? Verschillende ontwerpen van nieuwe gebouwen, auto's, computers etc. kunnen worden vergeleken zonder dure tijdsverslindende experimenten te doen met prototypes.

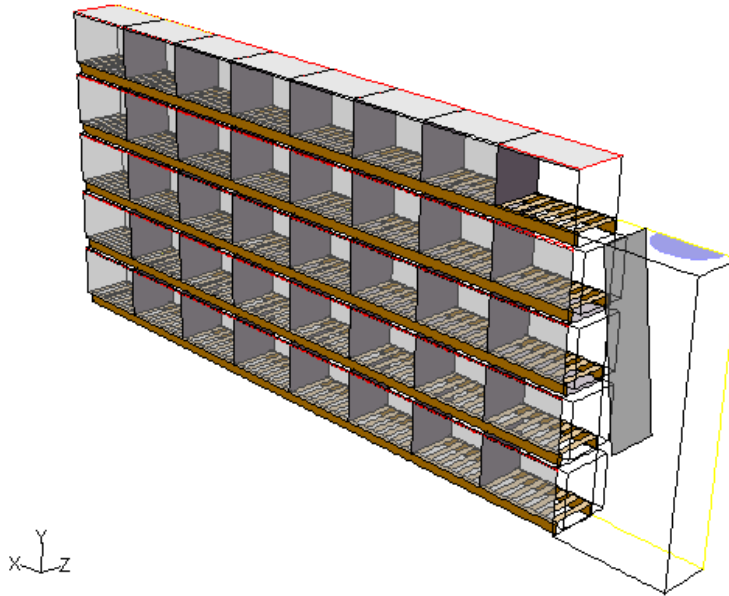
Wat is er nodig? Een commercieel CFD programma en een krachtige computer en iemand die goed met beide goed overweg kan. Van het probleem zelf zijn de dimensies van de geometrie de temperaturen, de windsnelheid etc. nodig.

2. Set Up van het CFD model

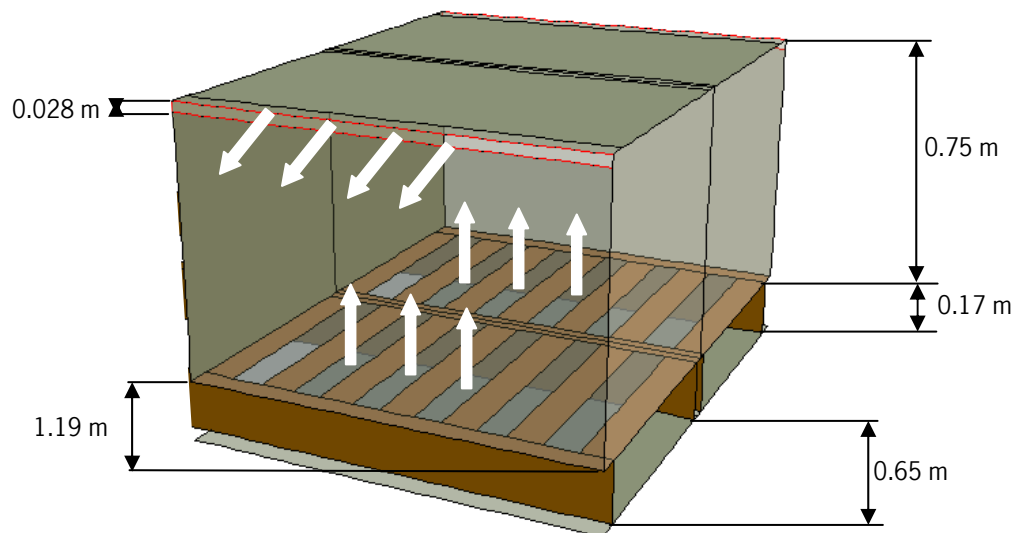
2.1 Ontwerp

2.1.1 Opslag ruimte

De opslagruimte bestaat uit 40 pallets gevuld met bollen. De pallets zijn vijf hoog gestapeld en acht achter elkaar (Figuur 1) Er is gekozen voor deze stapeling omdat die relatief vaak voorkomt in de praktijk.



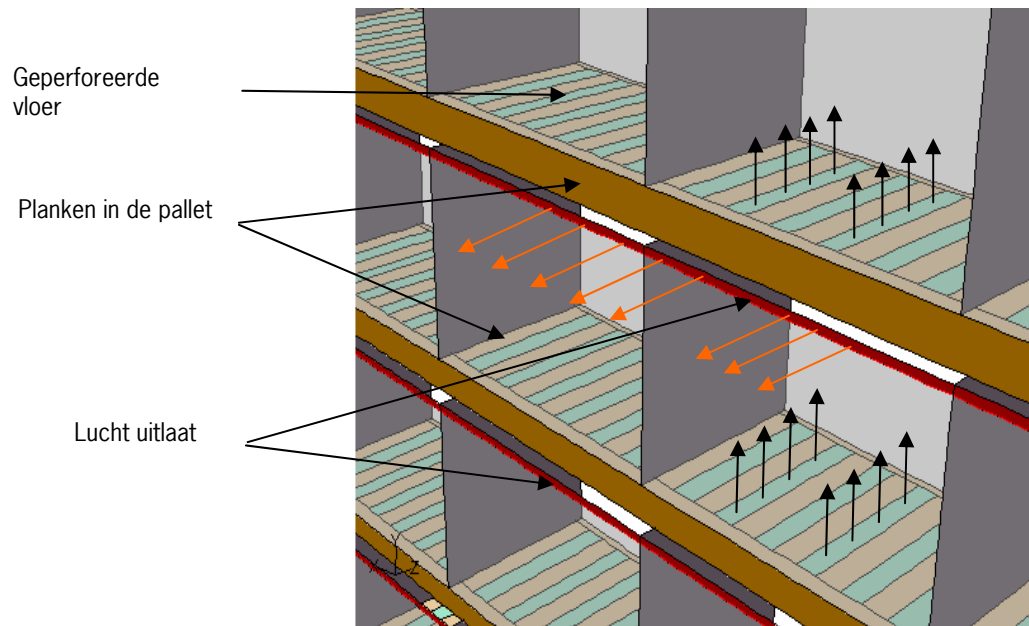
Figuur 1 *Ontwerp van de 3D simulatie model*



Figuur 2 *Ontwerp van de kuubkisten*

2.1.2 Kuubskisten en de geperforeerde bodem

Het gedetailleerde ontwerp van de kuubskisten is ook in het totale systeem gemodelleerd om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de huidige situatie en het effect van de aanpassingen aan het systeem.



Figuur 3 *Totaal ontwerp*

2.2 CFD model

2.2.1 Set up van het CFD model

Onderstaande tabel laat zien welke parameters zijn gebruikt voor de CFD modellering. Het betreft een drie dimensionale simulatie waarbij een k-ε model is gebruikt om de turbulentie te berekenen. Het energiemodel is niet meegenomen in de simulatie omdat de warmteproductie van de bollen niet wordt meegenomen. De warmteproductie is gering en heeft daardoor ten opzichte van de geforceerde luchtstroming een verwaarloosbare invloed op de luchtstroming door de kisten. Dit kwam naar voren uit het eerdere onderzoek.

Tabel 1 Voornaamste parameters van het CFD model

Model	Definitie
Dimensie	3D – symmetrisch
Turbulentie model	k-ε standaard model
Energie model	Niet mee genomen
Nauwkeurigheid	1x10 ⁻³

2.2.2 Randvoorwaarden

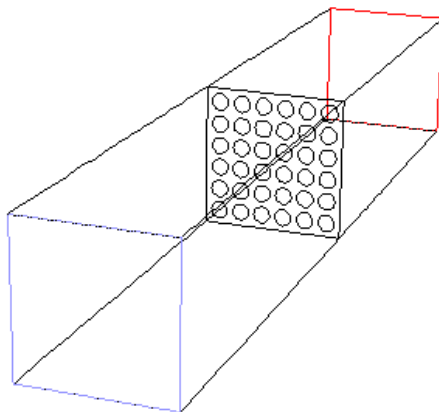
Randvoorwaarden zoals die in het model worden gebruikt. (Tabel 2). Dit zijn technische specificaties van het CFD model waaruit af te leiden is op welke wijze de verschillende onderdelen van het systeem zijn meegenomen in de simulatie. De vloer wordt geschouwd als een porous jump wat inhoudt dat de weerstand door de vloer als functie van de luchtsnelheid wordt berekend. Dit geldt ook voor de bollen. Hoe deze berekening wordt uitgevoerd wordt hieronder beschreven.

Tabel 2 Randvoorwaarden voor het CFD model

Randvoorwaarde	Definitie
Inlaat	Massa debiet
Geperforeerde vloer	poreuze overgang
Bollen	poreus medium
Uitstroom opening	Druk uitlaat

2.2.2.1 Parameters voor de geperforeerde vloer

De geperforeerde vloer is apart gemodelleerd om de relatie tussen druk en luchtstroom te bepalen. Er is een 3D model gemaakt van de plaat zoals in onderstaande figuur te zien is. Dit model wordt gebruikt om de relatie tussen druk en luchtsnelheid in een vergelijking te vatten.

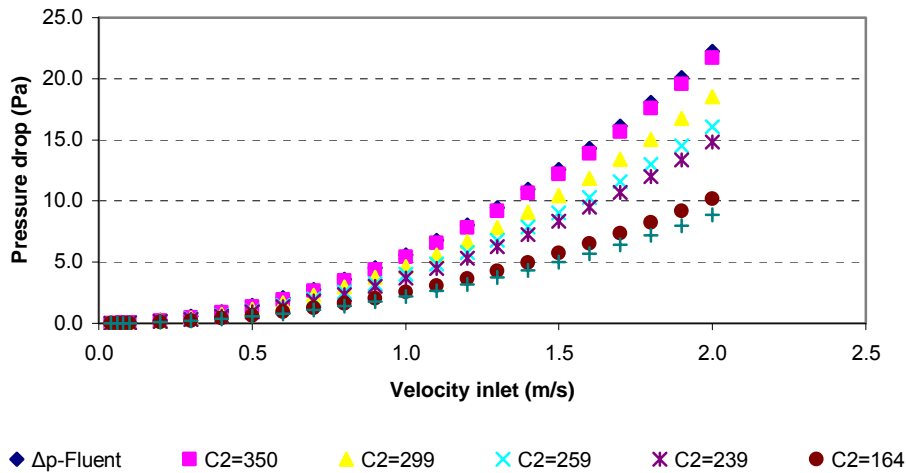


Figuur 4 Model van de geperforeerde vloer met cirkelvormige gaten met een diameter van 6 mm.

Het druk verschil wordt berekend in het CFD model op basis van onderstaande vergelijking (Fluent, 1999).

$$\Delta p = - \left(\frac{\mu}{\alpha} + C_2 \frac{1}{2} \rho u^2 \right) \Delta m \quad (1)$$

Met μ is de laminaire viscositeit, α is de permeabiliteit van het medium, C_2 is de pressure-jump coëfficiënt, u is de snelheid loodrecht op de plaat, and Δm is de dikte van het medium. Door middel van de simulatie met bovenstaand model werden de parameters voor de vergelijking bepaald. Het is niet mogelijk de dimensies van de geperforeerde plaat ook op te nemen in het totale model aangezien de rekentijd dan te hoog wordt.



Figuur 5 Drukverschil voor verschillende waarden van de pressure-jump coëfficiënt C_2

Bovenstaande figuur laat de berekende relatie tussen de snelheid en de druk zien. Bij een pressure jump coëfficiënt van 350 komt de berekende relatie goed overeen met de gesimuleerde situatie. De waarde is daarom representatief voor de druk-snelheid over de plaat.

2.2.2.2 Parameters van de bollen

De druk-snelheid relatie is bepaald in het verleden en wordt gegeven door de volgende vergelijking. (Bruggen, 2002). Deze relatie wordt gebruikt om de weerstand van de bollen in de kist te simuleren. Het is niet mogelijk de bollen apart in het model op te nemen aangezien de rekentijd dan oneindig lang wordt.

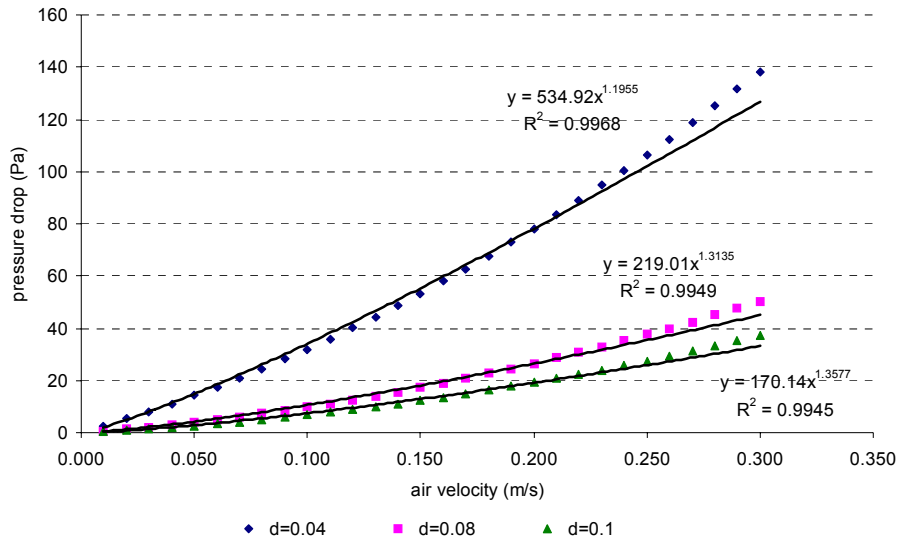
$$\frac{dp}{dx} = C_1 \frac{V_x}{d^2} + C_2 \frac{V_x^2}{d} \quad (2)$$

$C_1 = 0.4$ en $C_2 = 28.1$ zijn de constanten die experimenteel bepaald zijn, d is de diameter van een enkele bol (m) en V de luchtsnelheid.

Het drukverschil over een poreus medium wordt in Fluent met een power law model ingebracht:

$$\frac{dp}{dx} = C_0 V^{C_1} \quad (3)$$

Met C_0 en C_1 als constanten. Onderstaande figuur laat de relatie zien tussen formule 2 en 3. Formule 2 en 3 moeten worden gecombineerd om de experimenteel gevonden waarden te gebruiken in het CFD model.



Figuur 6 *Drukverschil bij verschillende boldiameters als functie van de luchtsnelheid*

For $d = 4 \text{ cm}$, $C_0 = 535$ and $C_1 = 1.2$

For $d = 8 \text{ cm}$, $C_0 = 219$ and $C_1 = 1.31$

For $d = 10 \text{ cm}$, $C_0 = 170$ and $C_1 = 1.36$

Voor de huidige studie is een boldiameter van 4 cm (bolmaat 12,5) aangenomen. Er zijn ook een aantal berekeningen met de andere diameters gedaan.

3. Simulatie resultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de verschillende situaties ten opzichte van de huidige situatie weergegeven.

Case 1: Huidige situatie.

Case 2: Situatie met meer ruimte onder de pallets.

Case 3: Situatie waarbij de instroomopeningen in de droogwand rond gemaakt zijn.

Case 4: Situatie waarbij er met druppels wordt gewerkt in de droogwand.

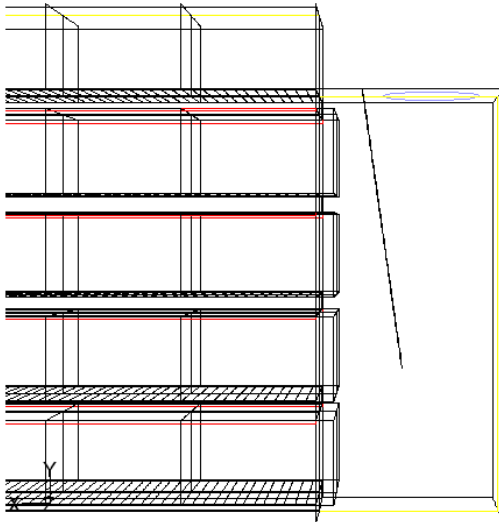
Case 5: Situatie waarbij de positie van de druppels in de droogwand wordt aangepast om de verdeling te verbeteren.

3.1 Eenvoudige configuratie

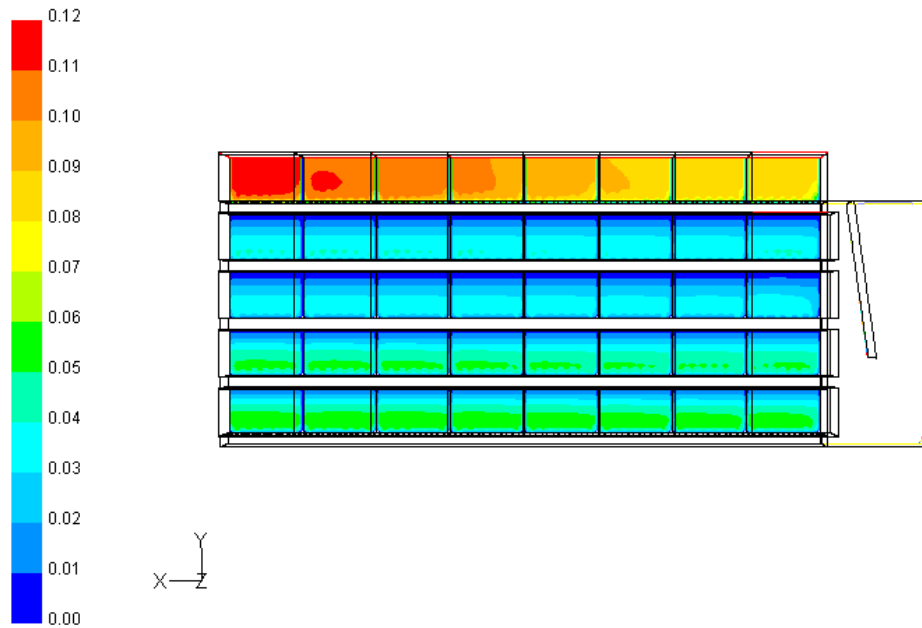
3.1.1 CASE -1-A

Beschrijving:

1. Huidige situatie.
2. Normale geperforeerde vloer.
3. Diameter van de bollen (4 cm.)



Figuur 7 *Configuratie of Case 1-A*



Figuur 8 *Contouren van het snelheidsveld (m/s), Case 1-A*

Onderstaande tabel laat het percentage van de lucht door elke pallet zien ten opzichte van het gemiddelde (100%). Ook de verdeling over de verschillende rijen weergegeven.

b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
180.2%	174.0%	168.2%	159.3%	149.8%	141.5%	136.2%	134.3%	31%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
75.5%	75.3%	75.1%	74.6%	74.1%	73.6%	73.4%	73.4%	15%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
68.8%	68.6%	68.4%	68.0%	67.6%	67.2%	67.1%	66.6%	14%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
97.8%	97.5%	97.0%	96.2%	95.3%	94.5%	93.9%	94.1%	19%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
109.1%	108.5%	108.2%	107.3%	106.3%	105.2%	104.3%	103.6%	21%

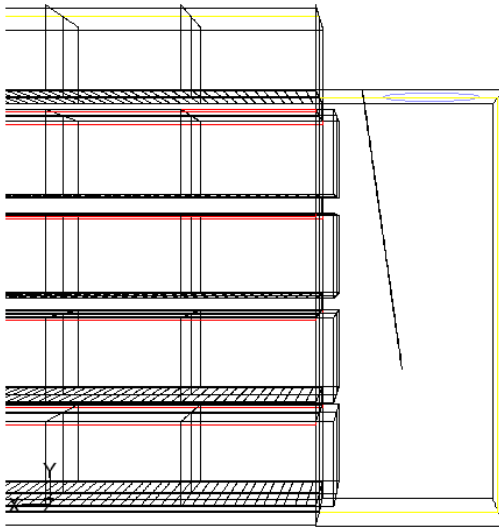
Figuur 9 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen, Case 1-A*

De bovenste rij krijgt duidelijk meer lucht dan de overige pallets. Dit komt omdat de bovenste rij vrij kan uitstromen waar de overige rijen de lucht door een kier kwijt moeten raken. Ook de onderste rij krijgt relatief veel lucht. Dit door de aanstroming vanuit de droogwand. In de bovenste rij krijgt de pallet die het verste van de droogwand afstaat de meeste lucht.

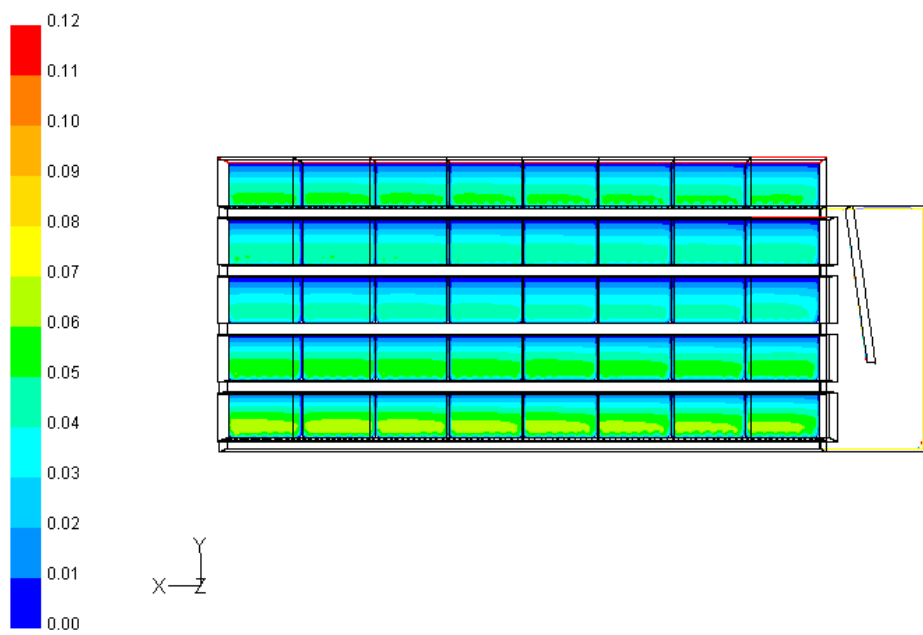
3.1.2 CASE -1-B

Beschrijving:

Situatie zoals bij case 1 A maar dan met een plaat op de bovenste pallet zodat ook hier de lucht uit een spleet moet uitstromen.



Figuur 10 Configuratie van Case 1-B



Figuur 11 Snelheidsveld (m/s), Case 1-B

b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
99.7%	99.1%	98.7%	98.0%	97.1%	96.4%	95.8%	95.6%	20%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
92.7%	92.5%	92.1%	91.4%	90.5%	89.7%	89.2%	89.1%	18%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
85.5%	85.2%	84.7%	84.1%	83.4%	82.8%	82.4%	81.7%	17%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
110.5%	110.2%	109.5%	108.5%	107.4%	106.2%	105.4%	105.5%	22%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
122.9%	122.7%	122.2%	121.0%	119.6%	118.1%	116.8%	115.6%	24%

Figuur 12 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen , Case 1-B*

Het afsluiten van de bovenste pallets geeft een uitstekende verdeling van de lucht. Alleen de onderste rij krijgt relatief nog veel lucht.

3.1.2 CASE -1-B_a

Zelfde als case 1 B maar dan met een verlaging van het totale debiet zo dat door de pallet waar de minste lucht doorheen gaat weer even veel lucht gaat als bij de minste pallet in de huidige situatie (CASE 1-A).

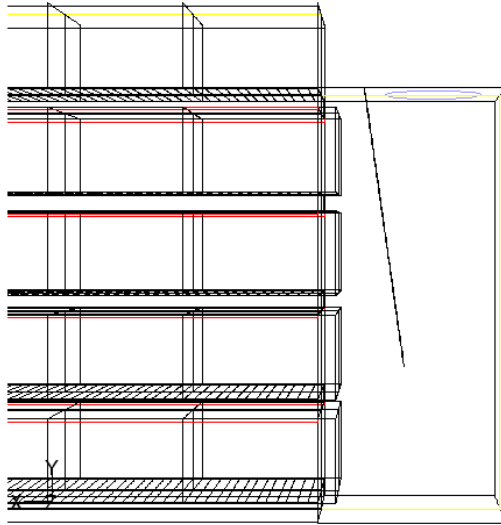
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	78%
78.2%	77.9%	77.7%	77.2%	76.6%	76.0%	75.6%	75.4%	15%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
73.3%	73.0%	72.8%	72.4%	71.8%	71.3%	70.9%	70.9%	14%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
68.8%	68.7%	68.4%	68.0%	67.6%	67.1%	66.8%	66.5%	14%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
84.3%	84.0%	83.7%	83.1%	82.4%	81.7%	81.2%	81.3%	17%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
93.8%	93.4%	93.3%	92.6%	91.7%	90.8%	90.0%	89.2%	18%

Figuur 13 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen , Case 1-B_a*

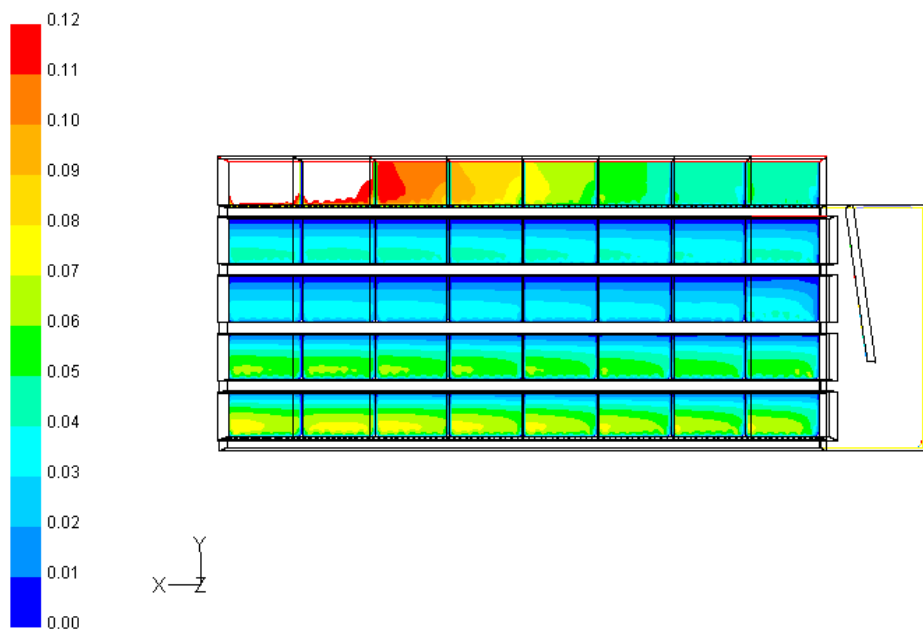
Ook in dit geval gaat er weer 67.1% van 300 m³/h door de minste aangestroomde pallet maar de totale luchthoeveelheid is maar 78% van de hoeveelheid lucht die er in de oorspronkelijke situatie door de pallets stroomde. De onderste rijen pallets krijgen in dit geval een overdaad aan lucht ten opzichte van de overige pallets.

3.1.3 CASE -1-C

Situatie zoals bij CASE 1A maar dan met bollen met een diameter van 0.08 m.



Figuur 14 Configuratie of Case 1-C



Figuur 15 Snelheidsvectoren (m/s), Case 1-C

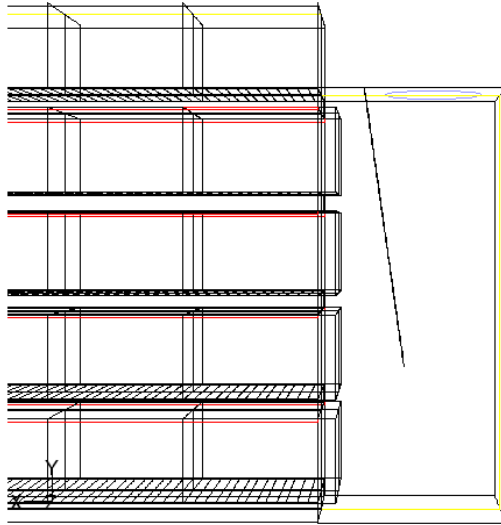
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
214.8%	198.1%	170.7%	136.8%	105.7%	82.4%	71.3%	74.0%	26%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
78.6%	78.2%	77.5%	76.2%	74.7%	73.1%	72.0%	71.7%	15%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
64.7%	64.3%	63.7%	63.0%	62.2%	61.6%	61.6%	60.8%	13%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
112.0%	111.3%	109.6%	107.2%	104.4%	101.6%	99.7%	99.8%	21%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
132.3%	131.6%	130.0%	127.0%	123.4%	119.6%	116.3%	113.2%	25%

Figuur 16 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen, Case I-C*

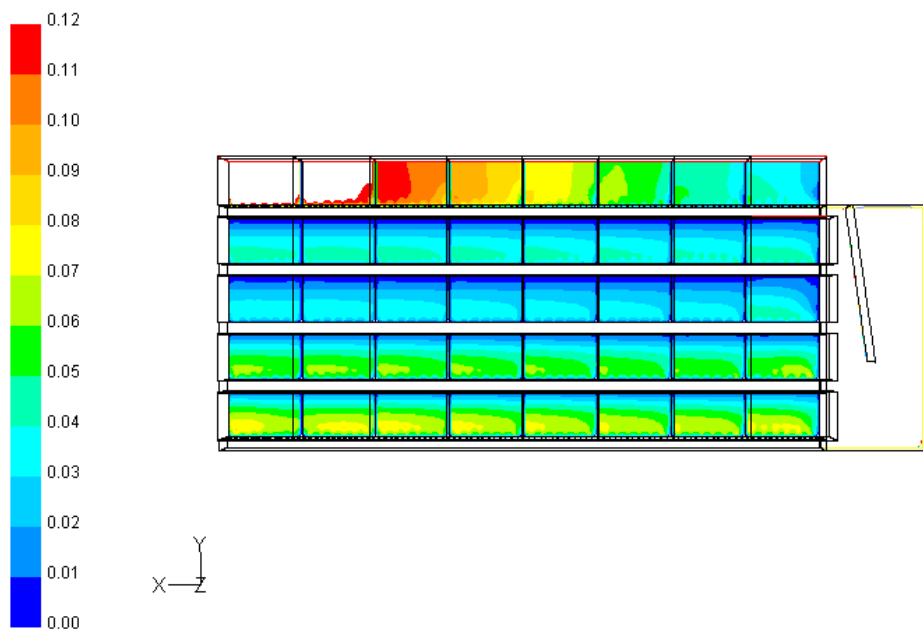
Grotere bollen zorgen ervoor dat de verdeling nog minder goed wordt.

3.1.4 CASE -1-D

Situatie gelijk aan CASE 1A maar dan met bollen met een diameter van 0.1 m.



Figuur 17 Configuratie van Case 1-D



Figuur 18 Snelheidsveld (m/s)

b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
222.5%	200.8%	173.0%	140.5%	111.5%	86.7%	67.9%	54.5%	26%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
79.5%	79.1%	78.2%	76.6%	74.9%	73.3%	72.2%	71.7%	15%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
64.9%	64.5%	63.7%	62.7%	61.6%	60.5%	60.0%	57.8%	12%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
112.0%	110.9%	108.9%	106.5%	103.8%	101.7%	101.0%	102.7%	21%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
130.9%	130.0%	128.2%	125.1%	122.1%	119.8%	118.6%	117.6%	25%

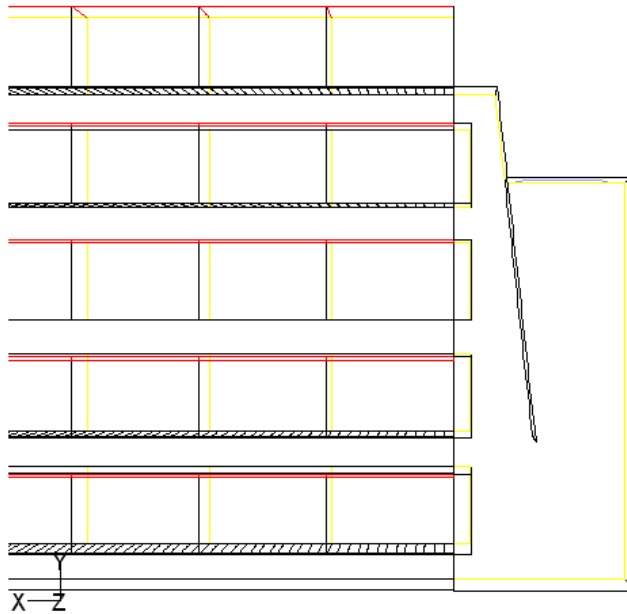
Figuur 19 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

Nog grotere bollen zorgen voor een nog slechtere verdeling.

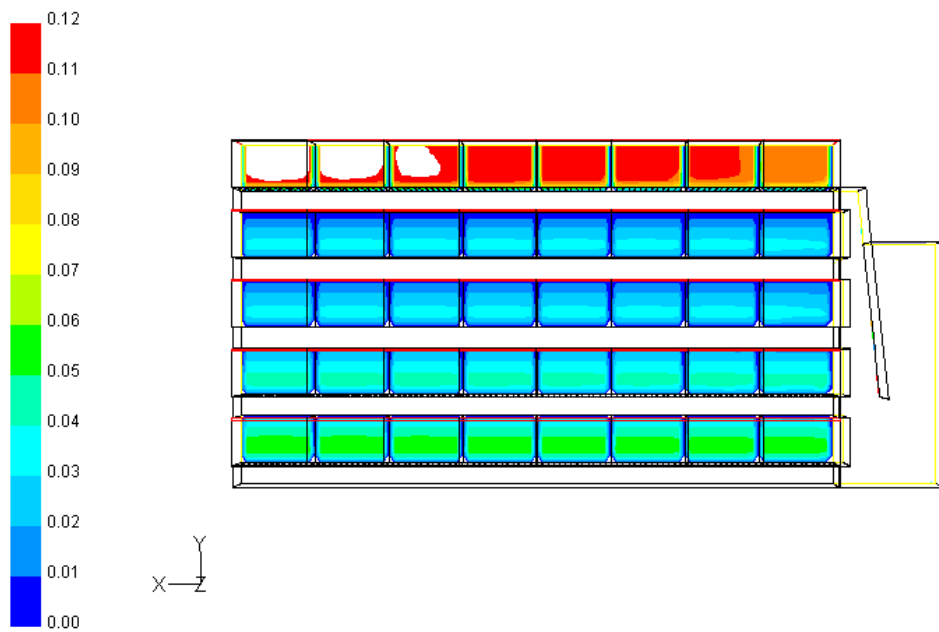
3.2 Effect van verdubbeling van de ruimte onder de pallet

3.2.1. CASE -2-A

Zelfde situatie als CASE 1A maar dan met een verdubbeling van de ruimte onder de pallets.



Figuur 20 Configuratie van Case 2-A



Figuur 21 Snelheidsveld (m/s)

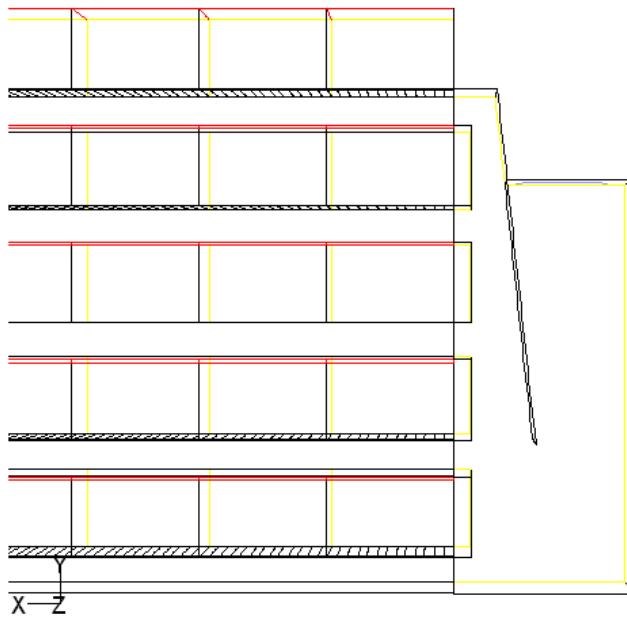
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
194.5%	193.0%	190.7%	187.6%	183.9%	180.2%	176.4%	171.9%	37%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
64.5%	64.5%	64.4%	64.3%	64.2%	64.0%	63.9%	63.3%	13%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
63.7%	63.6%	63.5%	63.4%	63.3%	63.2%	63.1%	62.3%	13%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
83.1%	83.0%	82.9%	82.7%	82.5%	82.3%	82.2%	81.9%	17%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
106.1%	106.0%	105.8%	105.6%	105.2%	104.9%	104.5%	104.1%	21%

Figuur 22 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

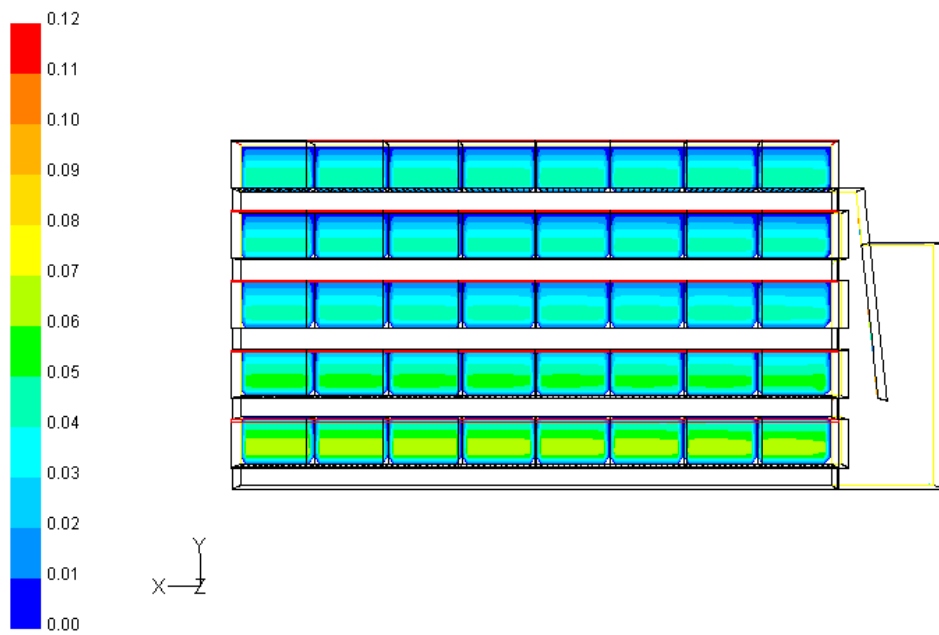
Bij en verdubbeling van de palletruimte onder de kist wordt de verdeling van de luchtstroom iets ongunstiger.

3.2.2. CASE -2-B

Zelfde als CASE 2A maar dan met een plaat op de bovenste palletrij.



Figuur 23 Configuratie of Case 2-B



Figuur 24 Snelheidsveld (m/s)

b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
95.2%	95.1%	94.9%	94.7%	94.5%	94.2%	94.0%	93.7%	19%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
90.9%	90.8%	90.6%	90.4%	90.2%	90.0%	89.8%	89.4%	18%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
87.7%	87.6%	87.5%	87.3%	87.1%	86.9%	86.7%	85.9%	17%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
103.5%	103.4%	103.3%	103.0%	102.8%	102.5%	102.3%	102.1%	21%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
126.4%	126.3%	126.0%	125.7%	125.2%	124.7%	124.2%	123.6%	25%

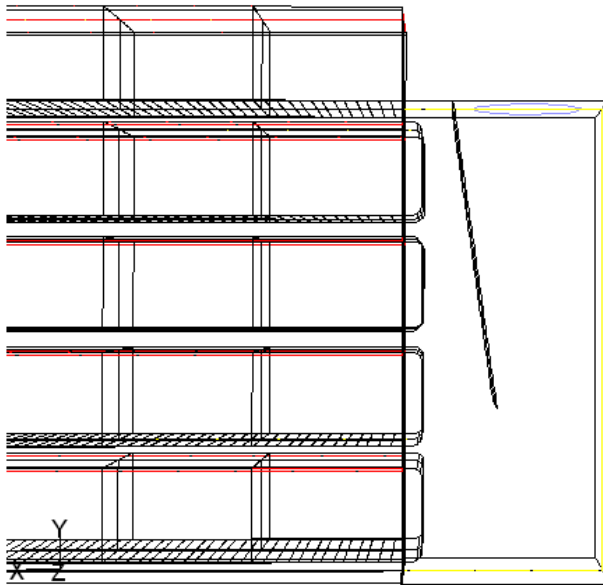
Figuur 25 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

Het plaatsen van een plaat op de bovenste rij is ook bij een verdubbeling van de kanaalgrootte een goede oplossing.

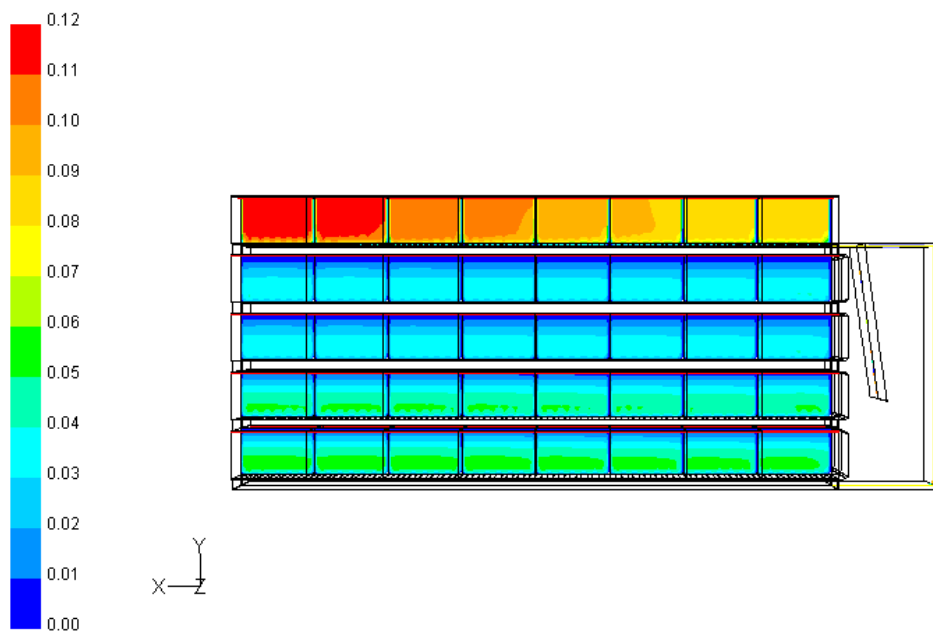
3.3 Droogwand met afgeronde uitblaasopeningen

3.3.1 CASE -3-A

Zelfde als CASE 1A maar dan met afgeronde uitblaasopeningen.



Figuur 26 Configuratie of Case 3-A



Figuur 27 Snelheidsveld (m/s)

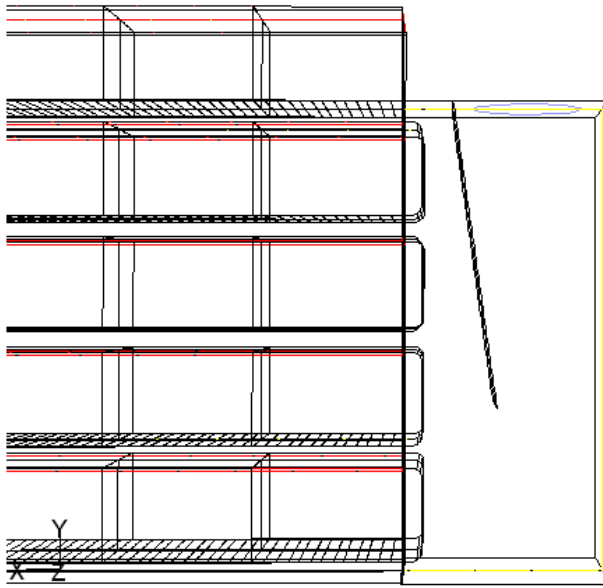
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
183.9%	179.1%	171.9%	162.4%	152.3%	143.3%	137.1%	136.5%	32%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
74.1%	74.0%	73.7%	73.3%	72.8%	72.4%	72.1%	72.3%	15%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
73.2%	73.1%	72.8%	72.3%	71.9%	71.5%	71.3%	71.3%	14%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
96.0%	95.9%	95.4%	94.7%	93.9%	93.0%	92.5%	92.9%	19%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
104.4%	103.9%	103.6%	102.8%	101.8%	100.8%	100.0%	99.4%	20%

Figuur 28 *Air flow distribution represented as percentage of the average value (%), Case 3-A*

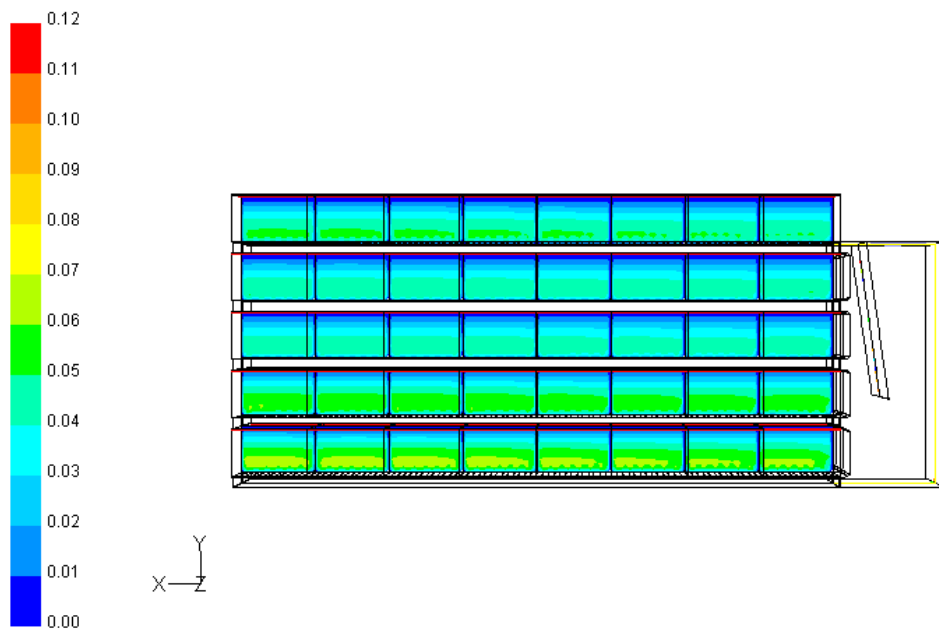
Het afronden van de uitblaasopeningen leidt niet tot verbetering in de verdeling (wel tot meer luchttopbrengst, zie § 3.6).

CASE -3-B & CASE -3-Ba

Zelfde als CASE 3A maar met plaat op bovenste rij



Figuur 29 Configuratie van Case 3-B (outflow from the sides)



Figuur 30 Snelheidsveld (m/s)

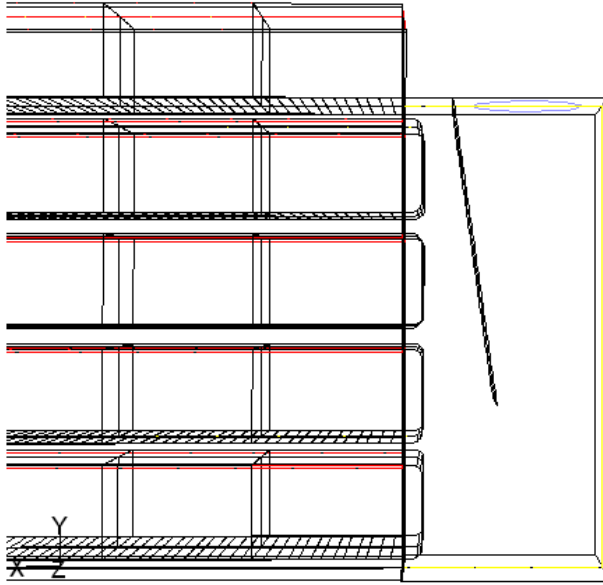
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
97.9%	97.6%	97.0%	96.3%	95.4%	94.5%	93.9%	93.8%	19%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
92.4%	92.1%	91.7%	91.1%	90.3%	89.6%	89.1%	89.2%	18%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
89.9%	89.8%	89.4%	88.7%	88.0%	87.3%	87.0%	87.0%	18%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
111.1%	110.9%	110.3%	109.3%	108.2%	107.1%	106.3%	106.6%	22%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
119.4%	118.7%	118.3%	117.2%	116.0%	114.7%	113.6%	112.8%	23%

Figuur 31 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

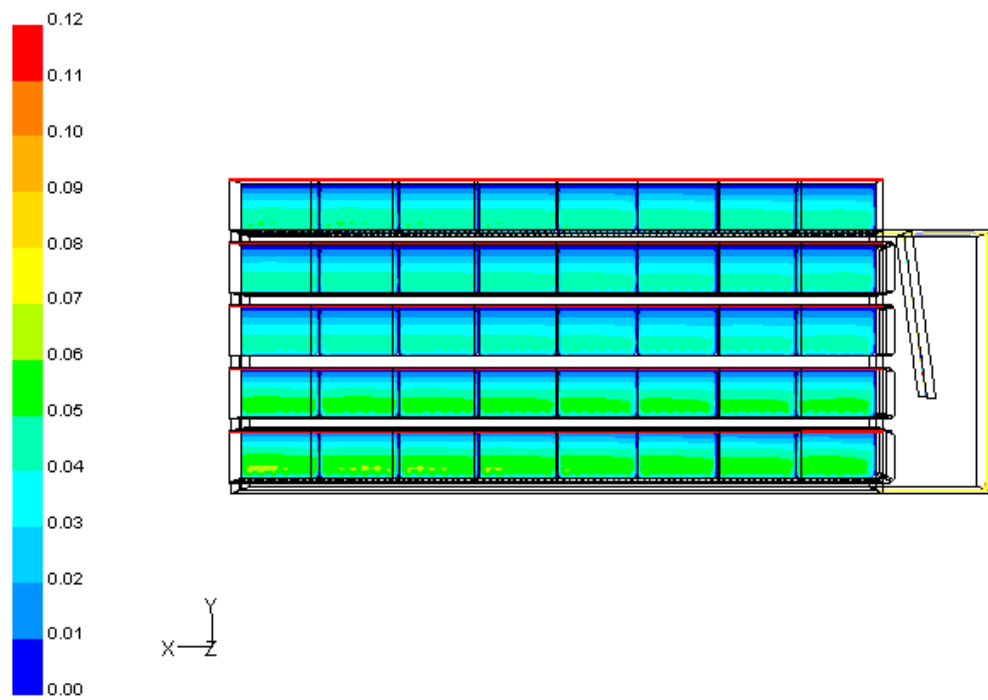
Ook in deze situatie werkt het goed als de bovenste rij wordt afgesloten middels een plaat.

CASE -3-Ba

Zelfde als voorgaande case maar met 78% van de hoeveelheid lucht



Figuur 32 Configuratie van Case 3-Ba



Figuur 33 Snelheidsveld (m/s)

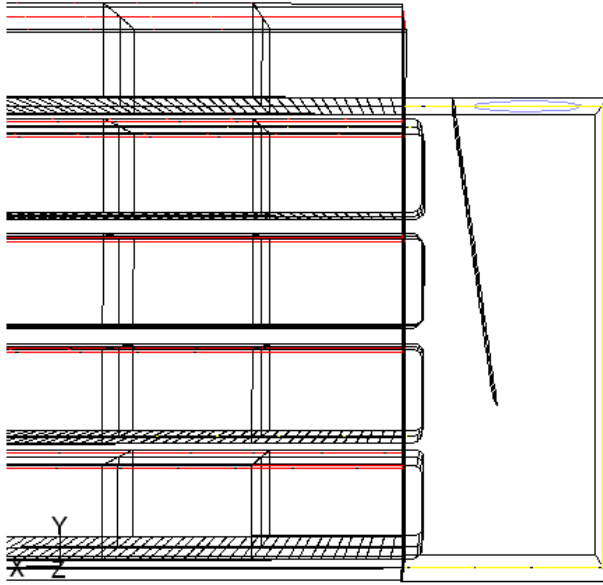
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	78%
77.0%	76.8%	76.5%	76.0%	75.4%	74.8%	74.3%	74.2%	15%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
73.1%	72.9%	72.8%	72.3%	71.8%	71.3%	70.9%	70.9%	14%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
71.7%	71.5%	71.3%	70.8%	70.3%	69.8%	69.5%	69.6%	14%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
84.7%	84.4%	84.2%	83.6%	82.9%	82.2%	81.7%	81.9%	17%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
91.6%	91.2%	91.1%	90.5%	89.6%	88.8%	88.0%	87.5%	18%

Figuur 34 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

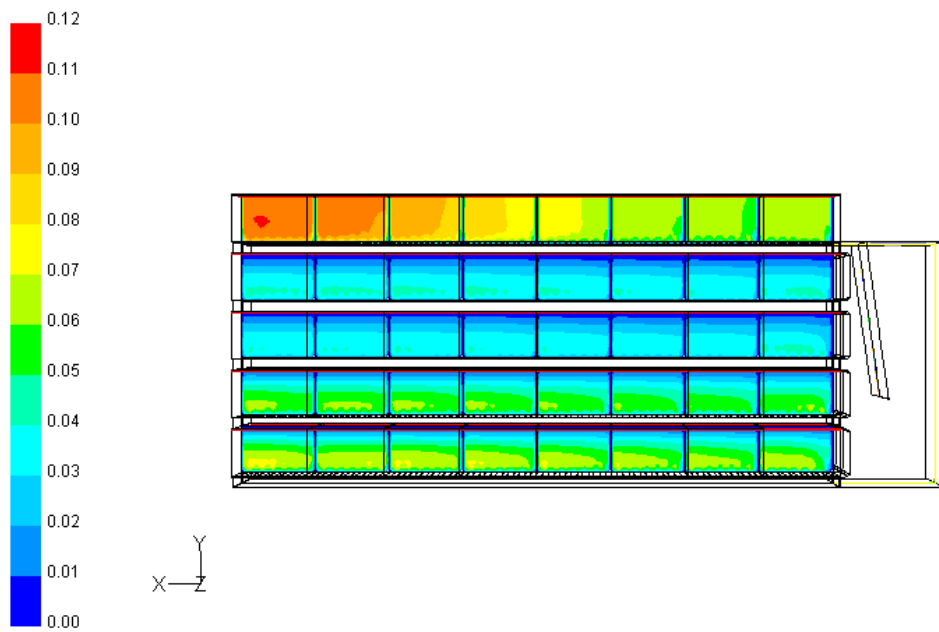
Door het totale debiet terug te brengen tot 78% van het debiet in Case 3-A komt voor geen enkele kist de luchthoeveelheid onder die van de minst beluchte kist in Case 3-A.

3.3.3 CASE -3-C

Zelfde als CASE 3A maar de bollen met een diameter van 0.08 cm ($c_0=219$, $c_1=1.31$)



Figuur 35 Configuratie van Case 3-C (outflow from the top)



Figuur 36 Snelheidsveld (m/s)

b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
174.2%	163.6%	146.8%	128.4%	112.6%	102.0%	98.3%	104.5%	26%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
76.2%	75.9%	75.1%	74.1%	72.9%	71.8%	71.2%	71.5%	15%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
73.7%	73.4%	72.6%	71.6%	70.4%	69.5%	69.1%	69.0%	14%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
112.3%	111.7%	110.3%	108.0%	105.4%	103.0%	101.2%	101.7%	21%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
127.6%	125.7%	124.7%	122.1%	118.9%	115.8%	113.2%	111.1%	24%

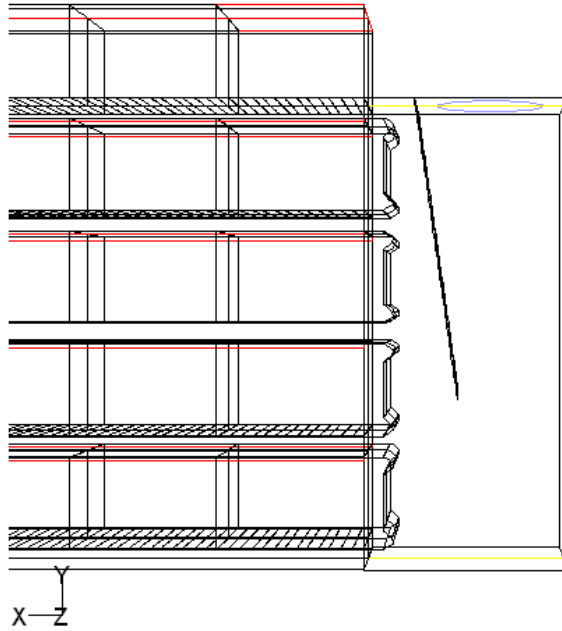
Figuur 37 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

Bij grotere bollen wordt de in Case 3-A minst beluchte kist relatief nog iets minder belucht.

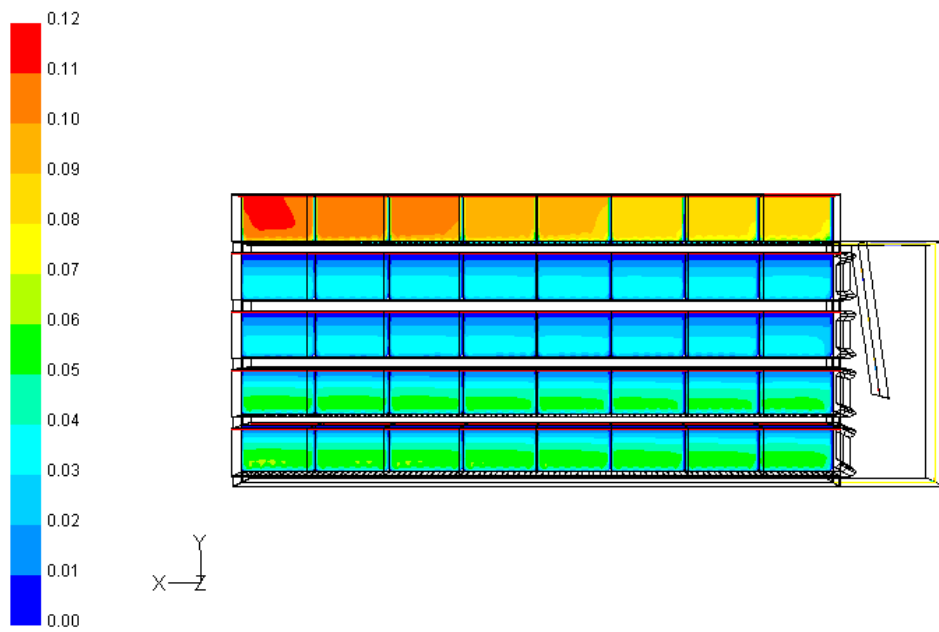
3.4 Effect van druppelvormige spoilers

3.4.1 CASE – 4-A

Zelfde als case 1 A met druppels.



Figuur 38 Configuratie van Case 4-A



Figuur 39 Snelheidsveld (m/s)

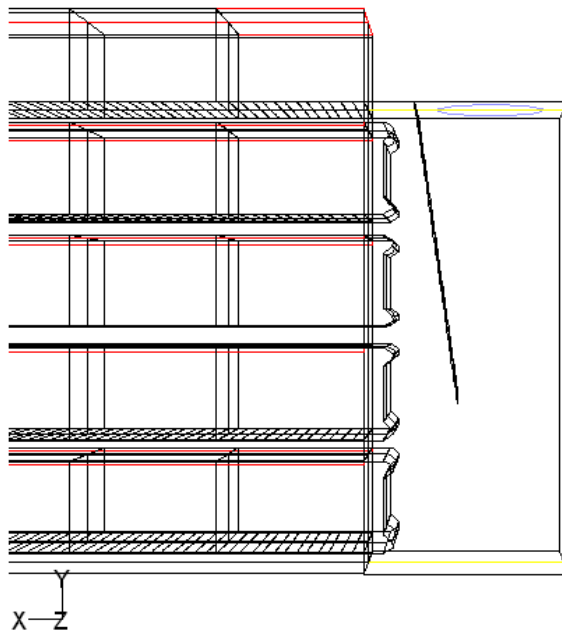
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
175.2%	171.2%	164.3%	155.5%	146.3%	138.2%	133.0%	131.4%	30%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
72.4%	72.2%	71.9%	71.5%	71.1%	70.6%	70.4%	70.4%	14%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
66.8%	66.7%	66.4%	66.1%	65.7%	65.4%	65.2%	65.1%	13%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
103.6%	103.4%	102.8%	101.9%	100.9%	99.9%	99.3%	99.3%	20%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
112.2%	111.6%	111.2%	110.2%	109.1%	108.0%	107.0%	106.3%	22%

Figuur 40 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

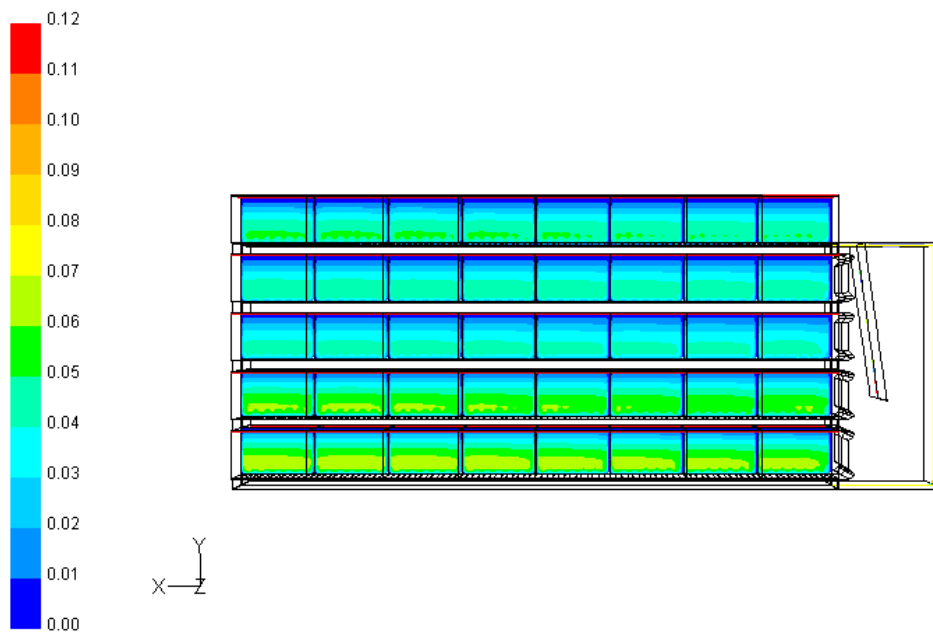
Door het plaatsen van druppels wordt de luchtverdeling niet verbeterd.

3.4.2 CASE – 4-B

Zelfde als CASE 4A maar met plaat op bovenste rij



Figuur 41 Configuratie van Case 4-B (outflow from the sides)



Figuur 42 Snelheidsveld (m/s)

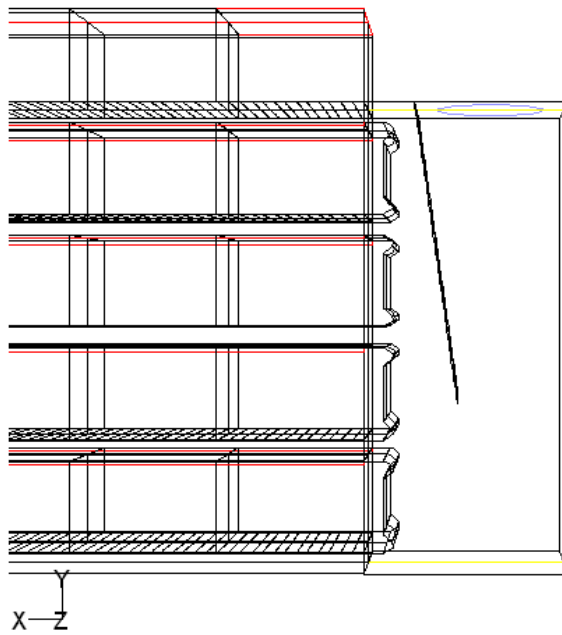
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
96.7%	96.3%	95.9%	95.2%	94.4%	93.7%	93.1%	93.0%	19%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
91.2%	91.0%	90.5%	89.8%	89.0%	88.2%	87.6%	87.5%	18%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
83.7%	83.5%	83.1%	82.5%	81.8%	81.2%	80.8%	80.6%	16%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
115.0%	114.6%	113.9%	112.8%	111.6%	110.4%	109.5%	109.4%	22%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
124.7%	124.4%	123.8%	122.6%	121.2%	119.7%	118.4%	117.3%	24%

Figuur 43 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

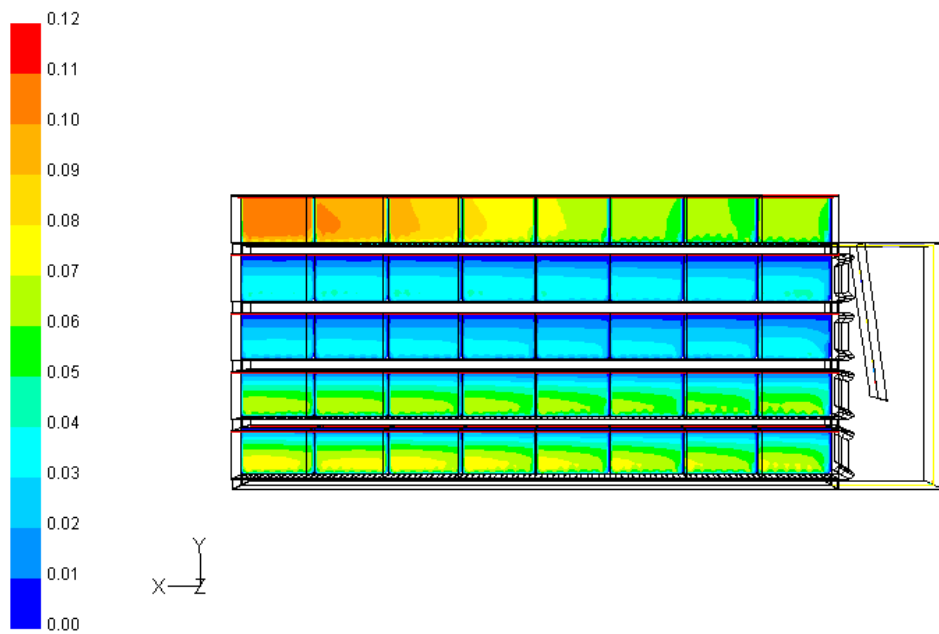
Ook hier leidt het afdekken van de bovenste laag tot een aanzienlijke verbetering van de luchtverdeling.

3.4.3 CASE – 4-C

Zelfde als CASE 4A maar de bollen met een diameter van 0.08 cm ($c_0=219$, $c_1=1.31$)



Figuur 44 Configuratie van Case 4-C



Figuur 45 Snelheidsveld (m/s)

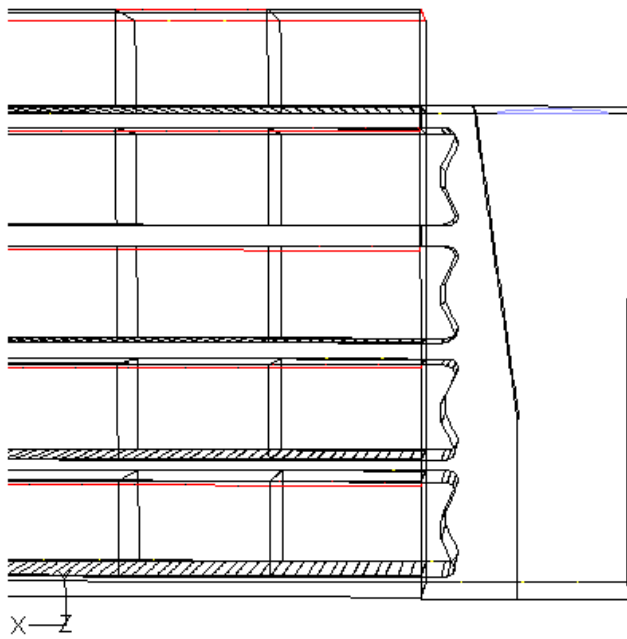
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
166.6%	156.9%	141.2%	123.9%	109.0%	99.1%	96.0%	99.0%	25%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
73.9%	73.6%	72.8%	71.8%	70.7%	69.6%	69.0%	69.1%	14%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
62.7%	62.5%	61.9%	61.1%	60.3%	59.7%	59.5%	59.2%	12%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
122.3%	121.3%	119.4%	116.7%	113.8%	110.9%	108.8%	108.4%	23%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
137.7%	135.5%	134.3%	131.2%	127.8%	124.1%	121.1%	118.7%	26%

Figuur 46 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

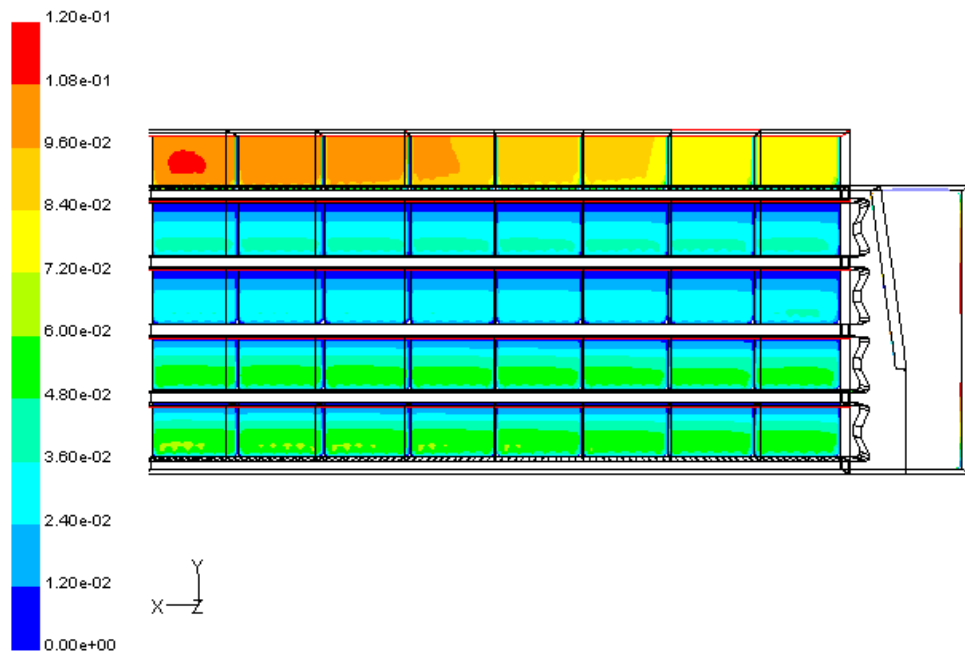
Bij grotere bollen wordt de luchtverdeling voor de in Case-4A minst beluchte kist ook hier ongunstiger.

3.4.4 CASE – 4-D

Zelfde als CASE 4A maar met een andere druppelvorm



Figuur 47 Configuratie van Case 4-D



Figuur 48 Snelheidsveld (m/s)

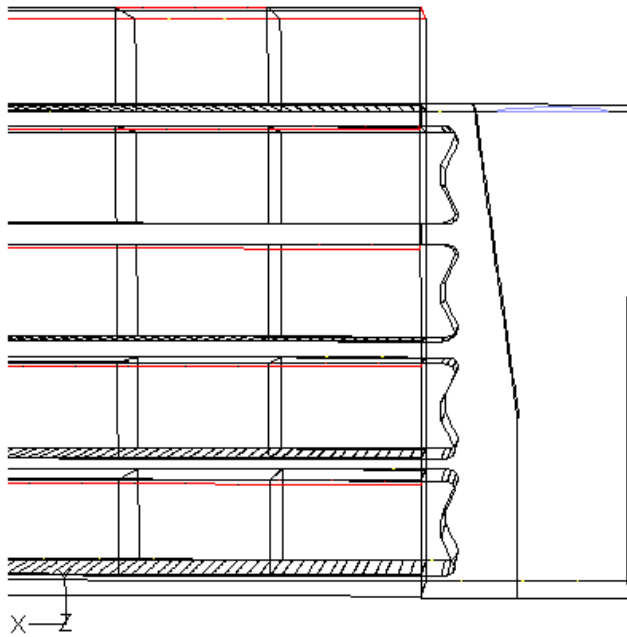
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
171.4%	167.5%	160.9%	152.4%	143.6%	135.9%	130.9%	130.4%	30%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
72.8%	72.6%	72.4%	72.0%	71.5%	71.1%	70.8%	70.8%	14%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
67.1%	67.0%	66.8%	66.4%	66.0%	65.7%	65.5%	65.4%	13%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
104.8%	104.6%	104.0%	103.2%	102.1%	101.1%	100.4%	100.4%	21%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
113.0%	112.4%	112.0%	111.0%	109.9%	108.7%	107.7%	107.1%	22%

Figuur 49 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

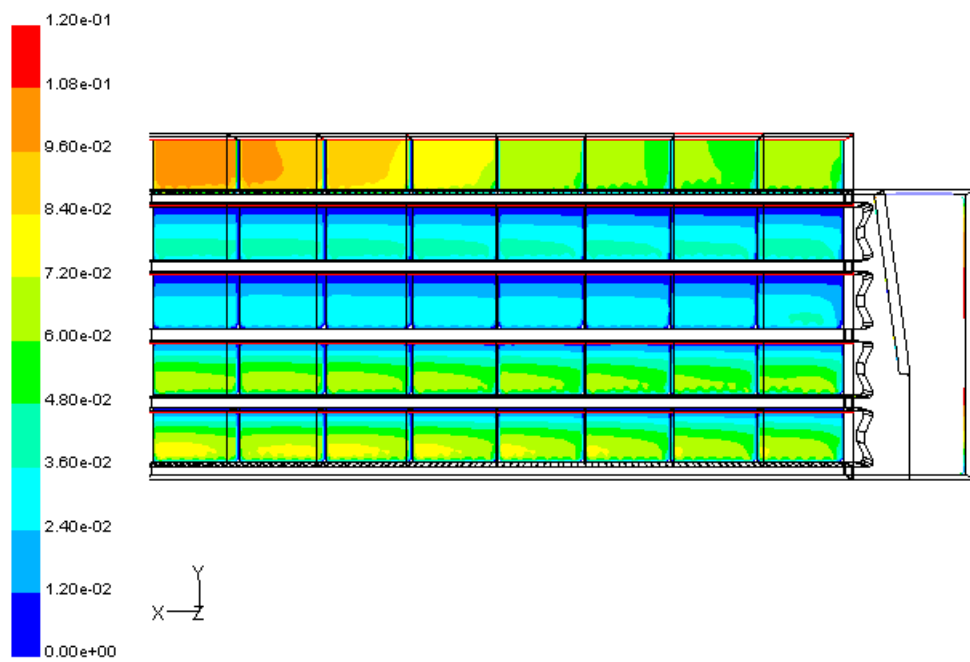
Ook een groter ontworpen druppelvorm leidt niet tot een betere luchtverdeling (wel tot een iets hogere luchtopbrengst, § 3.6).

3.4.5 CASE – 4E

— Zelfde als CASE 4D met bollen met een diameter van 0.08 m.



Figuur 50 *Configuratie van Case 4-E*



Figuur 51 *Snelheidsveld (m/s)*

b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
161.6%	152.5%	137.6%	121.0%	106.7%	97.3%	94.5%	99.1%	24%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
74.3%	74.0%	73.2%	72.2%	71.1%	70.1%	69.4%	69.2%	14%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
62.6%	62.7%	62.0%	61.2%	60.5%	59.8%	59.6%	59.4%	12%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
124.0%	123.1%	121.4%	118.7%	115.6%	112.6%	110.3%	110.0%	23%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
137.8%	135.9%	134.6%	131.6%	128.1%	124.5%	121.4%	119.0%	26%

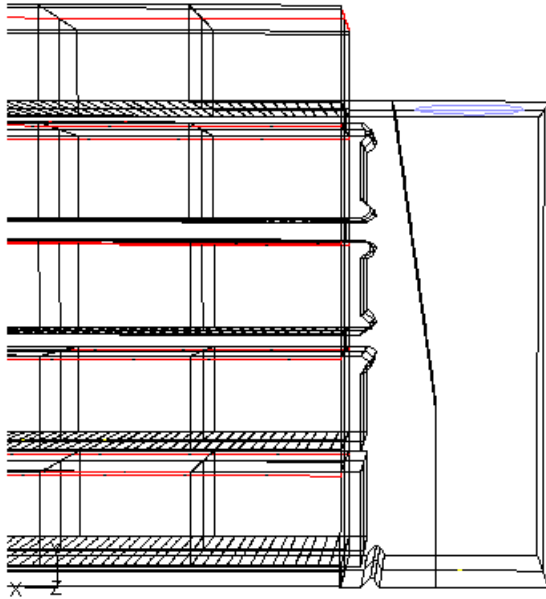
Figuur 52 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

Bij grotere bollen wordt de luchtverdeling voor de in Case-4D minst beluchte kist ook hier ongunstiger.

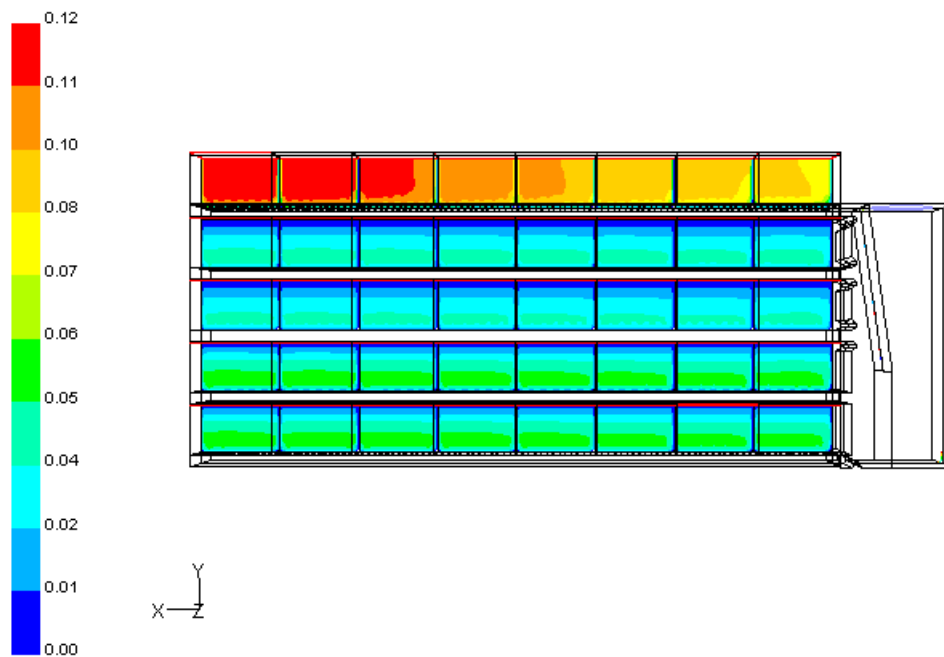
3.5 Effect van het verplaatsen van de huidige druppels

3.5.1 CASE – 5-A

Effect waarbij een aantal druppels zijn weggehaald en op de bodem ook een druppel is geplaatst.



Figuur 53 Configuratie van Case 5-A



Figuur 54 Snelheidsveld (m/s)

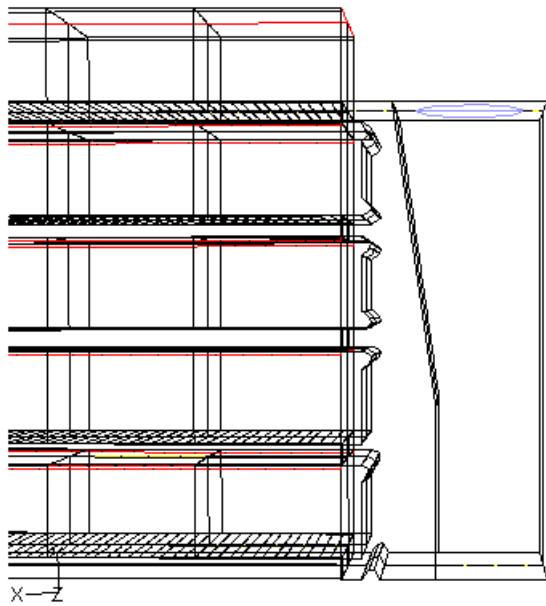
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
185.3%	180.7%	173.2%	163.4%	153.2%	144.0%	137.4%	133.4%	32%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
75.3%	75.1%	74.8%	74.3%	73.8%	73.3%	73.0%	73.0%	15%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
71.8%	71.6%	71.3%	70.9%	70.4%	70.0%	69.7%	69.8%	14%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
100.4%	100.2%	99.7%	98.9%	97.9%	97.0%	96.5%	96.6%	20%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
100.1%	99.5%	99.3%	98.6%	97.7%	96.8%	96.2%	95.9%	20%

Figuur 55 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

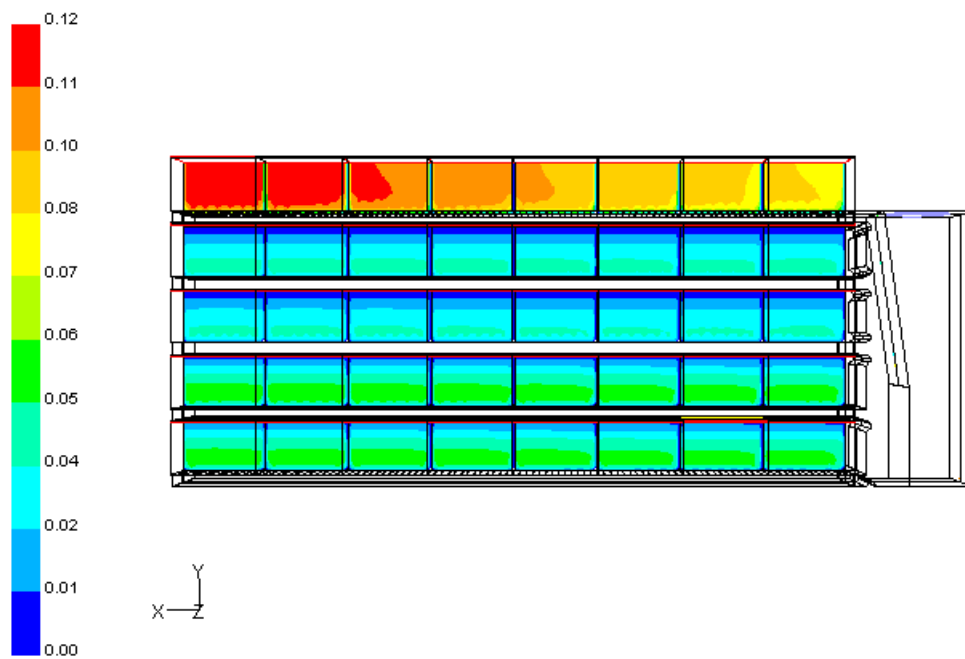
Het weghalen van de druppels bij de inblaasopening van de 2^{de} laag kisten en het plaatsen van een druppel op de bodem van de systeemwand voor de inblaasopening van de onderste laag geeft vrijwel geen verbetering van de luchtverdeling.

3.5.2 CASE – 5-B

Zelfde als CASE 5A met extra druppel nabij tweede opening van onder.



Figuur 56 Configuratie van Case 5-B



Figuur 57 Snelheidsveld (m/s)

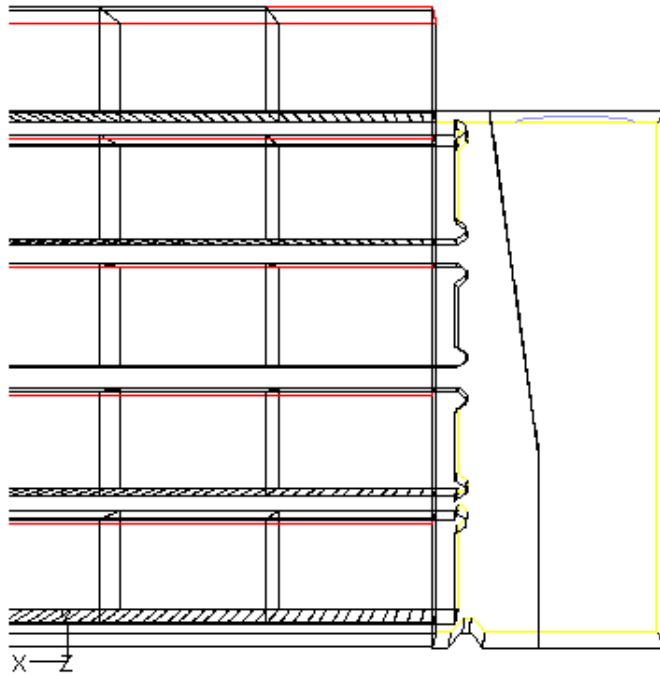
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
182.8%	178.4%	171.0%	161.5%	151.5%	142.6%	136.2%	132.4%	31%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
74.3%	74.2%	73.8%	73.4%	72.9%	72.4%	72.1%	72.1%	15%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
70.5%	70.4%	70.1%	69.7%	69.3%	68.8%	68.6%	68.7%	14%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
103.7%	103.5%	102.9%	102.0%	101.0%	100.0%	99.2%	99.3%	20%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
101.2%	100.6%	100.3%	99.6%	98.7%	97.8%	97.1%	96.6%	20%

Figuur 58 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

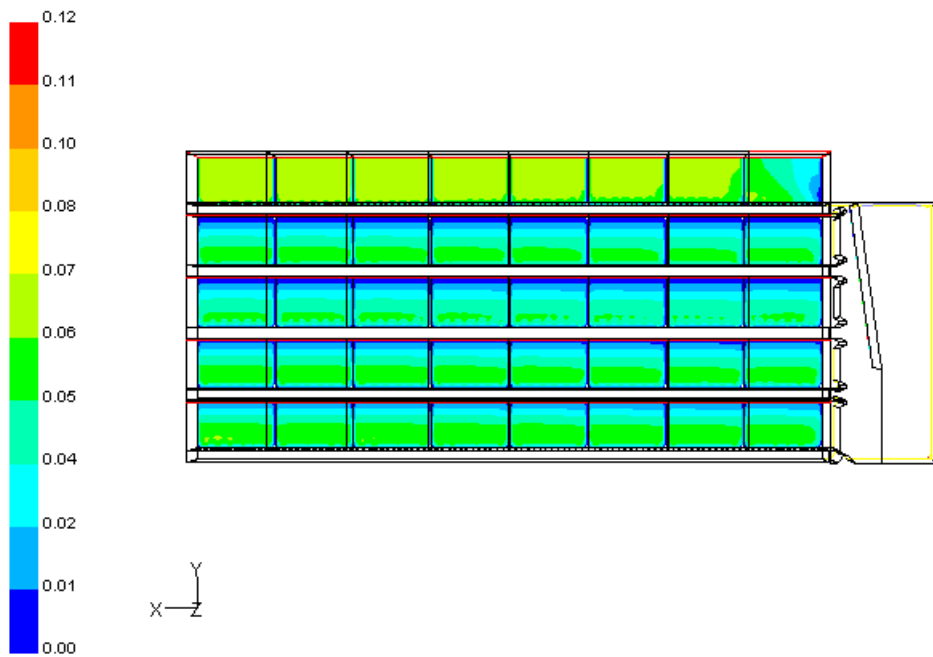
Het plaatsen van een extra druppel geeft geen verbetering van de luchtverdeling over de lagen.

3.5.3 CASE – 5-C

Ook een druppel geplaatst bij het bovenste kanaal waardoor de opening nu 7 ipv. 17 cm is.



Figuur 59 Configuratie van Case 5-C



Figuur 60 Snelheidsveld (m/s)

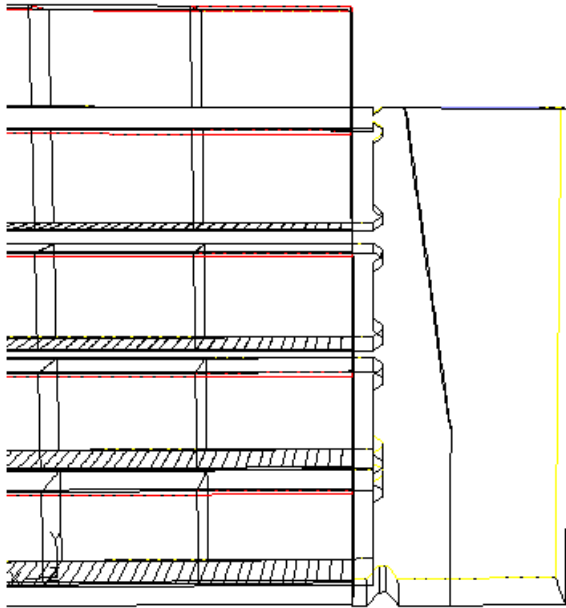
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
112.5%	111.0%	108.7%	105.1%	101.5%	98.8%	97.5%	62.8%	20%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
100.3%	100.0%	99.4%	98.7%	97.7%	96.9%	96.2%	96.0%	20%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
93.0%	92.7%	92.1%	91.5%	90.7%	89.9%	89.4%	89.3%	18%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
104.5%	104.3%	103.7%	102.8%	101.8%	100.8%	100.1%	100.3%	20%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
111.3%	110.6%	110.3%	109.5%	108.4%	107.3%	106.4%	105.8%	22%

Figuur 61 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

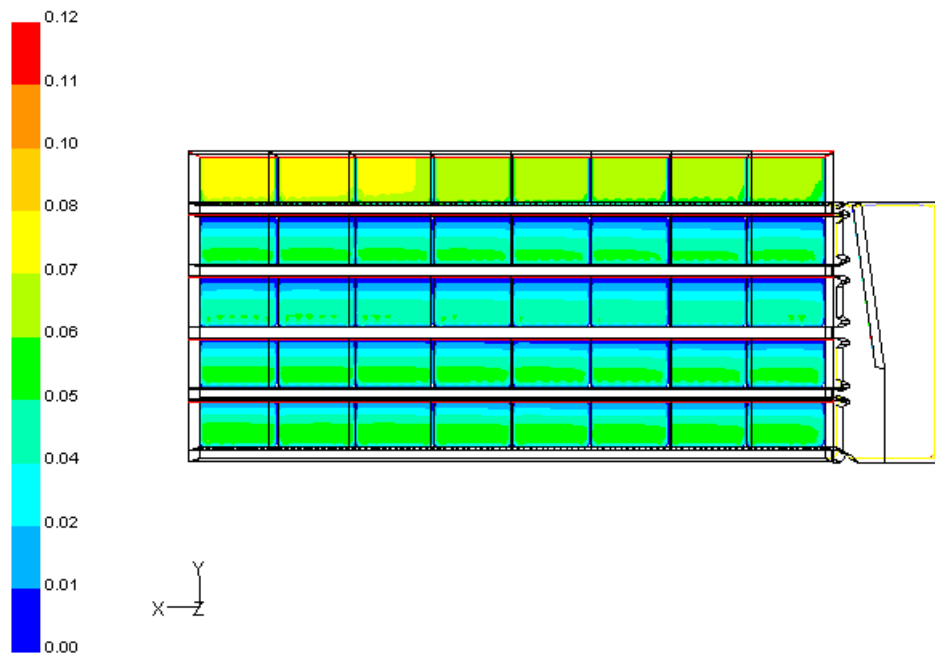
De luchtverdeling is nu aanzienlijk verbeterd, maar totale weerstand gaat aanzienlijk omhoog (§ 3.6).

3.5.4 CASE – 5-D

Twee druppels geplaatst bij het bovenste kanaal.



Figuur 62 Configuratie van Case 5-D



Figuur 63 Snelheidsveld (m/s)

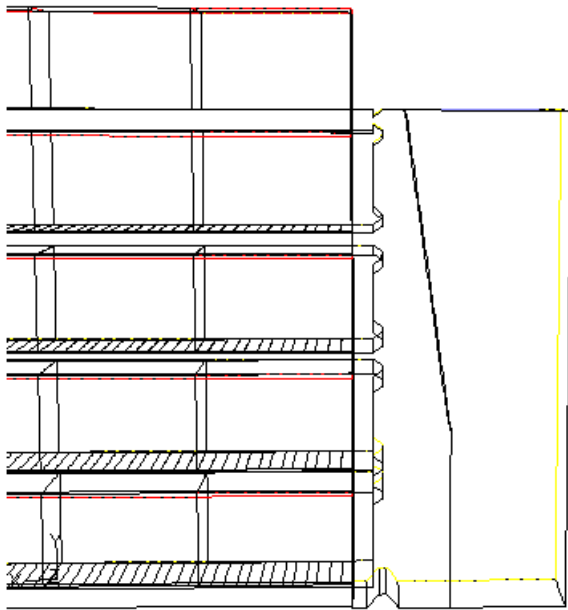
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	100%
120.7%	118.9%	115.6%	111.2%	106.6%	102.6%	100.5%	100.4%	22%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
97.1%	96.8%	96.2%	95.5%	94.6%	93.8%	93.2%	93.1%	19%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
90.5%	90.3%	89.8%	89.1%	88.3%	87.6%	87.2%	87.1%	18%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
101.8%	101.5%	100.9%	100.1%	99.1%	98.2%	97.5%	97.6%	20%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
109.8%	109.0%	108.8%	107.9%	106.9%	105.8%	105.0%	104.3%	21%

Figuur 64 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

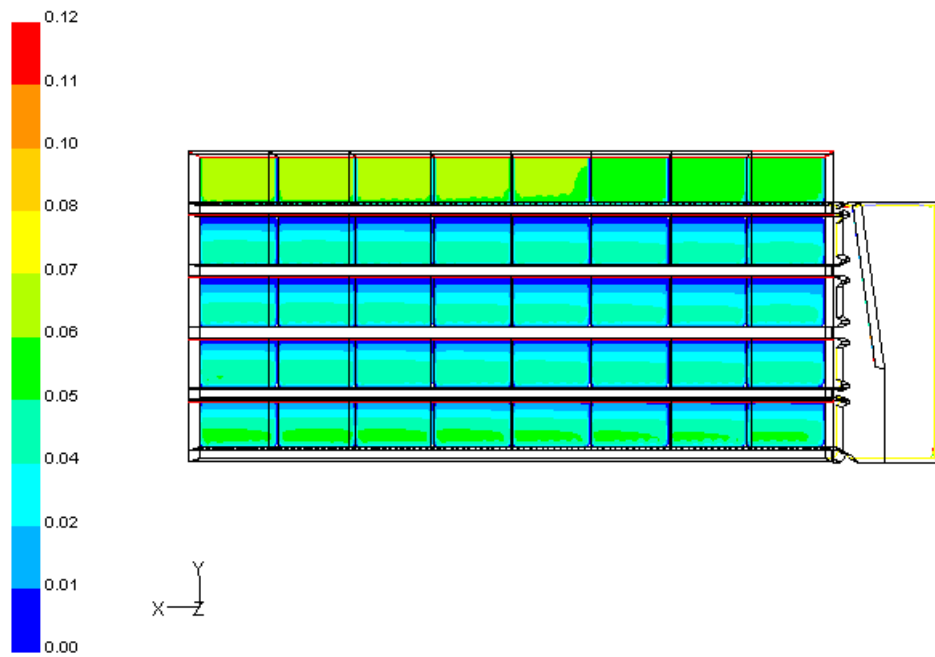
Ook hier is de luchtverdeling is verbeterd, maar gaat ook de totale weerstand aanzienlijk omhoog (§ 3.6).

3.5.5 CASE – 5-E

Met 88% van het oorspronkelijke hoeveelheid luchtstroom (264 m³/h per m³ bollen) en met dezelfde configuratie als case 5D.



Figuur 65 Configuratie van Case 5-E



Figuur 66 Snelheidsveld (m/s)

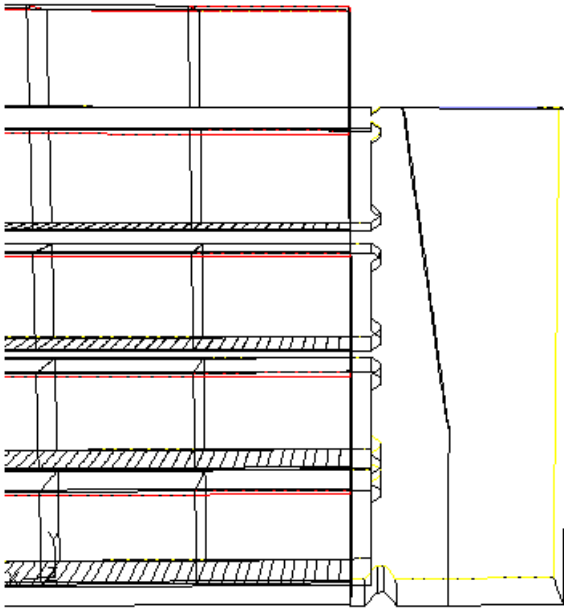
b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	88%
106.9%	105.4%	103.3%	100.1%	96.8%	93.8%	91.6%	90.0%	20%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
85.1%	84.8%	84.3%	83.5%	82.5%	81.5%	80.6%	80.3%	17%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
81.4%	80.7%	81.2%	79.7%	78.6%	77.5%	76.6%	76.2%	16%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
88.7%	88.4%	87.9%	86.9%	85.6%	84.3%	83.3%	83.3%	17%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
97.2%	97.0%	96.5%	95.5%	94.1%	92.7%	91.5%	90.9%	19%

Figuur 67 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

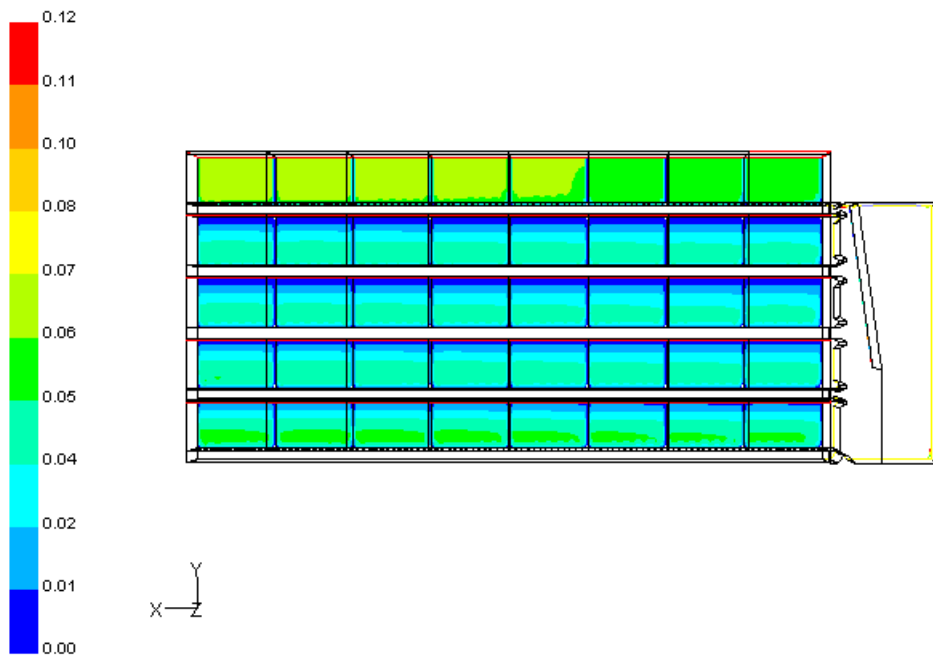
In CASE 5E is de luchthoeveelheid verminderd tot 88% van de luchtstroom in CASE 5D. Dit levert voor de minst beluchte kist voldoende lucht. De energiebesparing is door de weerstandverhoging maar 11%.

3.5.6 CASE – 5-F

— Zelfde als vorige case 5E met bollen met een diameter van 0.08 m.



Figuur 68 Configuratie van Case 5-F



Figuur 69 Snelheidsveld (m/s)

b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	88%
124.4%	118.1%	106.6%	92.2%	76.9%	59.5%	40.5%	20.7%	16%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
93.4%	92.8%	91.8%	90.5%	89.5%	87.6%	85.9%	86.3%	18%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
85.2%	84.4%	82.9%	81.3%	79.8%	78.3%	77.2%	76.5%	16%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
93.6%	92.8%	91.7%	90.2%	88.7%	87.0%	85.7%	86.8%	18%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
105.2%	105.0%	103.8%	102.4%	99.9%	98.3%	97.0%	96.2%	20%

Figuur 70 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

Met bollen met een 2 maal zo grote diameter is de weerstand flink lager en de luchtopbrengst hoger. Om voor de minst beluchte kist een gelijke luchthoeveelheid te realiseren kan het toerental dus omlaag. Het energieverbruik is dan bijna 45% lager (§ 3.6).

3.6 Overzicht van de resultaten

Onderstaande tabel laat de belangrijkste resultaten zien. De resultaten zijn vergeleken met de huidige situatie (CASE 1-A. CASE 1-B laat de situatie zien waarbij de bovenste palletrij is afgedekt. Er is meer weerstand over het totale systeem waardoor de benodigde druk toeneemt. De minst beluchte pallet wordt nu met 245 m³/h belucht terwijl dit in de huidige situatie 200 m³/h is. Omdat de huidige situatie afdoende lucht geeft voor de minst beluchte pallet kan de totale hoeveelheid lucht voor het geval dat de bovenste rij wordt afgedekt worden verkleind. Dit is de CASE 1-B_a. Voor case 1-B_a is uitgegaan van een afgedekte waarbij de gemiddelde luchthoeveelheid per pallet is gereduceerd tot 234 m³/h. Door de minst beluchte pallet gaat nu weer 200 m³/h zoals in de huidige situatie. Omdat de totale hoeveelheid lucht door het systeem wordt verkleind met meer dan 20% maar ook de benodigde druk wordt verlaagd met 20% neemt het totale energieverbruik ten opzichte van de huidige situatie met bijna 40% af. Dit is te zien in de laatste kolom van de tabel.

Vergroting van de ruimte onder de pallets zorgt voor een verlaging van de luchtweerstand maar de verdeling van de lucht wordt slechter.

Afronden van de openingen geeft een geringe verbetering op de verdeling van de lucht over de pallets en zorgt voor 7% minder luchtweerstand. Ook voor deze situatie is het aan te bevelen de bovenste rij pallets af te dekken aangezien dit ten goede komt van de luchtverdeling. De energie besparing is voor dit geval nog iets hoger als CASE 1-B_a.

De druppels zorgen nauwelijks voor een verbetering van de luchtverdeling en de weerstand neemt door de druppels alleen maar toe. Door nauwkeurig de druppels op specifieke plaatsen te plaatsen kan de luchtverdeling worden verbeterd en kan de totale luchthoeveelheid worden verlaagd. Dit is echter een complexe oplossing aangezien de plaatsing van de druppels afhankelijk is van de karakteristieken van de bollen.

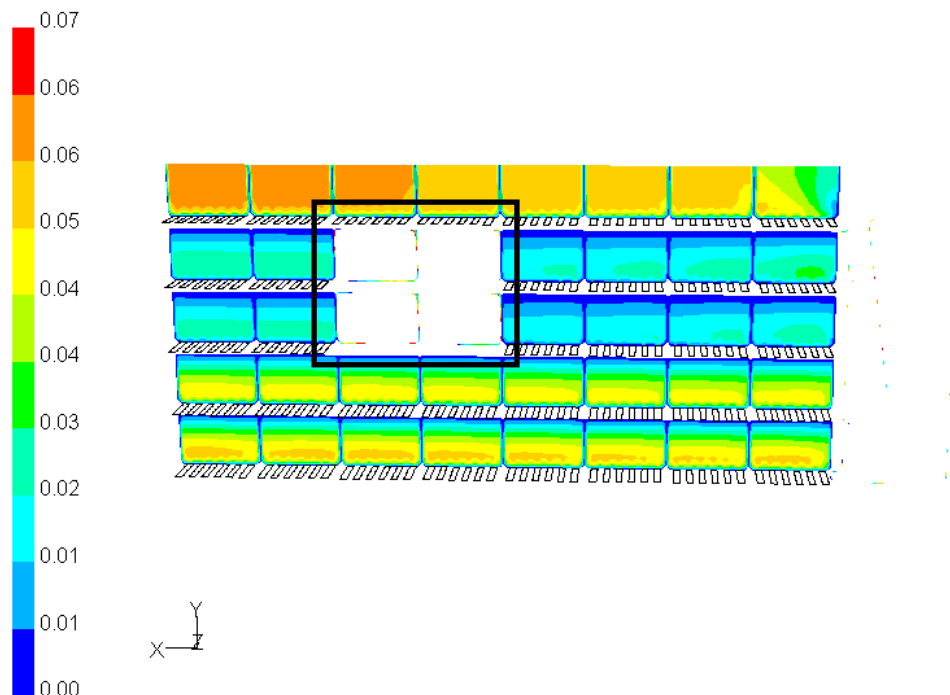
Tabel 3 *CFD resultaten van alle situaties vergelijken met de huidige situatie CASE 1A. Case 2: Verdubbeling ruimte onder pallet, Case 3: Afgeronde instroomopening, Case 4: Druppel spoilers, Case 5: Inlet Druppels op andere plaatsen, Case 5-E/F: 88% van het gebruikt luchtdebiet*

cases	configuratie	Uitstroom bovenste palletrij	luchtstroom (m ³ /h per m ³ bollen)	bol diameter (m)	standard deviation	minst beluchte pallet (m ³ /h per m ³ bollen)	meest beluchte pallet (m ³ /h per m ³ bollen)	Benodigde druk	verschil energieverbr. T.o.v. CASE 1A
case_1-A	Huidige systeem	Vrij	300	0.04	32.4%	200	540.51	96.89	0.0%
case_1-B	Huidige systeem	Afgedekt	300	0.04	13.0%	245	369	111.05	14.6%
case_1-B_a	Huidige systeem	Afgedekt	234	0.04	8.6%	199	281.27	77.27	-37.8%
case_1-C	Huidige systeem	Vrij	300	0.08	36.7%	182	644	62.31	-35.7%
case_1-D	Huidige systeem	Vrij	300	0.1	38.3%	163	668	57.52	-40.6%
case_2-A	ruimte onder pallets	Vrij	300	0.04	45.8%	187	583	82.26	-15.1%
case_2-B	ruimte onder pallets	Afgedekt	300	0.04	13.9%	258	379	102.23	5.5%
case_3-A	afgeronde instroom	Vrij	300	0.04	32.8%	214	552	90.01	-7.1%
case_3-B	afgeronde instroom	Afgedekt	300	0.04	11.1%	261	358	107.00	10.4%
case_3-Ba	afgeronde instroom	Afgedekt	285	0.04	10.1%	248	339	99.16	-2.8%
case_3-B-b	afgeronde instroom	Afgedekt	234	0.04	7.4%	209	274.66	74.35	-40.1%
case_3-C	afgeronde instroom	Vrij	300	0.08	27.2%	207	523	58.15	-40.0%
case_4-A	Druppels	Vrij	300	0.04	32.1%	195	526	98.81	2.0%
case_4-B	Druppels	Afgedekt	300	0.04	14.9%	242	374	111.33	14.9%
case_4-C	Druppels	Vrij	300	0.08	31.2%	177	500	64.93	-33.0%
case_4-D	Nieuwe druppels	Vrij	300	0.04	31.1%	196	514	95.35	-1.6%
case_4-E	Nieuwe druppels	Vrij	300	0.08	30.7%	178	485	65.22	-32.7%
case_5-A	Druppels positie 1	Vrij	300	0.04	33.1%	209	556	101.46	4.7%
case_5-B	Druppels positie 2	Vrij	300	0.04	32.8%	206	548	101.48	4.7%
case_5-C	Druppels positie 3	Vrij	300	0.04	9.0%	188	337	125.20	29.2%
case_5-D	Druppels positie 4	Vrij	300	0.04	8.6%	261	362	122.80	26.7%
case_5-E	Druppels positie 4	Vrij	264	0.04	8.0%	229	321	97.82	-11.2%
case_5-F	Druppels positie 4	Vrij	264	0.08	17.8%	62	373	60.87	-44.7%

3.7 Effect van de ontwerpparameters op de resultaten

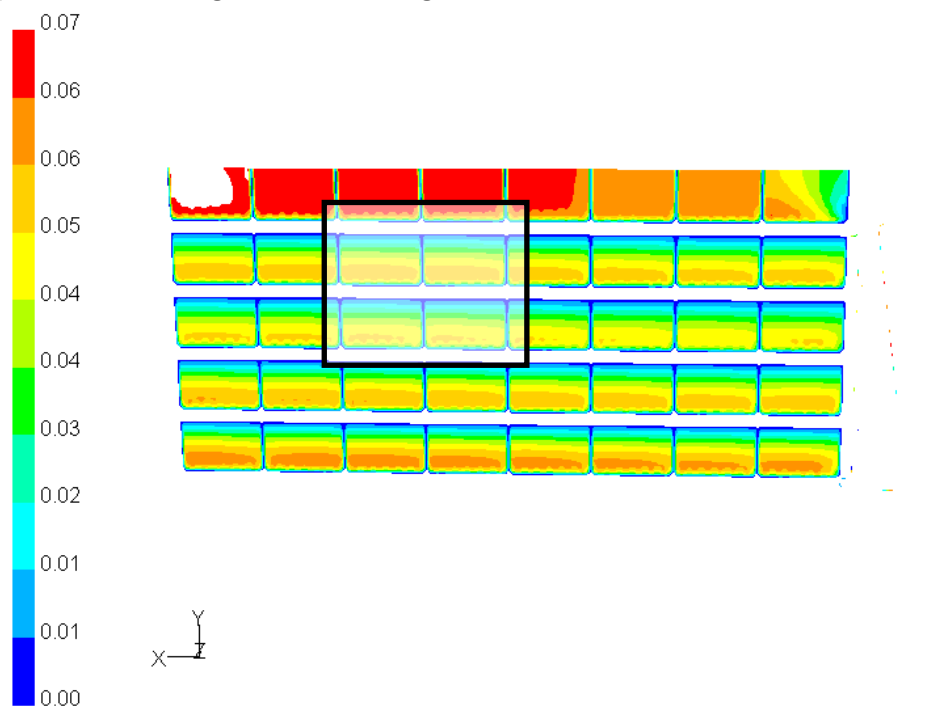
3.7.1 Relatie tussen de geperforeerde plaat en de bollen

Om de invloed te zien van de geperforeerde plaat en de bollen op de resultaten zijn verschillende berekeningen gedaan. In Case 5 Ca zijn vier pallets als leeg beschouwd en in Case 5 C b is voor deze pallets verondersteld dat de vloer geen luchtweerstand geeft dus geen geperforeerde plaat.



Figuur 71 Snelheidsveld Case 5-Ca (vier pallets zonder bollen)

Uit de figuur valt af te leiden dat de luchtsnelheid in de pallets waar geen bollen in zitten veel hoger is dan de overige pallets. De bollen zorgen er dus voor een grote luchtweerstand.



Figuur 72 Snelheidsveld Case 5-Cb (vier pallets zonder geperforeerde plaat)

Het effect van het verwijderen van de geperforeerde plaat is minimaal. Geconcludeerd kan worden dat de bollen bepalen hoeveel lucht er door de pallets stroomt. Verder verandering aan de geperforeerde plaat hebben om deze reden dan ook geen zin. Alleen een verhoging van de weerstand van de geperforeerde plaat zou de luchtverdeling kunnen beïnvloeden maar dat zal altijd gepaard gaan met een hoger energieverbruik,

3.7.1 Vergelijking met het tweelaagssysteem

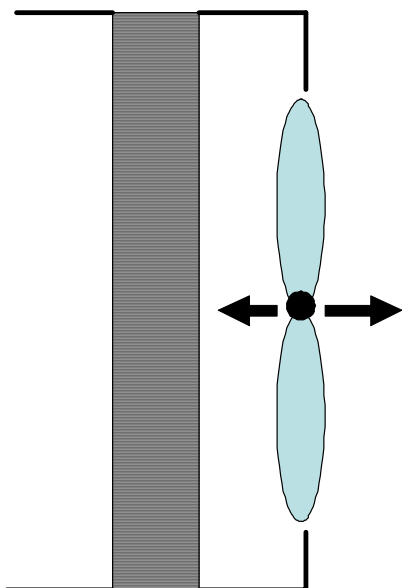
Er zijn een aantal belangrijke verschillen ten opzichte van het tweelaagssysteem:

- Er zijn minder kanalen waardoor de lucht de droogwand verlaat. In de eerdere studie waren er twee uitblaasopeningen op de droogwand. In het geval van het éénlaagssysteem zoals wij dat hier hebben bekeken zijn dat er 5. Dit maakt dat de uitblaasopening minder invloed heeft op de luchtweerstand dan bij het tweelaagssysteem. Daardoor is het effect van een afgeronde uitblaasopening bij een éénlaagssysteem minder groot.
- Bij een tweelaagssysteem is geen uitblaasopening onderin de droogwand. Dit kanaal krijgt relatief veel lucht in het éénlaagssysteem omdat het in de stroomrichting zit. Dit is niet het geval bij het tweelaagssysteem.
- De uitstroomopeningen van de individuele kisten is anders. Bij de éénlaagstapeling hebben de kisten qua uitstroom weinig onderlinge invloed. De middelste rijen in het tweelaagssysteem hebben wel invloed op elkaar bij de uitstroom. De weerstand bij voldoende pallets achter elkaar (weerstand door de lengte van het palletkanaal) is daarom hoger dan bij de éénlaagstapeling.

3.7.2 Overige resultaten

Zuigen i.p.v. blazen

Er is voor de huidige configuratie ook gekeken naar zuigen i.p.v. blazen. Dit bleek geen verbetering te geven. Tijdens het zuigen wordt de eerste pallet van de bovenste rij (nabij de droogwand) het meest belucht met een vergelijkbare hoeveelheid lucht als de laatste pallet in deze rij tijdens het blazen. Zuigen i.p.v. blazen geeft een verbetering als de media die de weerstand veroorzaken parallel naast elkaar staan en door de luchtstroming van de ventilator of het aanstroom kanaal een deel hiervan beter wordt belucht.



Figuur 73 *Luchtbehandelingskast met een ventilator en een warmtewisselaar*

In bovenstaande figuur is een luchtbehandelingskast te zien waar een luchtstroming naar links als blazend wordt verondersteld en naar rechts als zuigend. Indien de ventilator zuigend wordt gemonteerd, stroomt de lucht gelijkmatiger door de warmtewisselaar dan wanneer deze blazend is gemonteerd. In het geval van de palletstapeling wordt de lucht parallel onder de kisten doorgeblazen en niet loodrecht erop daarom heeft zuigen voor de verdeling in de kolommen in de rij geen zin. Wel kan de verdeling over de rijen (parallele weerstanden) verbeteren door te zuigen aangezien bij blazen de onderste rij nu een groot deel van de lucht krijgt ten gevolge van de luchtstroming. Indien de bovenste rij wordt afgedicht zoals voorgesteld kan zuigen leiden tot een verdere verbetering van de luchtstroming, daarom is deze situatie doorgerekend.

b_5-1	b_5-2	b_5-3	b_5-4	b_5-5	b_5-6	b_5-7	b_5-8	
67.5%	68.0%	68.9%	70.3%	72.2%	74.7%	77.9%	81.8%	15%
b_4-1	b_4-2	b_4-3	b_4-4	b_4-5	b_4-6	b_4-7	b_4-8	
69.9%	70.4%	71.3%	72.8%	74.8%	77.4%	80.7%	84.8%	15%
b_3-1	b_3-2	b_3-3	b_3-4	b_3-5	b_3-6	b_3-7	b_3-8	
73.1%	73.5%	74.6%	76.2%	78.3%	81.2%	84.7%	89.1%	16%
b_2-1	b_2-2	b_2-3	b_2-4	b_2-5	b_2-6	b_2-7	b_2-8	
75.6%	76.2%	77.3%	79.0%	81.3%	84.3%	88.1%	92.8%	16%
b_1-1	b_1-2	b_1-3	b_1-4	b_1-5	b_1-6	b_1-7	b_1-8	
76.3%	76.9%	78.0%	79.7%	82.0%	85.0%	88.9%	93.7%	17%

Figuur 74 *Verdeling van lucht over de pallets ten opzichte van het gemiddelde 100% en de verdeling over de verschillende rijen*

Bovenstaande figuur laat de verdeling over de palletkisten zien bij zuigen i.p.v. blazen. Deze figuur moet worden vergeleken met figuur 13. De verdeling over de verschillende rijen is inderdaad iets beter dan voor het geval dat er geblazen wordt, maar de verdeling over de verschillende kolommen in de opstelling is minder goed. De kisten dichterbij de droogwand krijgen extra lucht.

Andere stapelingen

Er is in dit onderzoek alleen gekeken naar de stapeling zoals aangegeven in hoofdstuk 2. De conclusies en aanbevelingen blijven gelijk indien er minder of meer pallets voor de droogwand worden geplaatst aangezien de luchtverdeling voor het grootste deel wordt bepaald door de droogwand en het feit dat de bovenste palletrij niet is afgedicht. Het afdekken van de bovenste pallets zal een gelijksoortig effect hebben indien er meer of minder pallets voor de droogwand worden geplaatst.

4. Conclusies

- Het huidige éénlaagssysteem waarbij er geen aanpassing zijn gedaan aan de droogwand laat een slechte verdeling van de luchtstroom door de stapeling zien. Er gaat 66% van de lucht door de minst beluchte palletkist en 180% door de meest beluchte palletkist waarbij 100% als gemiddeld wordt genomen.
- Als de bovenste rij palletkisten wordt afgedekt, dan is de luchtverdeling een stuk beter, namelijk 82% en 123% als minimum en maximum beluchting per pallet. Er is wel 15% meer luchtdruk nodig ten gevolge van de grotere luchtweerstand van de plaat op de bovenste rij.
- Indien i.d.g. de totale luchthoeveelheid door het systeem wordt verlaagd zodat de minst aangestroomde palletkist in de afgedekte situatie weer evenveel lucht krijgt als de minst aangestroomde pallet in de huidige situatie dan kan de het energieverbruik met bijna 40% worden teruggebracht.
- Bij kleinere bollen (meer luchtweerstand) is de luchtverdeling over de kisten beter.
- Bij bollen met een grotere diameter is de luchthoeveelheid per kist flink groter.
- Vergroting van de ruimte onder de pallets heeft geen positief effect op de luchtverdeling in de stapeling, het zorgt zelfs voor een iets mindere verdeling. (63% door de minst beluchte kist, 195% door de meest beluchte kist). Er is dan wel 15% minder energie nodig om de lucht door het systeem te blazen.
- Afgeronde uitblaasopeningen geven geen verbetering voor de verdeling van de lucht. Wel neemt de benodigde luchtdruk af waardoor het energieverbruik met 7% afneemt. Indien voor deze situatie de bovenste rij pallets ook nog wordt afgedekt dan ontstaat ook een goede verdeling.
- Toepassing van de druppelvormige spoiler ("de druppel") zoals die nu worden gemonteerd geven niet echt een verbetering aan de verdeling of de benodigde luchtdruk.
- Een andere (grotere) druppelvorm laat nauwelijks verbetering zien (1,6 % energiebesparing).
- Door de druppels op een andere locatie te monteren kan wel een goede verdeling van de lucht worden verkregen. Er is echter wel meer druk nodig (nl. 27%) om de lucht door het systeem te krijgen. Nadeel van deze oplossing is dat de beste positie afhankelijk is van de bolmaat in de palletkisten.
- De weerstand van de bollen domineert de weerstand voor de lucht door de kist, verlaging van de weerstand van de geperforeerde plaat in de kistbodem heeft om deze reden dan ook geen zin.
- In vergelijking met een 2-laagssysteem zijn er bij het éénlaagssysteem meer uitblaasopeningen in de droogwand (5 vs. 2). Dit maakt dat de uitblaasopening minder invloed heeft op de luchtweerstand dan bij het tweelaagssysteem. Daardoor is het effect van een afgeronde uitblaasopening bij een éénlaagssysteem minder groot.
- Bij een tweelaagssysteem is geen uitblaasopening onderin de droogwand. Dit kanaal krijgt relatief veel lucht in het éénlaagssysteem omdat het in de stroomrichting zit. Dit is niet het geval bij het tweelaagssysteem.
- De weerstand bij voldoende pallets achter elkaar (weerstand door de lengte van het palletkanaal) is bij een tweelaagssysteem hoger dan bij de éénlaagsstapeling.
- Bij zuigen i.p.v. blazen is de verdeling over de verschillende rijen iets beter dan bij blazen, maar de verdeling over de verschillende kolommen in de opstelling is minder goed. De kisten dichterbij de droogwand krijgen extra lucht.
- Het afdekken van de bovenste pallets zal een gelijksoortig effect hebben indien er meer of minder pallets voor de droogwand worden geplaatst.

5. Aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoek zijn de volgende aanbevelingen te geven:

- Het afdekken van de bovenste rij pallets is de meest eenvoudige manier om een goede luchtverdeling over het systeem te krijgen. Deze methode is onafhankelijk van de grootte van de bollen. Een degelijk systeem kan ook eenvoudig worden gerealiseerd door een plaat aan het plafond van de cel te bevestigen die men, als de pallets erin staan, bovenop de pallets laat zakken. Natuurlijk gaat dan wel de benodigde druk omhoog maar omdat de luchtverdeling een stuk beter is kan de hoeveelheid lucht die door de bollen wordt geblazen ook omlaag, dit geeft een energiebesparing van bijna 40%.
- De onderste rij pallets krijgt in het geval dat de bovenste rij wordt afgedekt de meeste lucht. Een weerstand in dit kanaal kan de verdeling verder verbeteren waardoor een extra energiebesparing kan worden gerealiseerd.
- Indien de druppels op een specifieke manier in de droogwand worden geplaatst kan een optimale luchtverdeling worden gerealiseerd. Nadeel van deze methode is dat de plaatsing afhankelijk is van de grootte van de bollen.
- Een individuele ventilator voor elk palletkanaal als vervanging van de droogwand zou ook een goede oplossing zijn om een goede verdeling over de palletkisten te krijgen.

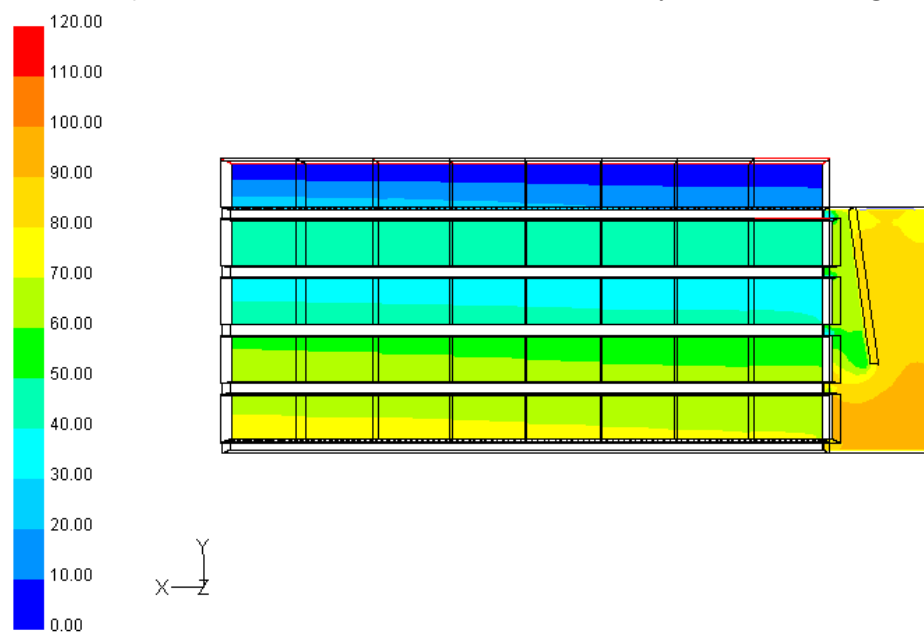
In het project State-of-the-Art worden deze aanbevelingen getest en gedemonstreerd, zodat de resultaten effectief naar de telers gecommuniceerd kunnen worden. Hiertoe worden lezingen/bijeenkomsten georganiseerd waarbij o.a. studieclubs en andere geïnteresseerden worden uitgenodigd.

Literatuur

- Bruggen H.P., (2002). Het bewaren van tulpen in kuubskisten: Analyse en verbetering van de luchtverdeling. Departement Agrotechnologie en Voedingwetenschappen, Wageningen UR.
- Campen J.B., (2001). Luchtstroming in Kunststof Kisten t.o.v. de conventionele houten kist voor tulpenbol drogen. Instituut voor Milieu en Agrotechniek (IMAG), intern report (2001-74).
- Campen, J.B. & Snels, J.C.M.A., (2006). 'CFD berekeningen bloembollen bewaarcel'. Agrotechnology and Food Sciences Group & Plant Research International B.V., Rapport nr. 709, Wageningen.

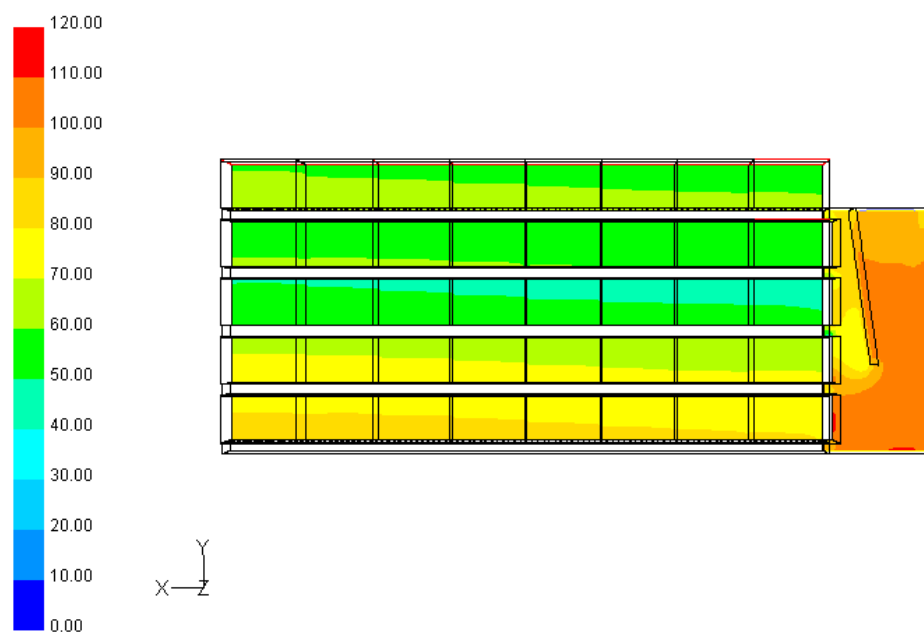
Bijlage 1 Drukverdeling voor de verschillende situaties

Deze druk bepaalt samen met de hoeveelheid lucht die door het systeem stroomt hoe groot het energieverbruik is.



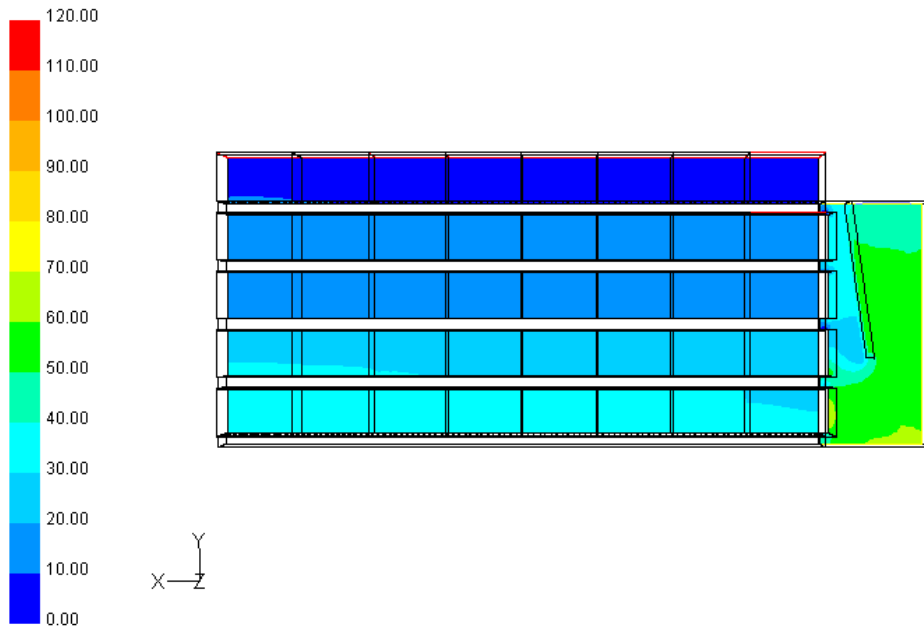
Figuur 75

De statische druk (Pa), Case 1-A

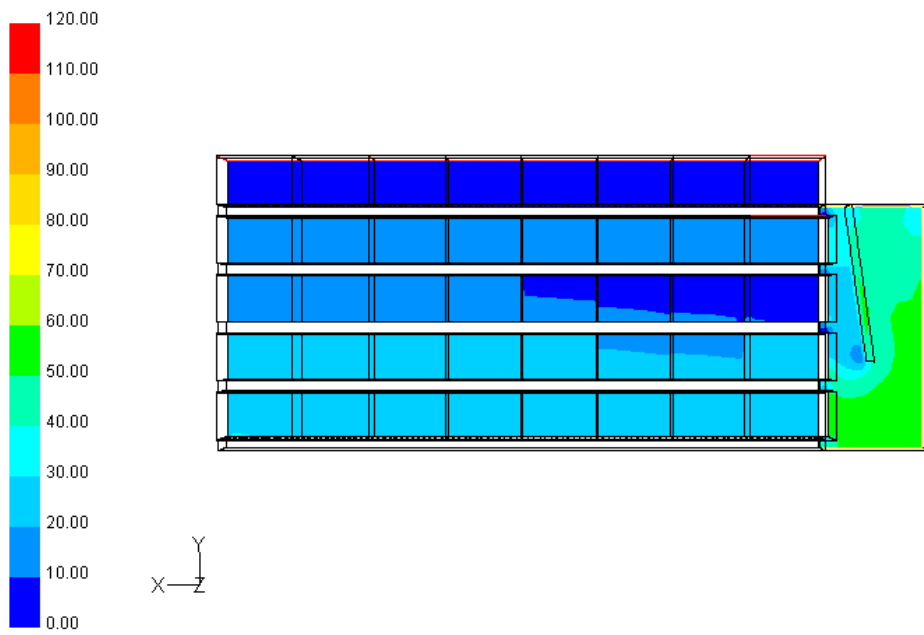


Figuur 76

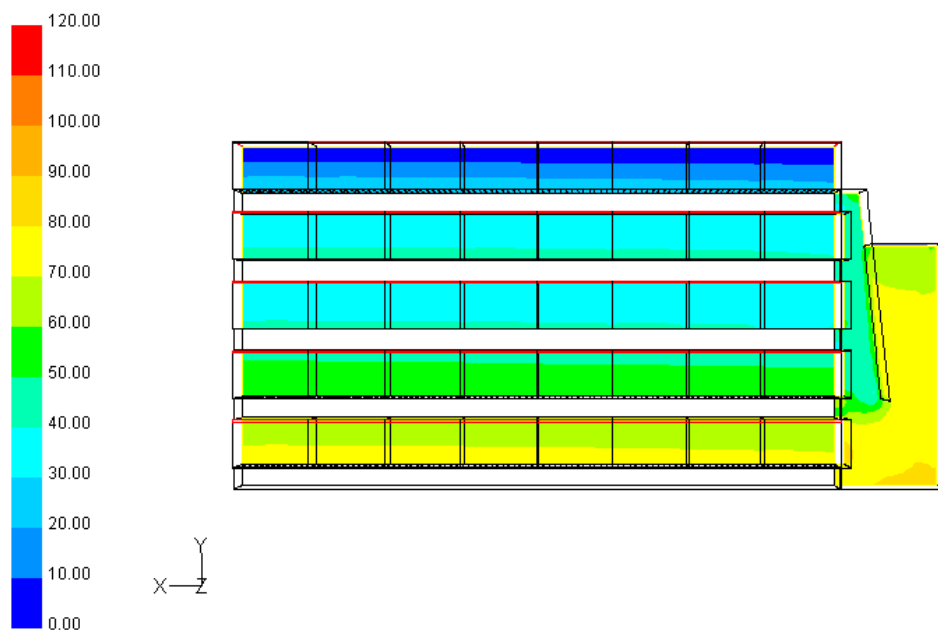
Drukveld (Pa), Case 1-B



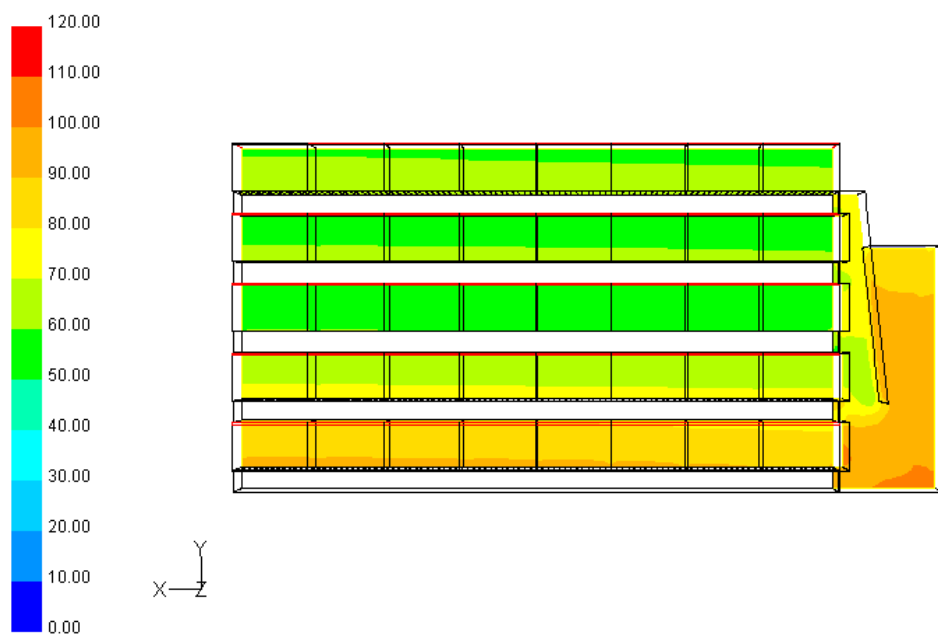
Figuur 77 *Statische druk (Pa) , Case 1-C*



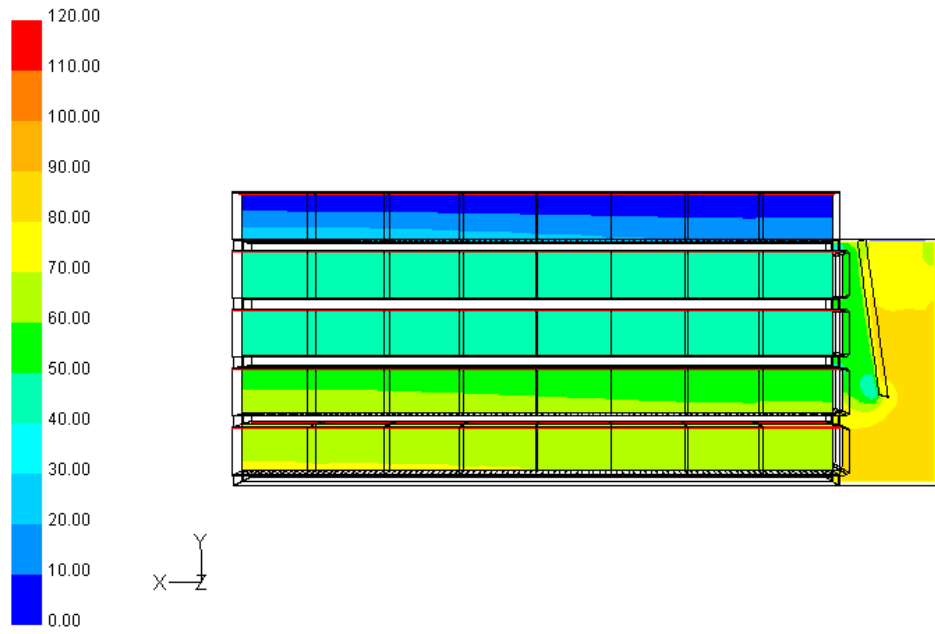
Figuur 78 *Statische druk (Pa) case 1D*



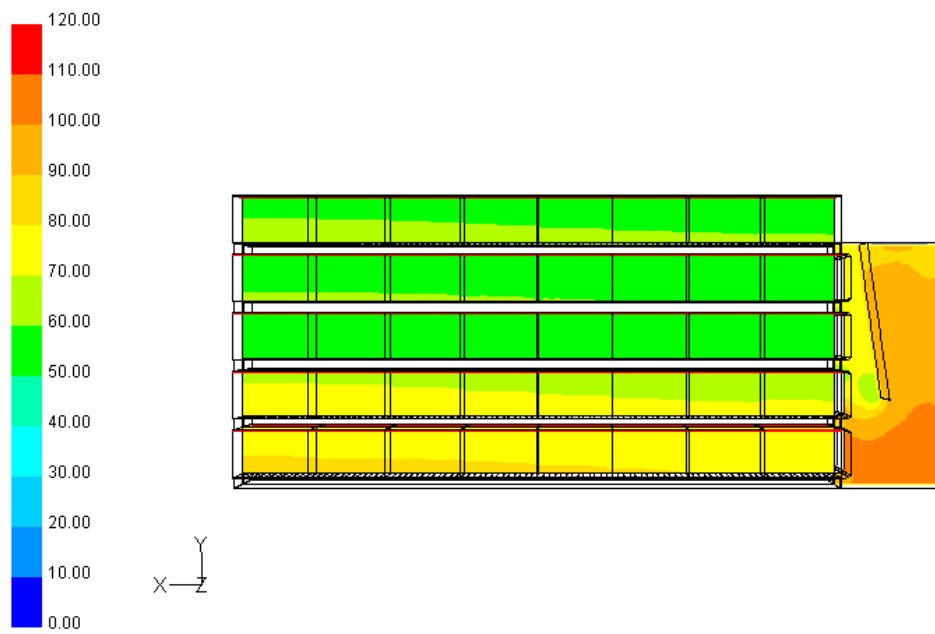
Figuur 79 *Statische druk (Pa) case 2A*



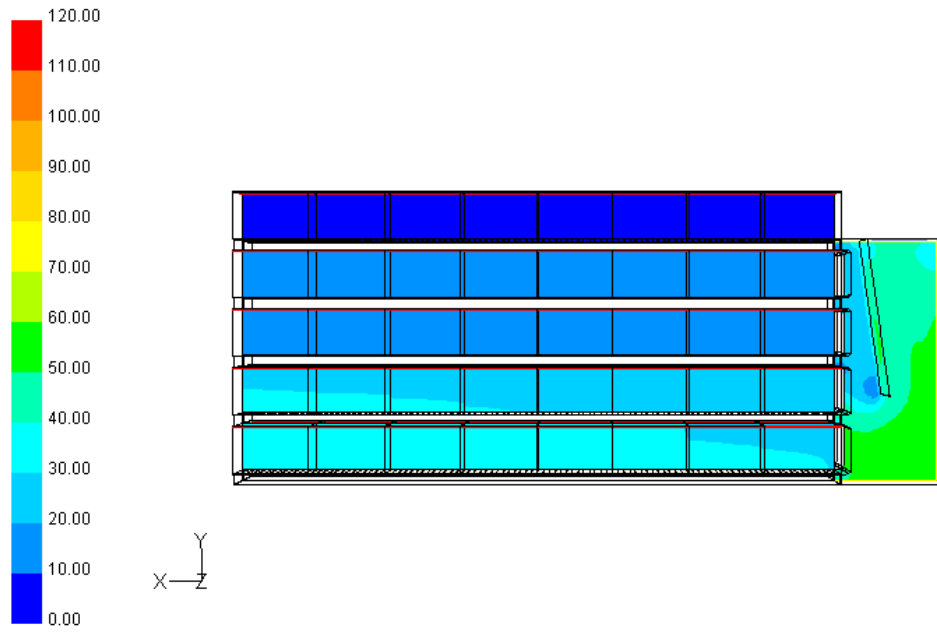
Figuur 80 *Statische druk (Pa) Case 2B*



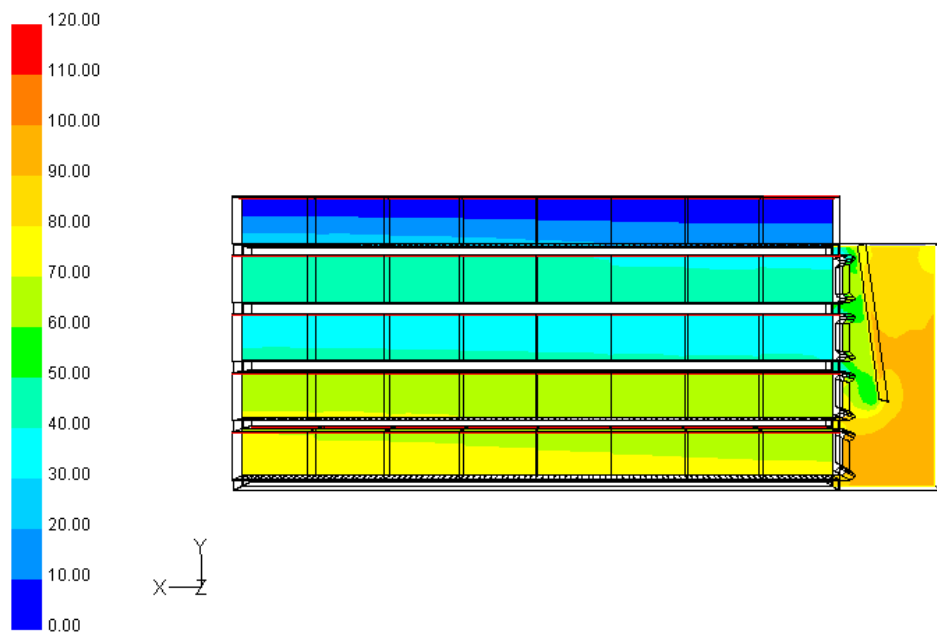
Figuur 81 *Statische druk (Pa) case 3A*



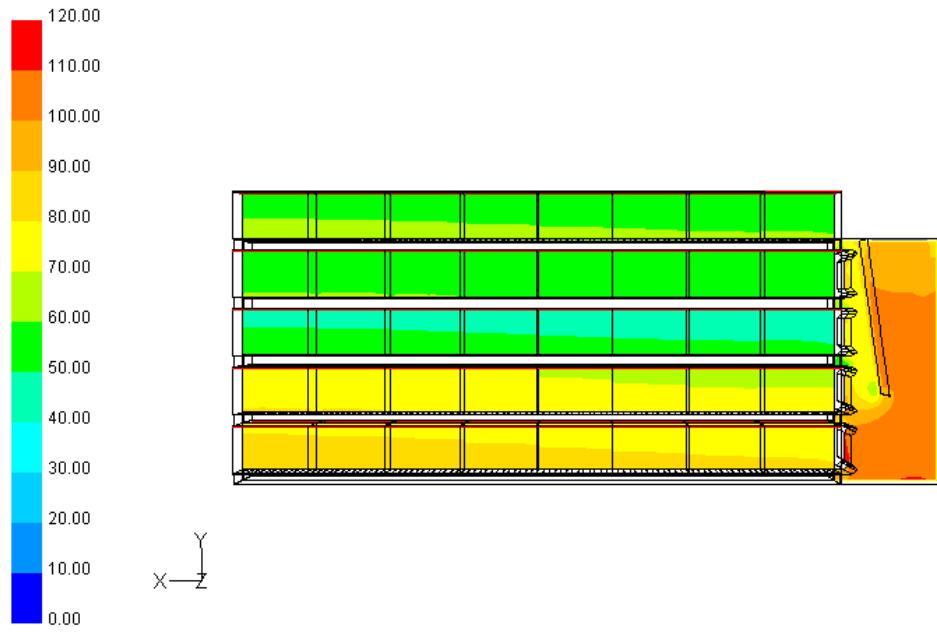
Figuur 82 *Statische druk (Pa) case 3B*



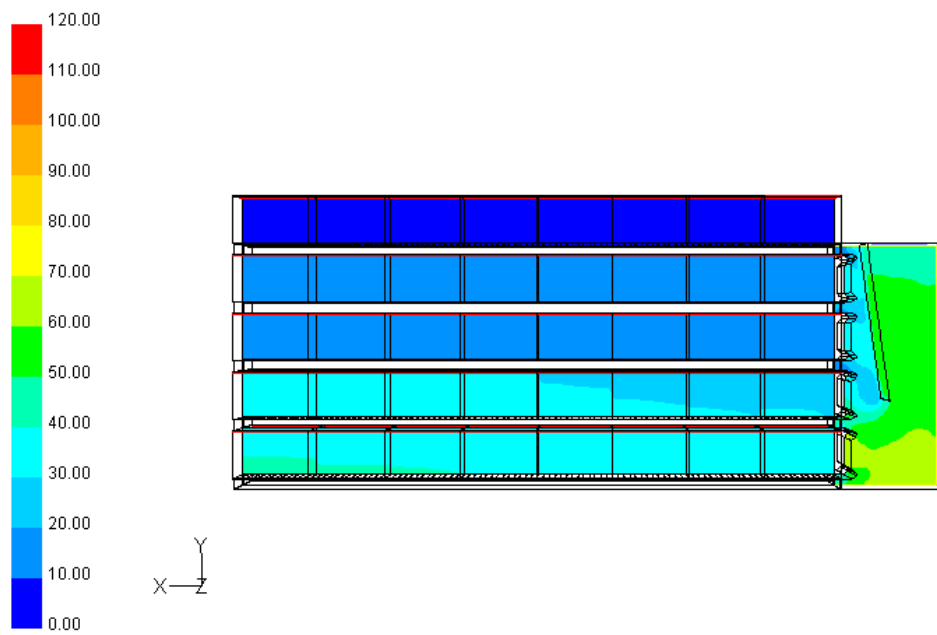
Figuur 83 *Statische druk (Pa) case 3C*



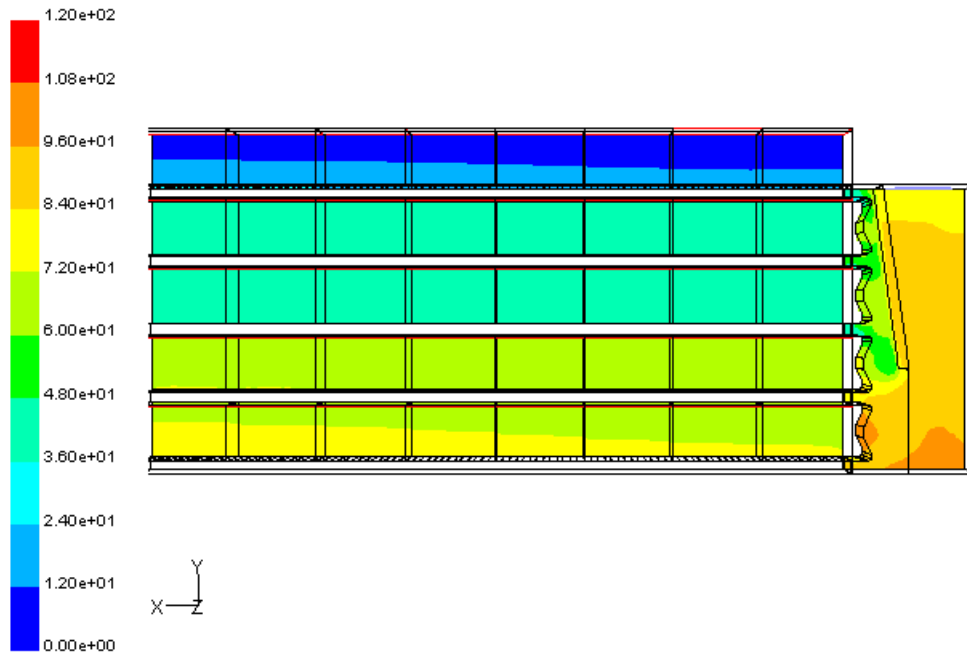
Figuur 84 *Statische druk (Pa) Case 4A*



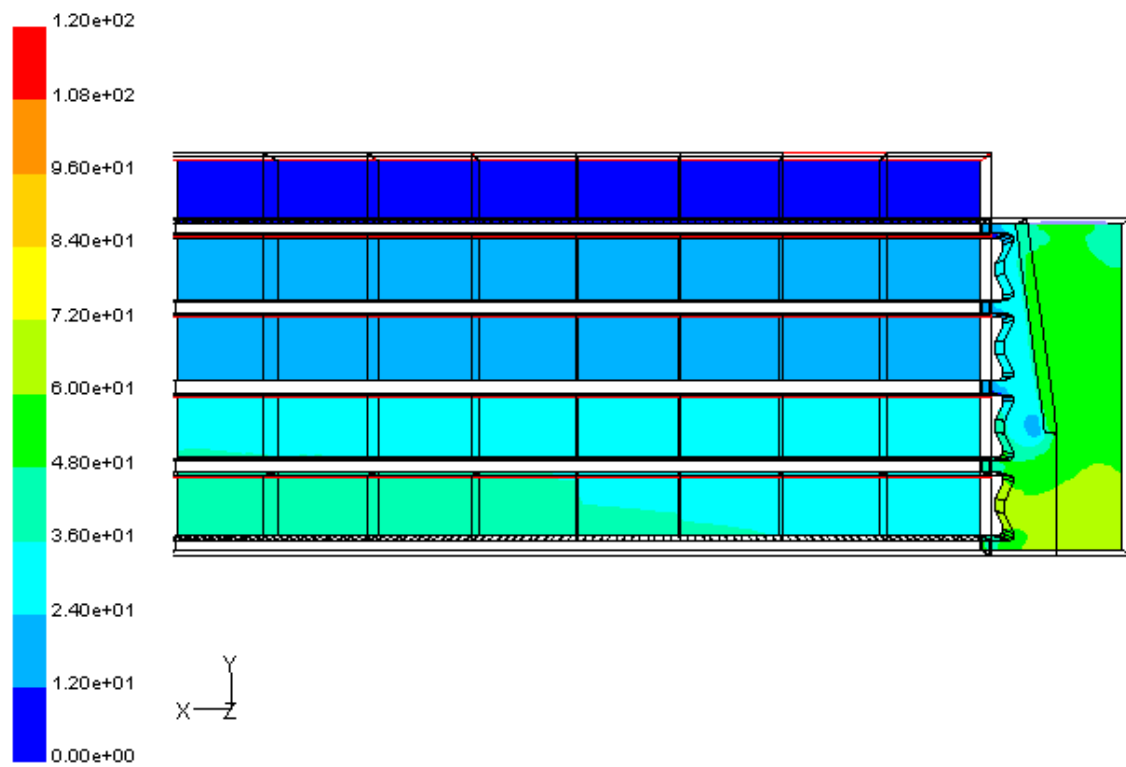
Figuur 85 *Statische druk (Pa) Case 4B*



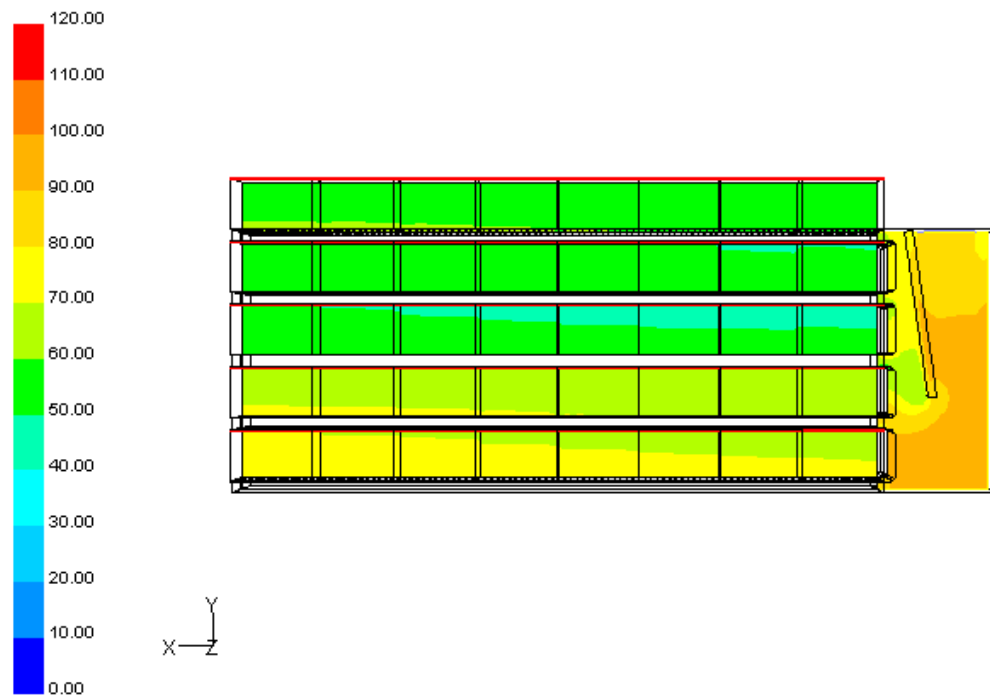
Figuur 86 *Statische druk (Pa) Case 4C*



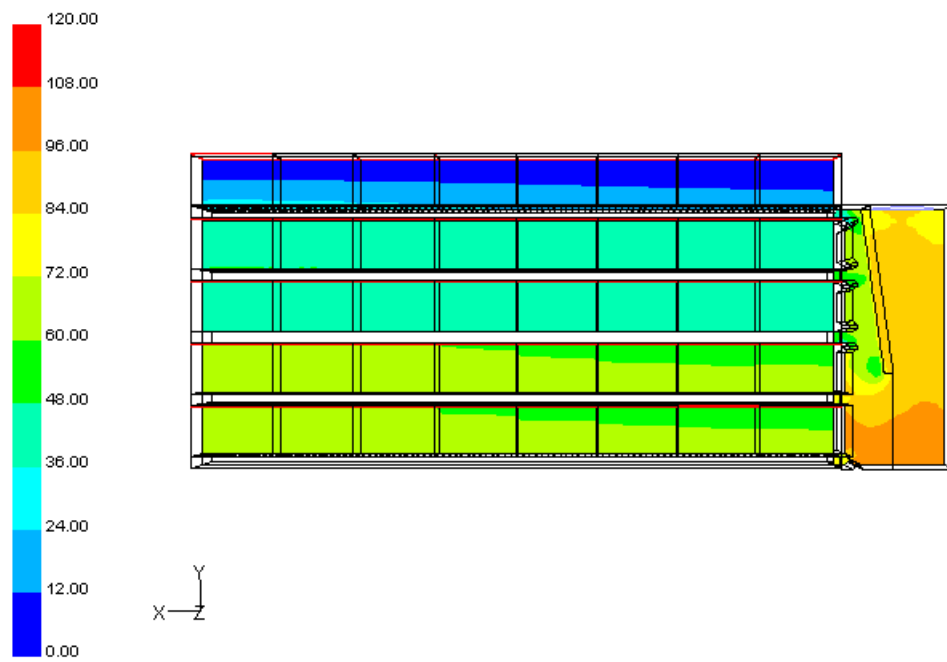
Figuur 87 *Statische druk (Pa) case 4D*



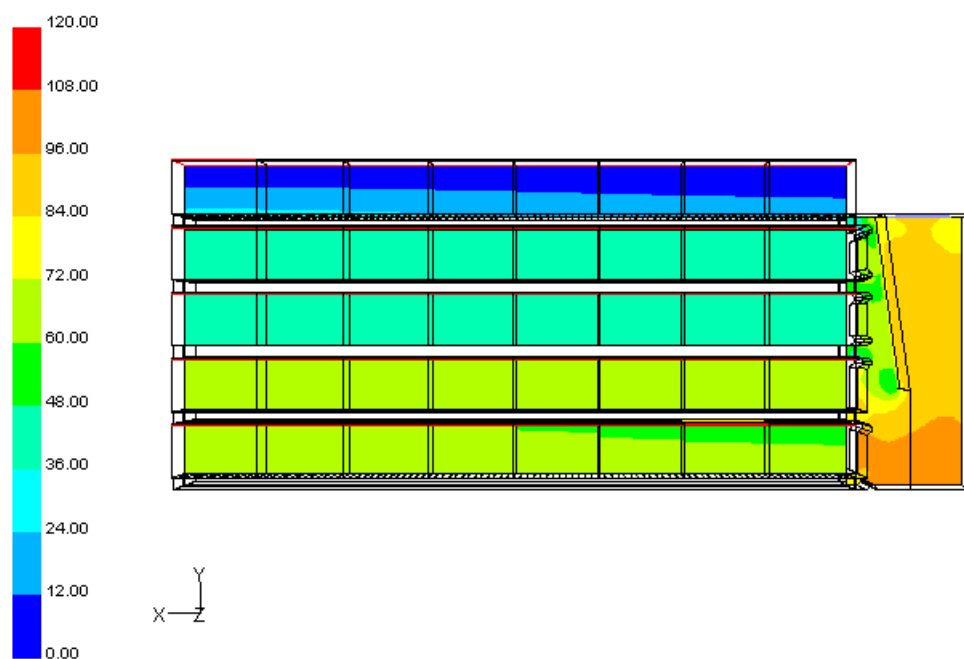
Figuur 88 *Statische druk (Pa) case 4E*



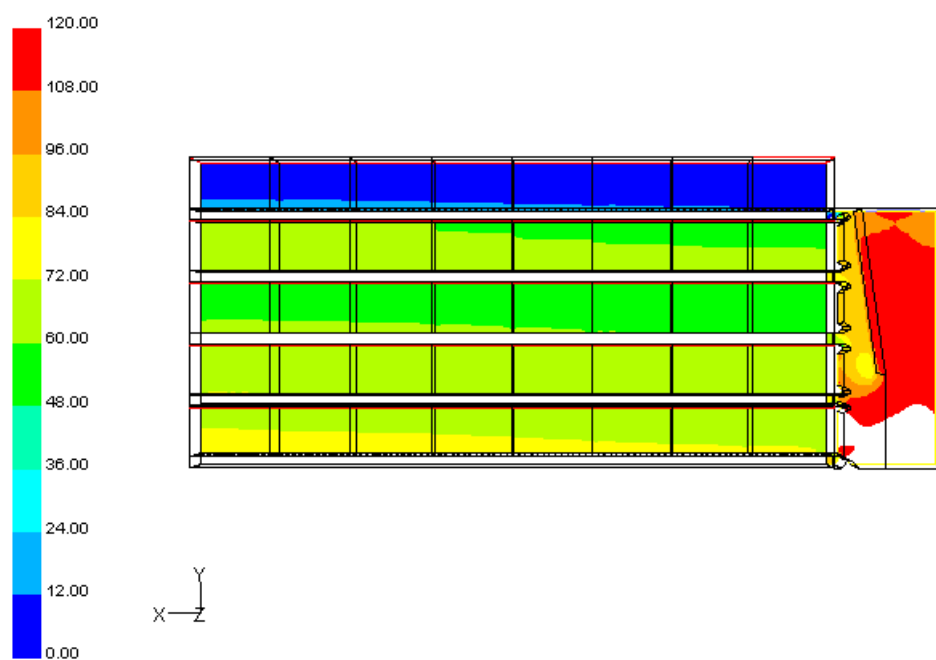
Figuur 89 *Statische druk (Pa) case 3Ba*



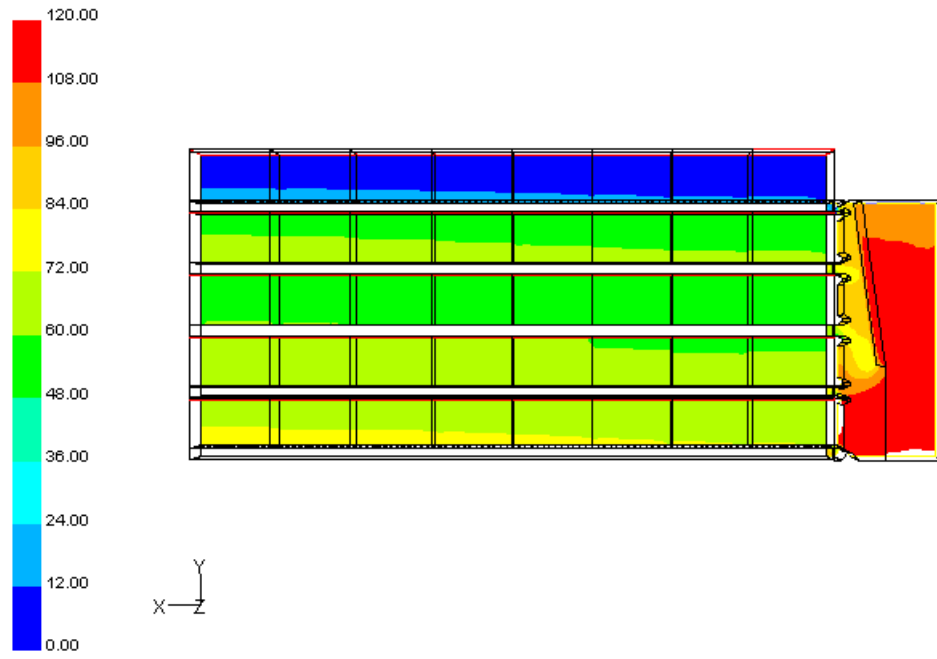
Figuur 90 *Statische druk (Pa) case 5A*



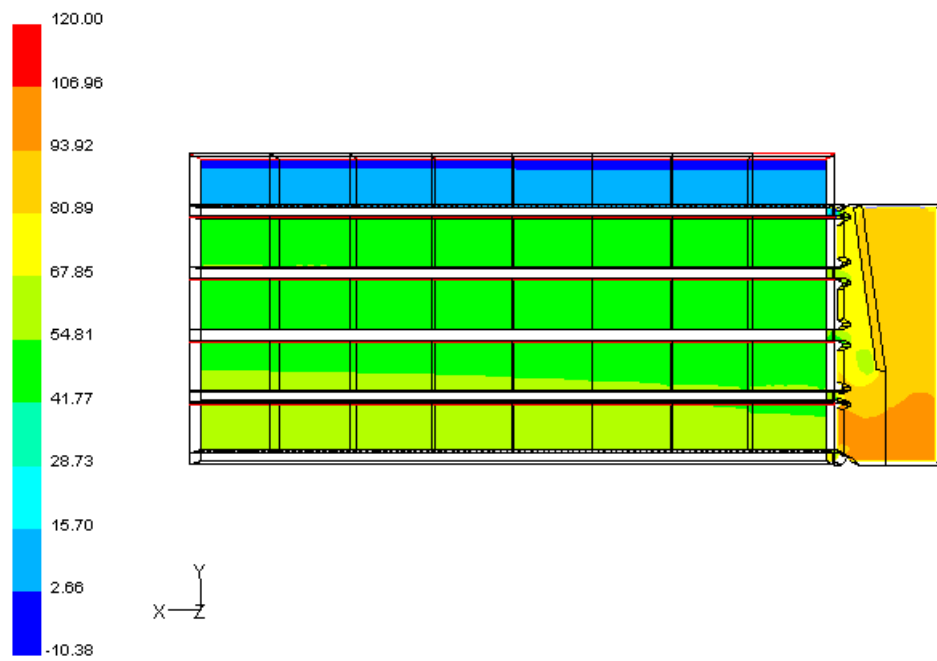
Figuur 91 *Statische druk (Pa) case 5B*



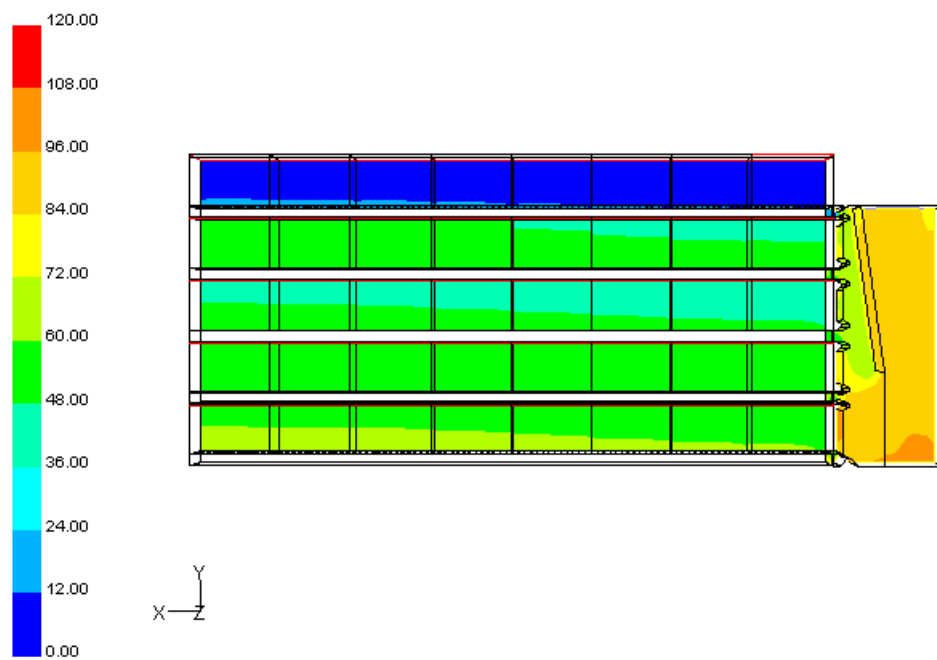
Figuur 92 *Statische druk (Pa) case 5C*



Figuur 93 *Statische druk (Pa) case 5D*



Figuur 94 *Statische druk (Pa) case 5E*



Figuur 95 *Statische druk (Pa) case 5F*