

## Ontwikkeling van een Hoog Isolerend Zigzag-vormig Kasdek met een Geoptimaliseerde Lichttransmissie

P.J. Sonneveld, J.J.G. Breuer, J.B. Campen, G.L.A.M. Swinkels en D. Waaijenberg





## Ontwikkeling van een Hoog Isolerend Zigzag-vormig Kasdek met een Geoptimaliseerde Lichttransmissie

P.J. Sonneveld, J.J.G. Breuer, J. B. Campen, G.L.A.M. Swinkels en D. Waaijberg



Oktober 2001

© 2001

Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG)  
Mansholtlaan 10-12, Postbus 43, 6700 AA Wageningen  
Telefoon 0317 – 476300  
Telefax 0317 – 425670  
[www.imag.wageningen-ur.nl](http://www.imag.wageningen-ur.nl)

Interne mededeling IMAG. Niets uit deze nota mag elders worden vermeld, of vermenigvuldigd op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van IMAG of de opdrachtgever. Bronvermelding zonder de feitelijke inhoud is evenwel toegestaan, op voorwaarde van de volledige vermelding van: auteursnaam, instituut en notanummer en de toevoeging: 'niet gepubliceerd'.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying or otherwise, without the prior written permission of IMAG.



## Inhoud

Samenvatting.....	4
1. Inleiding .....	5
2. Beschrijving van het Materiaal .....	6
2.1. Inleiding.....	6
2.2. Materiaalkeuze.....	6
2.3. Ontwikkelde vormen van de plaat.....	7
2.3.1. Enkelwandige platen.....	7
2.3.2. Dubbelzigzag profiel.....	8
2.3.3. Zigzag-vlak profiel.....	8
2.4. Sterkte van het kasdek.....	8
2.4.1. Inleiding.....	8
2.4.2. Dubbelzigzag-profiel.....	9
2.4.3. Zigzag-vlakprofiel.....	11
2.5. Coatings.....	14
2.5.1. Buitenzijde .....	14
2.5.2. Binnenzijde .....	16
2.6. Realisatie .....	17
2.7. Conclusies .....	17
3. Bepaling van de lichttransmissie .....	18
3.1 Inleiding.....	18
3.2 Beschrijving van het rekenmodel.....	18
3.3 Aannames .....	20
3.3.1. Floridakas .....	20
3.3.2. Standaardkas.....	21
3.4 Resultaten berekeningen.....	21
3.5 Meetresultaten lichtmetingen .....	23
3.5.1 Inleiding.....	23
3.5.2 Eerste fase: zigzag-hoek 60°.....	25
3.5.3 Tweede fase: zigzag-hoek 48°.....	27
3.5.4 Derde fase: zonder pigment.....	31
3.5.5 Vierde fase: invloed coatings .....	33
3.5.6 Vijfde fase: aerogel .....	35
3.6 Samenvatting en conclusies.....	36
4 Bepaling van de Warmtedoorgangscoefficiënt .....	38
4.1 Verificatie van het gebruikte CFD programma.....	38
4.2 De warmteoverdracht van een zigzagplaat .....	38
4.3 De invloed van een emissiecoating .....	41
4.4 Conclusies .....	41
5 Integratie in een Teeltsysteem.....	42
5.1 Inleiding.....	42
5.2 Keuze van de uiteindelijke vorm van het zigzagprofiel.....	42
5.3 Lichttransmissie.....	43
5.4 Energiebesparing .....	44
5.5 Verdere ontwikkeling.....	45
6. Conclusies.....	45
7. Aanbevelingen .....	46
8. Nawoord.....	46
9. Literatuur .....	47
10. Apendix Datasheet dubbelzigzag-materiaal .....	48



### Samenvatting

Door IMAG is samen met General Electric Plastics uit Bergen op Zoom een dubbelwandige kunststofplaat ontwikkeld met een zigzag-vormige doorsnede, waardoor de plaat een hoge isolatiewaarde combineert met een hoge lichtdoorlatendheid. Deze laatste waarde is vergelijkbaar met de directe en diffuse lichtdoorlatendheid van enkelglas. Voor het vaststellen van de optimale geometrie van de plaat is onderzoek uitgevoerd naar de lichtdoorlatendheid, de isolatiewaarde, de sterkte en doorbuiging, het materiaalverbruik en de te verwachten isolatiewaarde in een kas gedekt met dubbelwandige zigzag-platen. Voor zowel de bepaling van de sterkte van de zigzagplaat alsmede de bepaling van de lichttransmissie zijn rekenmodellen ontwikkeld. Aan de hand van deze modellen is het optimale profiel van de dubbelwandige plaat ontwikkeld. Vanuit de sterkte berekening is een zigzagvorm ontwikkeld met voldoende sterkte, een geringe doorbuiging bij belasting en gering materiaalgebruik. Door de goede mechanische eigenschappen is een directe overspanning mogelijk van de halve kapbreedte bij een kapbreedte van 4,80 m. Door de platen uit te voeren met een klikverbinding kunnen de roeden vervallen.

Het rekenmodel voor de lichttransmissie heeft geleid tot de zigzaghoek van  $48^\circ$  waardoor een hoge lichttransmissie bereikt wordt in combinatie met een goede reinigbaarheid. Een enkelwandige plaat met de zigzag-vorm en hoekoptimalisatie heeft een lichttransmissie van 88,9 % voor diffuus opvallend licht. Dit is een lichtwinst van 4,7% ten opzichte van een vlakke plaat.

Een dubbelwandige zigzagplaat heeft een lichttransmissie van 81% voor diffuus opvallend licht. Dit is een toename van 12,4 % ten opzichte van een standaard dubbelwandige kanaalplaat. Voor loodrecht opvallend licht is de lichttransmissie 90,2 %. Het verbeteren van de materiaalsamenstelling, namelijk het weglaten van pigment, heeft geresulteerd in 4% extra lichtwinst.

Door het aanbrengen van een antireflectiecoating kan de lichtdoorlatendheid met 2-5% verhoogd worden. Nog eens 1-2% lichtwinst kan bereikt worden door roeloes te "beglazen", namelijk de zijdelingse verbinding van de kunststofplaten gebeurt dan met een klikverbinding. De isolatiewaarde bij de gekozen optimale geometrie van de plaat is  $3,4 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Dit is een reductie van 45 % ten opzichte van een enkelglas bedekking. De optimale vorm van de plaat is een modulumaat van de zigzag-vorm van 50 mm (2x de tussenschotjesafstand) bij een plaatdikte van 25 mm en een helling van de zigzag-vorm van  $48^\circ$ .

Er is een lichtwinst van tenminste 2 % en afhankelijk van de oriëntatie is 's winters een lichtwinst van 4 - 6 % mogelijk. Voor het ontwerp en het produceren van de zigzag-platen is nationaal een octrooi verleend en internationaal octrooi aangevraagd.

De overall-conclusie uit het onderzoek luidt dat het bestudeerde concept belangrijke energiebesparingen van 20 % kan opleveren voor de teelten die veel energie vragen en dat toepassing in de tuinbouw mogelijk is. De genoemde energie besparing kan naar verwachting oplopen tot 30 % wanneer de zigzagkas is uitgevoerd met ontvochtiging door energiezuinige warmte terugwinning uit ventilatielucht door inbouw van een warmtewisselaar. Een dubbelwandige dek resulteert in minder condensatie en daarom in meer vocht in de kaslucht, waardoor er ook meer gelucht zal moeten worden. Met een demonstratieproject kan de invoer van dit kasdek in de praktijk versneld plaatsvinden.



### 1. Inleiding

Op nationaal en internationaal niveau zijn afspraken gemaakt over de mate waarin het energiegebruik en de CO<sub>2</sub>-uitstoot teruggedrongen moeten worden. De meerjarenafpraak "MJA-E Glastuinbouw", heeft als doelstelling dat tot en met het jaar 2000 het energiegebruik per eenheid product zal moeten dalen tot 50% ten opzichte van 1980. De nationale doelstelling voor CO<sub>2</sub>-uitstoot omvat een afname met 3 tot 5% ten opzichte van 1990. Novem/PT is in het kader van de meerjarenafpraak "MJA-E Glastuinbouw" actief betrokken bij de realisering van de energie-efficiëntie doelstellingen. Vanwege het grote energiebesparings- en economische potentieel heeft het ontwikkelen van kasdekken waarmee primaire energie bespaard kan worden en de CO<sub>2</sub>-uitstoot sterk kan worden teruggedrongen, hoge prioriteit. De meerjarenafpraak is momenteel overgegaan in het glastuinbouw en milieu convenant waarbij naast een energiebesparing van 65 % in 2010 de inzet van 4 % duurzame energie ten opzichte van 1986 een doelstelling is.

Naar verwachting is met traditionele technieken (Bakker et al., [4]) nog een toename in lichttransmissie van ca. 3 % mogelijk door een grotere spantoverspanning en combinaties van glas en kunststof. Verder is er met dubbele kas dekken en energieschermen maximaal 31 % reductie mogelijk op de warmte-energie verbruik. Een dubbele kasbedekking resulteert echter tevens in een additioneel lichtverlies. Omdat de opbrengst van de kas bij benadering evenredig is met de lichthoeveelheid, is bij de huidige energieprijzen een afname van 1 % lichttransmissie alleen acceptabel wanneer de energiebesparing tenminste 5 % bedraagt. Bij invoering van een dubbelglas dek is het extra lichtverlies ca. 10 % terwijl de besparing van warmte-energie ca. 30 % bedraagt, zodat deze techniek op zich niet leidt tot een rendabele investering.

Bij het invoeren van een dubbelkunststof kasdek kan het lichtverlies minder zijn, afhankelijk van het toegepaste materiaal is het lichtverlies 6-10% (Waaijbergen, [5]), waardoor het toepassen in sommige gevallen rendabel kan zijn. Samenvattend blijkt de toepassing van hoog isolerende kasdekken in de Nederlandse glastuinbouw geremd te worden door de over het algemeen lagere lichttransmissie bij gebruik van de nu beschikbare materialen waardoor productieverlies optreedt.

Binnen IMAG B.V. Wageningen is met berekeningen aangetoond [1-3] dat er een toename van de lichttransmissie mogelijk is voor zowel loodrecht opvallend als diffuus licht door een speciale vormgeving van het dekmateriaal. Deze vormgeving bestaat uit een bepaalde dubbele zigzag-structuur waardoor een groot deel van het gereflecteerd licht opnieuw voor transmissie aangeboden wordt. Enkele knelpunten die in het onderzoek opgelost moeten worden zijn: Materiaalkeuze, vaststellen van de optimale vorm voor zowel lichttransmissie en een voldoende sterke overspanning zonder metalen roeden, de prijs van het kasdek en de reinigbaarheid van het kasdek.

Het project moet leiden tot een nieuw hoog isolerende materiaal voor kasdek toepassingen met een optimale lichttransmissie. Door kunststof materiaal een bepaalde zigzag vormgeving te geven en dubbeldeks uit te voeren ontstaat het gewenste kasdek. De toename van de lichttransmissie door de zigzag vormgeving kan het lichtverlies door een dubbel kasdek compenseren. Naast de genoemde extra deklaag is er een extra warmte isolatie te bereiken met een infrarood emissiecoating en/of aërogelmateriaal. Door de hoge mechanische sterkte en slagvastheid van het nieuwe materiaal en de speciale vormgeving is het materiaal zeer geschikt voor grote overspanningen. Omdat hierdoor minder constructieve delen nodig zijn, leidt dit eveneens tot een verhoogde lichttransmissie.



## 2. Beschrijving van het Materiaal

### 2.1. Inleiding

In deze studie zijn relevante materiaaleigenschappen vergeleken van transparante kunststoffen die voor kasdekmaterialen geschikt zijn. Aan de hand van deze materiaaleigenschappen is het kasdek ontworpen met als voorwaarde dat een vrije overspanning van een halve kapbreedte van 4,8 m mogelijk moet zijn zonder verdere ondersteuning van roeden. Een overspanning van 4,8 m is momenteel de grootst mogelijke gangbare maat zodat hierdoor de platen gebruikt kunnen worden voor alle andere overspanningen. Door klick-verbindingen kunnen de platen verbonden worden waardoor een vrijdragend kasdek ontstaat. Aan de hand van de materiaaleigenschappen is de sterkte van het kasdek berekend als functie van de afmetingen van de kanaalplaat. Doordat deze berekeningen vooraf mogelijk zijn, is het materiaalverbruik, de doorbuiging en de bijbehorende materiaalspanningen als functie van de optredende belastingen te voorspellen. In paragraaf 2.2.1 is de gunstige werking van de zigzag-structuur op de lichttransmissie inzichtelijk gemaakt. Omdat de verwachting is dat vervuiling een grote rol kan spelen is naast een dubbelzigzag constructie tevens een zigzag-vlak profiel ontwikkeld waarbij het vlakke deel van de plaat aan de buitenzijde geplaatst wordt.

### 2.2. Materiaalkeuze

In Tabel 2-1 is een samenvatting gegeven van de relevante materiaaleigenschappen van de meest gebruikte materialen voor kanaalplaten, namelijk polymethylmethacrylaat (PMMA) en polycarbonaat (PC). De belangrijkste verschillen zijn de lagere lichttransmissie, de betere slagvastheid en de hogere brandbestendigheid voor polycarbonaat. Het eerste nadeel kan in hoge mate ondervangen worden door een speciale kasdekvorm waardoor de lichttransmissie toeneemt.

Tabel 2-1 Relevante materiaaleigenschappen voor polymethylmethacrylaat en polycarbonaat

Materiaal	Polymethylmethacrylaat (PMMA)(16 mm Alltop, Röhm)	Polycarbonaat (PC) (10 mm LTC 10, Lexan, GE)
Lichttransmissie		
$\tau_{loodrecht}$ [%]	86-89	80
$\tau_{diffuus}$ [%]	76-79	68
Lichtverlies in 10 jaar (max) [%]	2	2
Sterkte –trek (bij 23 °C) [N/mm <sup>2</sup> ]	72	60
–trek (bij 70 °C) [N/mm <sup>2</sup> ]	35	50
–slagbestendigheid (hagel)	slecht	goed
Elasticiteitsmodulus [N/mm <sup>2</sup> ]		2,35
Dichtheid [Kg/m <sup>3</sup> ]		
Brandbestendigheid	Slecht	Zelfdovend
Krasvastheid	Matig	Matig
Kosten per oppervlakte eenheid (in vergelijking met enkelglas bij dezelfde materiaaldikte)	2	4

Zoals hieruit af te lezen is heeft het materiaal polycarbonaat een aantal voordelen ten opzichte van het materiaal polymethylmethacrylaat, echter er zijn ook nadelen. PC als basismateriaal heeft een zeer goede slagvastheid. Door deze eigenschap wordt dit materiaal in het algemeen toegepast op die plaatsen waar glas niet toegestaan is in verband met mogelijke glasbreuk, zoals voor de beglazing van deuren. Door de hoge slagvastheid kan de bovenhuid van de dubbelwandige plaat van PC dunner uitgevoerd worden dan bij PMMA,



waarbij voldoende veiligheid tegen hagelschade gewaarborgd is. Verder is het materiaal elastischer dan PMMA, waardoor het mogelijk is om de langsijden van de te ontwikkelen plaat te voorzien van klikverbindingen, waardoor geen glasroeden meer nodig zijn om de plaat te dragen. Dat heeft uiteraard een positieve invloed op de lichtdoorlatendheid.

Zoals aangegeven in tabel 2-1 gedraagt PC zich beter dan PMMA in geval van brand. Met het materiaal PMMA zijn in het verleden een aantal grote en gevaarlijke branden opgetreden. Het materiaal PC kan men weliswaar ontsteken, maar in tegenstelling tot PMMA heeft PC een zelfdovende werking.

Als nadelen van het materiaal PC zijn te noemen: de lagere lichtdoorlatendheid en de gevoeligheid voor veroudering (vergelting) van PC ten opzichte van PMMA. Om de veroudering tegen te gaan worden standaard platen voorzien van een UV-absorberende coating. Zo wordt een gegarandeerde levensduur van tien jaar opgegeven door de fabrikant van PC-platen. Dit is vergelijkbaar met PMMA-platen. Voor het zigzag materiaal is de keus op Polycarbonat gevallen door de betere slagvastheid en de goede zelfdovende eigenschappen.

Tijdens het onderzoek is duidelijk geworden dat er aan de samenstelling van het PC materiaal nog verbeteren mogelijk zijn voor de toepassing als kasomhullingsmateriaal. Standaard worden aan de PC-platen die bestemd zijn voor woning- of utiliteitsbouw gekleurde pigmenten toegevoegd. Deze pigmenten worden alleen om cosmetische redenen toegevoegd aan de platen en zijn niet nuttig en noodzakelijk voor de plantengroei in een kas. Ze kunnen dus gemist worden in de platen bestemd voor kassen. Door het weglaten van deze pigmenten wordt de lichtdoorlatendheid van de PC-platen belangrijk verhoogd (zie verder onder hoofdstuk 3.5).

### 2.3. Ontwikkelde vormen van de plaat

#### 2.3.1. Enkelwandige platen

Als een lichtstraal op een vlak valt wordt een gedeelte hiervan doorgelaten en een ander deel wordt gereflecteerd (zie figuur 2-1 boven). Dit gereflecteerde licht komt niet in de kas en gaat dus verloren. Door het toepassen van een zigzag-vorm voor de doorsnede van een kunststofplaat voor kassen treffen een gedeelte van de gereflecteerde lichtstralen een ander deel van de plaat, zodat deze alsnog gedeeltelijk worden doorgelaten door de plaat (zie figuur 2-1 onder).

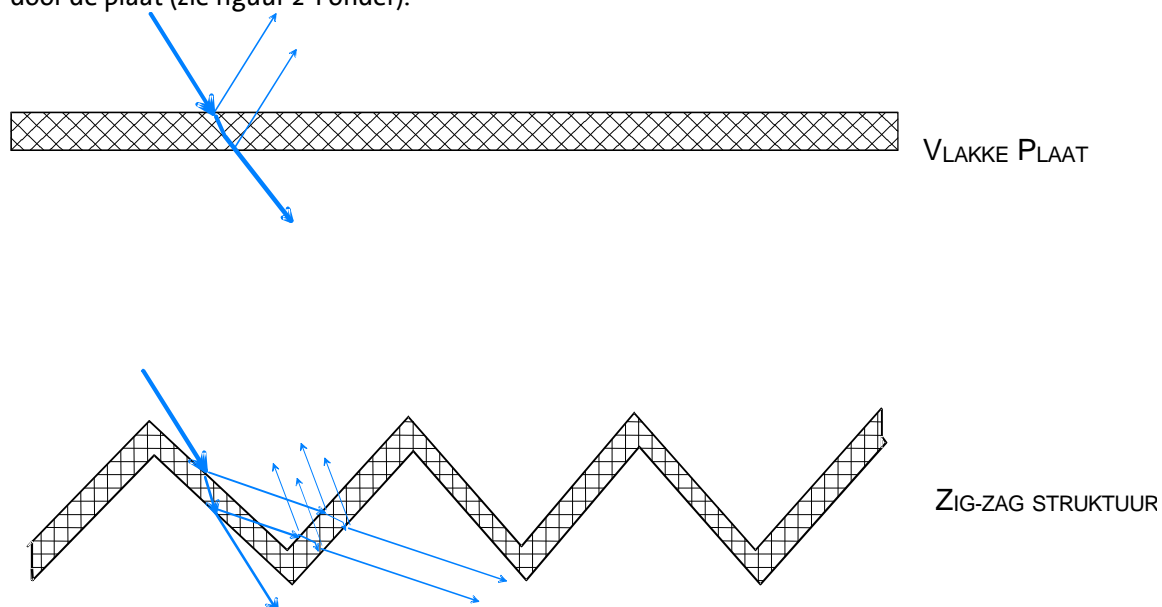


Fig. 2-1 Vergelijking van de lichtinval en reflectie van een vlakke plaat en een zigzag-vormige plaat

Hierdoor ontstaat belangrijke lichtwinst door het materiaal als gevolg van de gewijzigde geometrie van de platen. IMAG heeft in dit onderzoek berekeningen en beproevingen uitgevoerd om de meest optimale vorm van een zigzag-plaat voor kassen vast te stellen. Variabelen zijn: 1.) de moduulmaat van de zigzag-vorm (de



schotjesafstand), 2.) de plaatdikte, 3.) de dikten van de samenstellende delen van de plaat, 4.) de hellingshoek van de zigzag-vorm, 5.) de materiaalsamenstelling (wel of geen pigmenten) en de 6.) coatings. Van belang bij de ontwikkeling van de geometrie van de platen zijn verder naast de invloed op de lichtdoorlatendheid en de isolatiewaarde: de sterkte en doorbuiging van de zelfdragende platen en de fabricagemogelijkheden.

### 2.3.2. Dubbelzigzag profiel

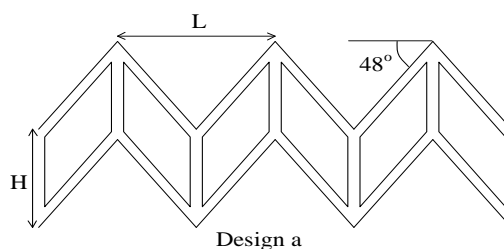


Fig. 2-2 Dwarsdoorsnede van het dubbelzigzag profiel uitgevoerd als kanaalplaat

Bij de ontwikkeling van de zigzagplaten is al snel gekeken naar de dubbelwandige platen. Met name vanwege de gevraagde energiebesparing voor een kasdek. Er zijn een tweetal mogelijke vormen ontwikkeld, namelijk de zgn. dubbelzigzag-vorm (zie fig. 2-2) en de vorm, waarbij de buitenhuid vlak is en de binnenhuid een zigzag-vorm heeft. Dit is het zgn. zigzag-vlak profiel (zie fig. 2-3).

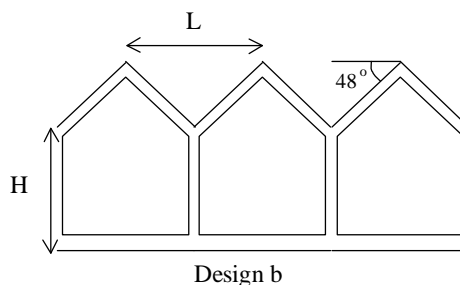


Fig. 2-3 Dwarsdoorsnede van het zigzag-vlak profiel uitgevoerd als kanaalplaat

### 2.3.3. Zigzag-vlak profiel

Deze vorm is ingegeven vanwege het gemakkelijker productieproces en het eenvoudiger aan kunnen brengen van coatings op de vlakke kant van de plaat. Een aantal mogelijke vormen van zigzag-vlak profielen zijn onderzocht wat betreft de lichtdoorlatendheid, de isolatiewaarde en het materiaalgebruik.

## 2.4. Sterkte van het kasdek

### 2.4.1. Inleiding

Om de optimale geometrie van de plaat met zigzag-vorm te kunnen vastleggen is de sterkte, maximale doorbuiging bij belasting en het materiaalverbruik onderzocht. De sterkte en doorbuiging bij minimaal





materiaalverbruik is belangrijk omdat de platen in staat moeten zijn om zonder aanvullende constructiedelen de optredende belastingen te kunnen dragen (platen zelfdragend).

Voor de bepaling van het materiaalgebruik, sterkte en de maximale doorbuiging van het zigzag-materiaal is met behulp van het programma Mathcad een model ontwikkeld, waarmee de genoemde parameters zijn te berekenen. Voor de berekening van de sterkte is uitgegaan van een gootafstand van 4,80 m. Dit betekent een vrije overspanning voor de halve kapmaat van ca. 2,50 m van goot naar nok. Volgens de Nederlandse tuinbouwnorm NEN 3859 [11] is de maximale sneeuwbelasting 25 kgf/m<sup>2</sup> en de windbelasting varieert tussen 55 en 65 Kg/m<sup>2</sup> (afhankelijk van de hoogte van de kas). Als maximale gelijkmatig verdeelde belasting is voor de berekening aangehouden 100 kg/m<sup>2</sup>. Omdat de dakelementen roedenloos uitgevoerd worden zal het kasdek materiaal deze belasting volledig moeten kunnen dragen zonder te grote optredende doorbuigingen.

Voor polycarbonaat is de maximaal toelaatbare spanning  $\sigma_{\max} = 63 \text{ N/mm}^2$ . Voor de berekeningen is uitgegaan van een maximale belastingsfactor van 1,5 (veiligheidscoëfficiënt). Als maximaal toelaatbare doorbuiging onder belasting is aangehouden 100 mm, zijnde 1/25 van de vrije overspanning van 2,50m.

### 2.4.2. Dubbelzigzag-profiel

Het materiaalverbruik voor het dubbelzigzag-profiel (zie Fig. 2-2) is weergegeven in Fig. 2-4 als functie van de hoek van het zigzag-profiel. Het materiaalverbruik is een belangrijke factor voor de kostprijs waardoor binnen de gegeven mogelijkheden dit zo laag mogelijk gehouden dient te worden. De berekening is uitgevoerd bij een wandmateriaaldikte van 0,9 mm, de dikte van de luchtspouw  $d_2 = 25 \text{ mm}$  en de dikte van de tussenschotjes  $d_3 = 0,8 \text{ mm}$ . De variabelen zijn: de hoek van het zigzag profiel en de afstand tussen de tussenschotjes.

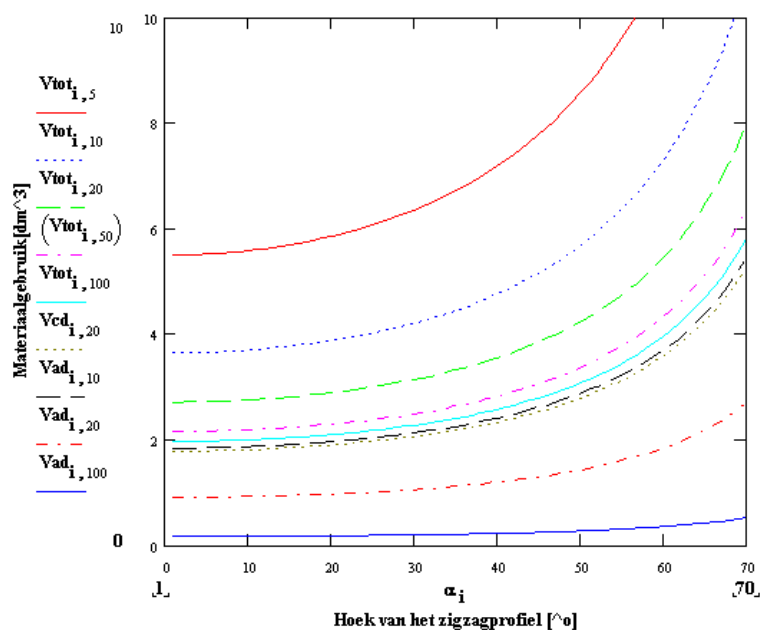


Fig 2-4 Materiaalgebruik ( $V_{tot}$ ) als functie van de hoek van het zigzag-materiaal bij een afstand van de tussenschotjes van 5, 10, 20, 50 en 100 mm met binnen- en buitenplaat dikte  $d_1 = 0,9 \text{ mm}$ , dikte van de luchtspouw  $d_2 = 25 \text{ mm}$  en dikte van de tussenschotjes  $d_3 = 0,8 \text{ mm}$  (materiaalverbruik tussenschotjes  $V_{ad}$  en buitenoppervlak  $V_{cd}$ ).

De in het materiaal optredende spanning is in Fig. 2-5 weergegeven bij een constante dikte van de luchtspouw van 25 mm. De spanning in het materiaal neemt toe bij grotere afstand tussen de schotjes onderling. De maximale materiaalspanning blijft echter onder de maximaal toelaatbare spanning van polycarbonaat. Zoals weergegeven in Fig. 2-5 is de materiaalspanning het grootste bij hoeken van ca. 20° en een grote afstand tussen de tussenschotjes (100 mm). Bij grote zigzaghoeken neemt de materiaalspanning weer sterk af.

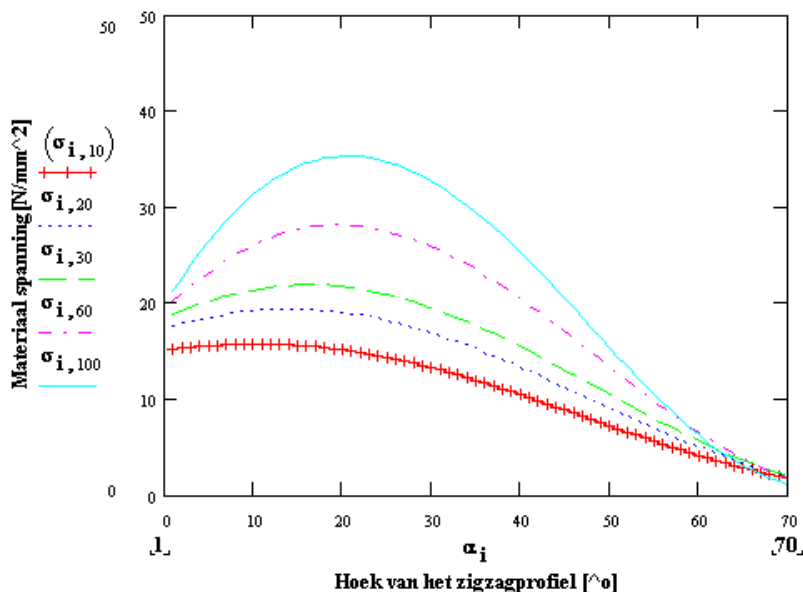


Fig 2-5 Materiaalspanning als functie van de hoek van het zigzag materiaal. bij een afstand van de tussenschotjes van 10, 20, 30, 60 en 100 mm met binnen- en buitenplaat dikte  $d_1=0,9$  mm, dikte van de luchtspouw  $d_2=25$  mm en dikte van de tussenschotjes  $d_3=0,8$  mm.

Figuur 2-6 geeft aan de maximale doorbuiging van de plaat als functie van de hoek van het zigzag-profiel bij een variërende afstand van de tussenschotjes en een constante dikte van de luchtspouw van 25 mm. Door een te grote optredende doorbuiging bij belasting kan het materiaal uit de sponning schieten. Daarom is een doorbuiging van meer dan 100 mm ongewenst. De maximale doorbuiging (zie Fig. 2-6) is het grootste bij kleine hoeken van het zigzagprofiel en neemt sterk af met toenemende hoeken. Dit is te verklaren doordat hierdoor de totale dikte en dus de stijfheid van het profiel sterk toeneemt.

Bij afnemende dikte van de luchtspouw neemt de doorbuiging van de plaat sterk toe, hetgeen blijkt uit Fig. 2-7. Dit is de maximale doorbuiging als functie van de dikte van de luchtspouw bij constante afstand van de tussenschotjes. Bij een afname van de dikte van de luchtspouw van 25 naar 15 mm neemt de doorbuiging toe van 75 mm naar 200 mm. Daarom is een grote luchtspouw van belang om met een gering materiaalverbruik een grote stijfheid van het materiaal te bereiken.

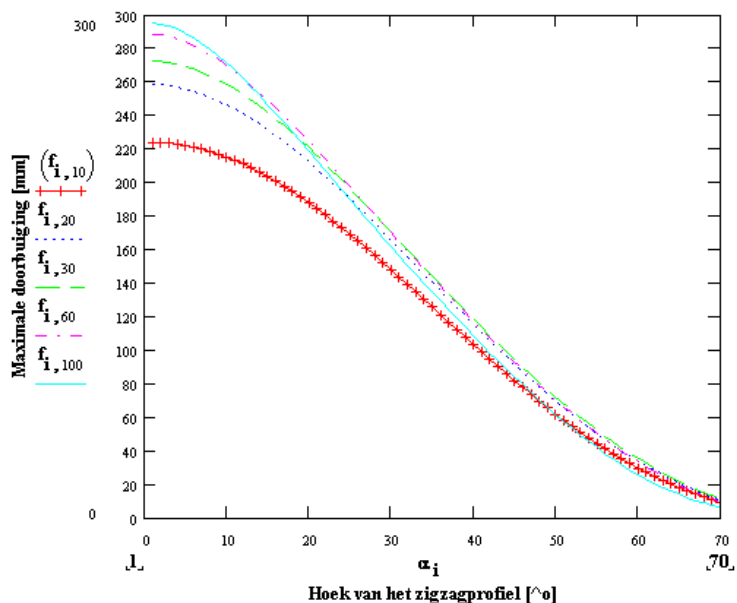




Fig 2-6 Maximale doorbuiging als functie van de hoek van het zigzag-materiaal. bij een afstand van de tussenschotjes van 10, 20, 30, 60 en 100 mm met binnen- en buitenplaat dikte  $d_1=0,9$  mm, dikte van de luchtsponw  $d_2=25$  mm en dikte van de tussenschotjes  $d_3=0,8$  mm.

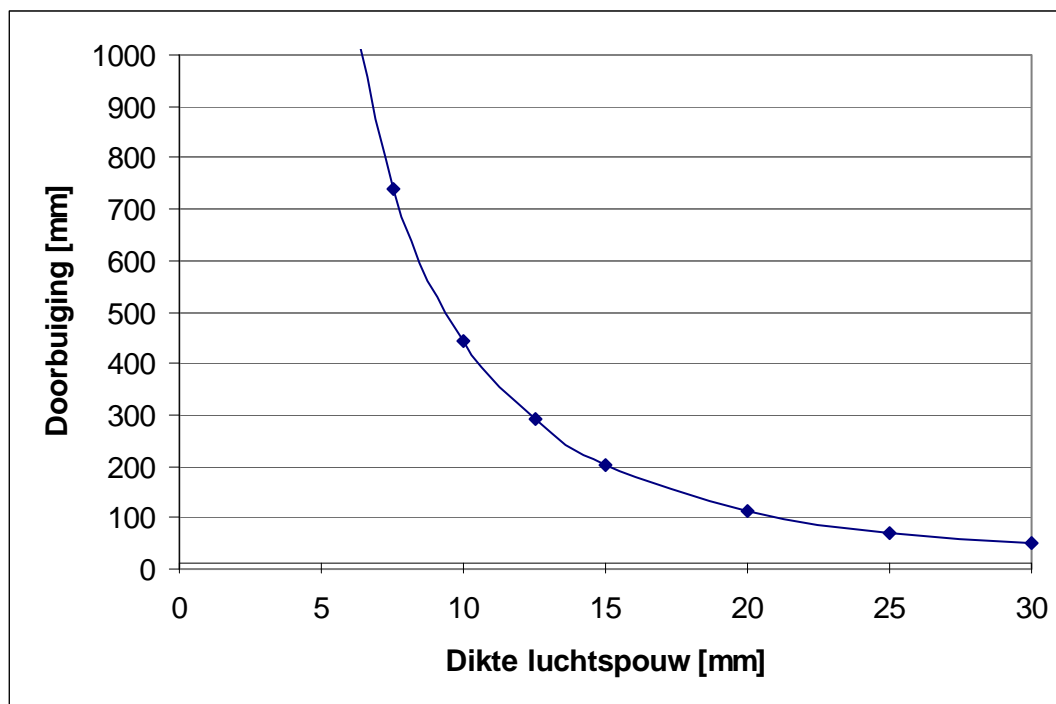


Fig 2-7 Maximale doorbuiging als functie van de dikte van de luchtsponw. De afstand tussen de tussenschotjes is 25 mm, de hoek is  $50^\circ$ ; de binnen- en buitenplaat dikte is  $d_1=0,9$  mm en de dikte van de tussenschotjes  $d_3=0,8$  mm.

### 2.4.3. Zigzag-vlakprofiel

Het materiaalverbruik voor het zigzag-vlakprofiel is weergegeven in Fig. 2-8 als functie van de hoek van het zigzag-profiel. De berekening is uitgevoerd bij een wandmateriaaldikte van 1,0 mm voor de buitenzijde en 0,8 mm voor de binnenzijde, de dikte van de luchtsponw  $d_2 = 25$  mm en de dikte van de tussenschotjes  $d_3=0,8$  mm. De variabelen zijn: de hoek van het zigzag-profiel en de afstand tussen de tussenschotjes.

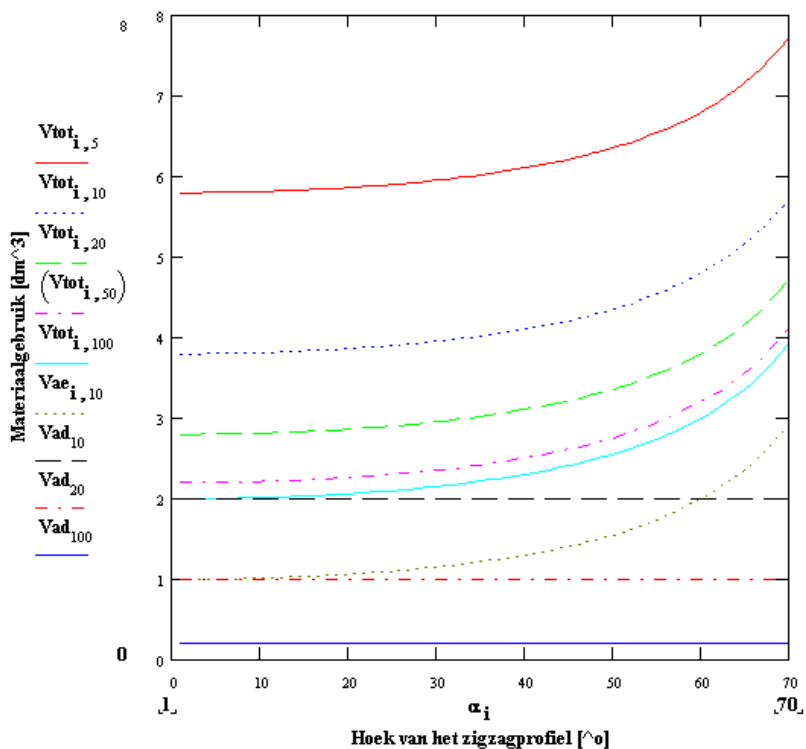


Fig 2-8 Materiaalgebruik ( $V_{tot}$ ) als functie van de hoek van het zigzag-materiaal bij een afstand van de tussenschotjes van 5, 10, 20, 50 en 100 mm met buitenplaat dikte  $d_1=1\text{mm}$  en binnenplaat dikte  $0,8\text{ mm}$ , dikte van de luchtspouw  $d_2=25\text{ mm}$  en dikte van de tussenschotjes  $d_3=0,8\text{ mm}$  (materiaalverbruik tussenschotjes  $V_{ad}$  en buitenoppervlak  $V_{cd}$ ).

De in het materiaal optredende spanning is in Fig. 2-9 weergegeven. De maximale materiaalspanning blijft bij de eerder genoemde gegevens onder de maximaal toelaatbare spanning van polycarbonaat en is lager dan bij de dubbelzigzag-plaat. Bij toenemende afstand van de tussenschotjes onderling en een constante dikte van de luchtspouw van 25 mm neemt de spanning in het materiaal snel toe. De materiaalspanning is maximaal bij een zigzag-hoek van ca.  $30^\circ$  en een grote afstand tussen de tussenschotjes (100 mm).

Figuur 2-10 geeft aan de maximale doorbuiging van de plaat als functie van de hoek van het zigzag-profiel bij een variërende afstand van de tussenschotjes en een constante dikte van de luchtspouw van 25 mm. De maximale doorbuiging (zie Fig. 2-6) is ook hier het grootste bij kleine hoeken van het zigzagprofiel en neemt sterk af met toenemende hoeken. Dit is te verklaren doordat hierdoor de totale dikte en dus de stijfheid van het profiel sterk toeneemt.

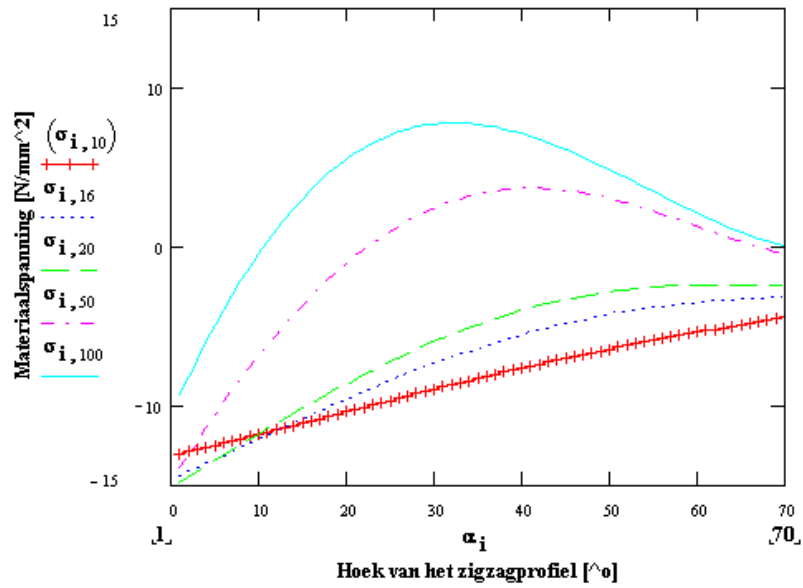


Fig 2-9 Materiaalspanning ( $\sigma$ ) als functie van de hoek van het zigzag-materiaal bij een afstand van de tussenschotjes van 10, 16, 20, 50 en 100 mm met buitenplaat dikte  $d_1=1\text{mm}$  en binnenplaat dikte  $0,8\text{ mm}$ , dikte van de luchtsouw  $d_2=25\text{ mm}$  en dikte van de tussenschotjes  $d_3=0,8\text{ mm}$ .

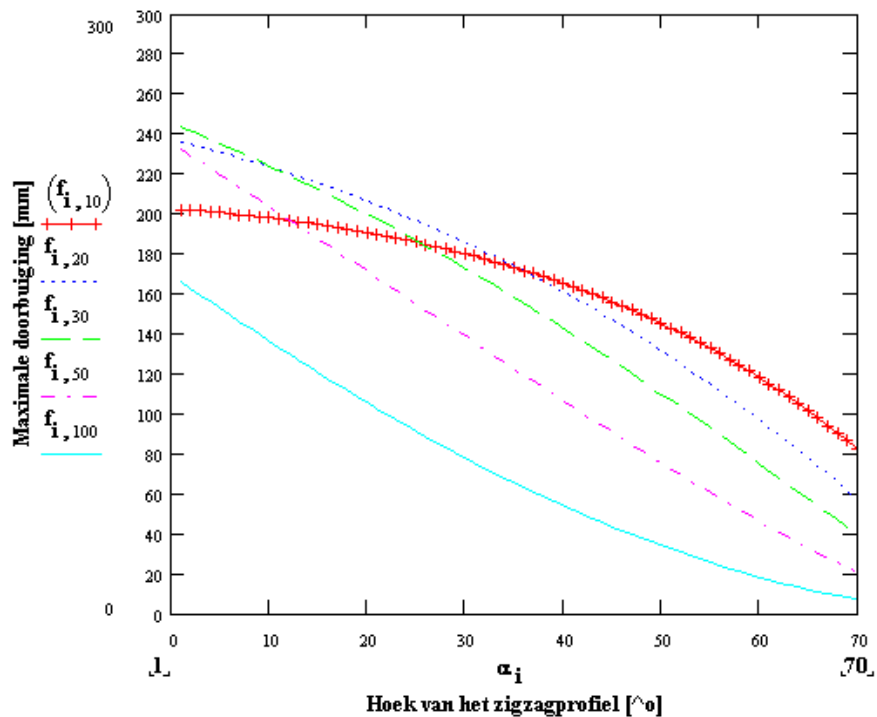


Fig 2-10 Maximale doorbuiging ( $f$ ) als functie van de hoek van het zigzag-materiaal bij een afstand van de tussenschotjes van 10, 20, 30, 50 en 100 mm met buitenplaat dikte  $d_1=1\text{mm}$  en binnenplaat dikte  $0,8\text{ mm}$ , dikte van de luchtsouw  $d_2=25\text{ mm}$  en dikte van de tussenschotjes  $d_3=0,8\text{ mm}$ .



### 2.5. Coatings

Productietechnisch zijn er een aantal mogelijkheden om coatings aan te brengen op de platen. Deze coatings zijn noodzakelijk / gewenst:

- voor de noodzakelijke bescherming van PC tegen UV-veroudering;
- om de meest optimale lichttransmissie van de zigzag-structuur te bereiken;
- om vervuiling tegen te gaan (zelfreinigende werking);
- om de vorming van ongunstige condensdruppelvormen tegen te gaan (anti-condens werking).

Om de verbetering van de lichtdoorlatendheid te realiseren is door de fabrikant van de PC-platen General Electric Plastics een fluorpolymeer-coating ontwikkeld. Door de lage brekingsindex kan de lichttransmissie verhoogd worden door deze anti-reflectiecoating.

#### 2.5.1. Buitenzijde

##### Fluorpolymeer coating

De buitenzijde van de zigzagplaat wordt gecoat met een fluorpolymeer coating met een grote contacthoek met water. Hierdoor wordt het materiaal sterk water- en vuilafstotend. Hierdoor krijgen de platen goed reinigende eigenschappen. De fluorpolymeer coating is gecombineerd met een UV-coating voor het PC-materiaal, waardoor snelle veroudering en vergeling tegengegaan wordt.

##### SnO<sub>2</sub> emissiecoating op polycarbonaat

Uitgangspunt is een relatief dunne laag SnO<sub>2</sub> op een plaat van polycarbonaat, enkelzijdig. Gekozen is voor de bovenzijde. Het coaten van boven- of onderzijde is voor transmissie niet van belang, maar wel voor de verhouding reflectie-absorptie, hoewel over het algemeen de verschillen klein zullen zijn.

Aangezien momenteel voor polycarbonaat de brekingsindex alleen op ca. 500-700 nm bekend is (in de MacLeod-software), zullen de resultaten buiten dat bereik minder betrouwbaar zijn. Onderaan de tabel is de gemiddelde waarde per kolom gegeven (rekenkundig gemiddelde, dus zonder weegfactoren).

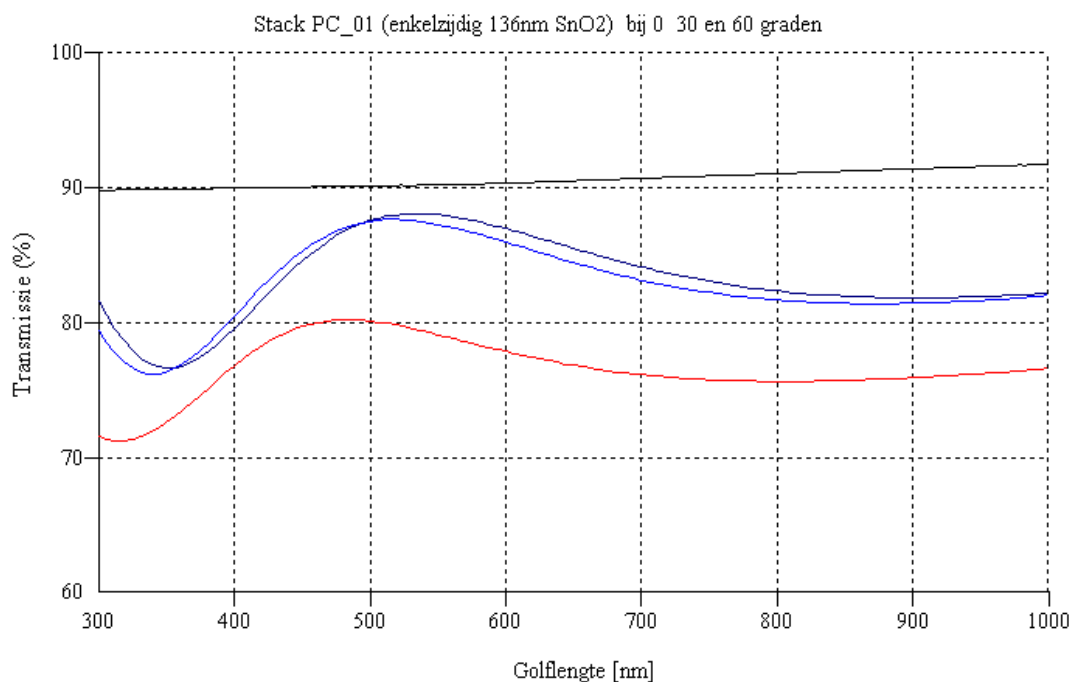
De dikte van de coating (136 nm), is geoptimaliseerd voor een maximale transmissie op 400-800 nm. Voor de dikte van de plaat is 1 mm aangehouden, maar aangezien in de huidige berekeningen de plaat verliesvrij is verondersteld, maakt de dikte nu dus in feite niet uit.

Voor diffuse transmissie zijn uiteraard hoeken van inval tussen 0 en 90° mogelijk. De diffuse transmissiecoëfficiënt is nu te berekenen uit:

$$\tau_d = \int_0^{\pi/2} \tau_\theta \sin \theta \cos \theta d\theta \quad (1)$$

waarin  $\theta$  de hoek van inval is, en  $\tau_\theta$  de transmissiecoëfficiënt bij die hoek. Merk op dat voor hoeken 0° en 90° de transmissiecoëfficiënt niet bijdraagt aan  $\tau_d$  (respectievelijk sinus en cosinus zijn gelijk aan nul)! De grootste bijdrage treedt op voor een hoek van 45°. In Figuur 2-11 is daarom naast loodrechte inval ook een inval onder 30° en 60° opgenomen. Verder is in deze figuur de transmissie voor ongecoat polycarbonaat te zien.

Daar de coating ook in het zichtbare gebied een beetje absorbeert, en bovendien een brekingsindex heeft die hoger is dan die van de plaat zelf, is de transmissie voor gecoate plaat slechter dan voor de ongecoate plaat.

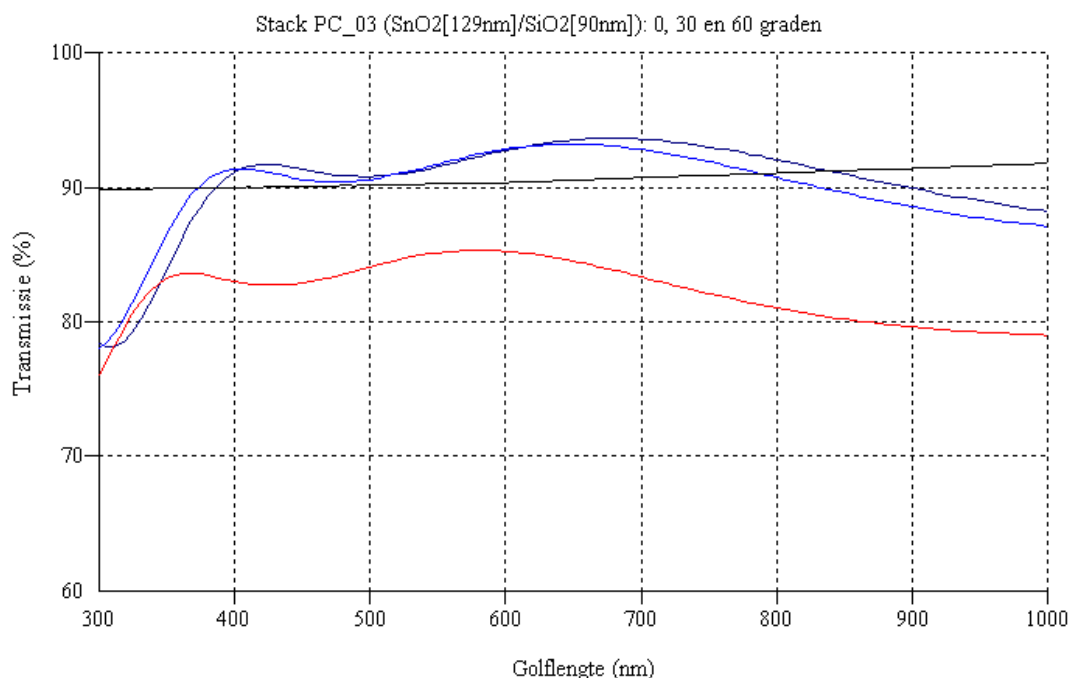


Figuur 2-11 Gemiddelde transmissie door 1mm polycarbonaat, bovenzijde gecoat met 136 nm SnO<sub>2</sub>;  
golvende curves: van boven naar beneden (zwart, blauw, rood) resp. bij 0, 30 en 60° hoek van inval;  
bovenste rechte lijn: ongecoate folie (hoek van inval 0°).

### SnO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> emissiecoating op polycarbonaat

De transmissie kan enorm verbeterd worden, wanneer de SnO<sub>2</sub> coating (die een relatief hoge brekingsindex heeft) afgedekt wordt met een coating met een lage brekingsindex, zoals SiO<sub>2</sub>.

Figuur 2-12 laat de transmissie als functie van de golflengte zien voor een polycarbonaatplaat, aan de bovenzijde gecoat met achtereenvolgens 129 nm SnO<sub>2</sub> en 90 nm SiO<sub>2</sub>. De coatingdiktes zijn daarbij geoptimaliseerd op een maximale transmissie voor de golflengtes 400-800 nm. Beneden de 400 nm loopt de transmissie dan ook flink terug. Ook boven 800 nm loopt de transmissie iets terug. De transmissiecurves lijken op een omgekeerde W; deze dubbele coating benadert inderdaad een zogenaamde "W-coating" (bestaande uit een  $\lambda/2$  bufferlaag met hoge brekingsindex met daarop een  $\lambda/4$  laag met een lage brekingsindex). Tussen 400 en 800 nm is de transmissie beter dan die van een ongecoate plaat (in de figuur alleen te zien voor loodrecht invallend licht).



Figuur 2-12. Gemiddelde transmissie door 1mm polycarbonaat, bovenzijde gecoat met 129 nm SnO<sub>2</sub> en daarop 90 nm SiO<sub>2</sub>; golvende curves: van boven naar beneden (zwart, blauw, rood) resp. bij 0°, 30° en 60° hoek van inval; rechte lijn: ongecoate plaat (hoek van inval 0°). Laagdiktes zijn geoptimaliseerd voor maximale transmissie op 400-800 nm.

In Tabel 2-2 zijn de gemiddelde waarden voor transmissie, reflectie en absorptie (bij loodrechte inval) gegeven, voor het golflengtegebied waarover gemiddeld is. Daarnaast is het aantal coatinglagen opgenomen, en de totale dikte aan SnO<sub>2</sub>, wat van belang is voor de resulterende absorptie.

Tabel 2-2. Gemiddelde lichttransmissie, reflectie en absorptie bij de onderzochte gecoate plaat. Gemiddeld over 400-800 nm; D(SnO<sub>2</sub>): dikte van SnO<sub>2</sub>.

400-800nm:	Aantal coatinglagen	D(SnO <sub>2</sub> ) [nm]	Transm	Reflectie	Absorptie
PC_01	1	136	83,6	14,2	2,2
PC_03	2	129	92,2	5,8	1,9

Door deze coating daalt de emissie-coëfficiënt van 0,9 voor polycarbonaat naar 0,28 [14]. De invloed hiervan op de U-waarde is berekend in paragraaf 4.2. Uit de drie bepaalde lichttransmissies voor direct licht is een lichttransmissie voor diffuus licht van 0,84 % berekend. Een toename van 1 %. Het aanbrengen van de tinoxidecoating op polycarbonaat is echter problematisch door onvoldoende hechting tussen beide materialen. In overleg met een Duits onderzoekinstituut wordt verder onderzocht hoe de hechting met polycarbonaat verbeterd kan worden.

### 2.5.2. Binnenzijde

De binnenzijde van de zigzag-plaat wordt gecoat met een nodrop-coating (anti-druppelvorming) om ongewenste (kleine) druppelvorming te voorkomen, waardoor lichtverlies optreedt. De nodrop-coating zorgt ervoor dat de





oppervlaktespanning tussen het kasdek materiaal en het condenswater verminderd, waardoor het condenswater op het binnenoppervlak uitvloeit als een waterfilm.

*Contacthoekmeting.*

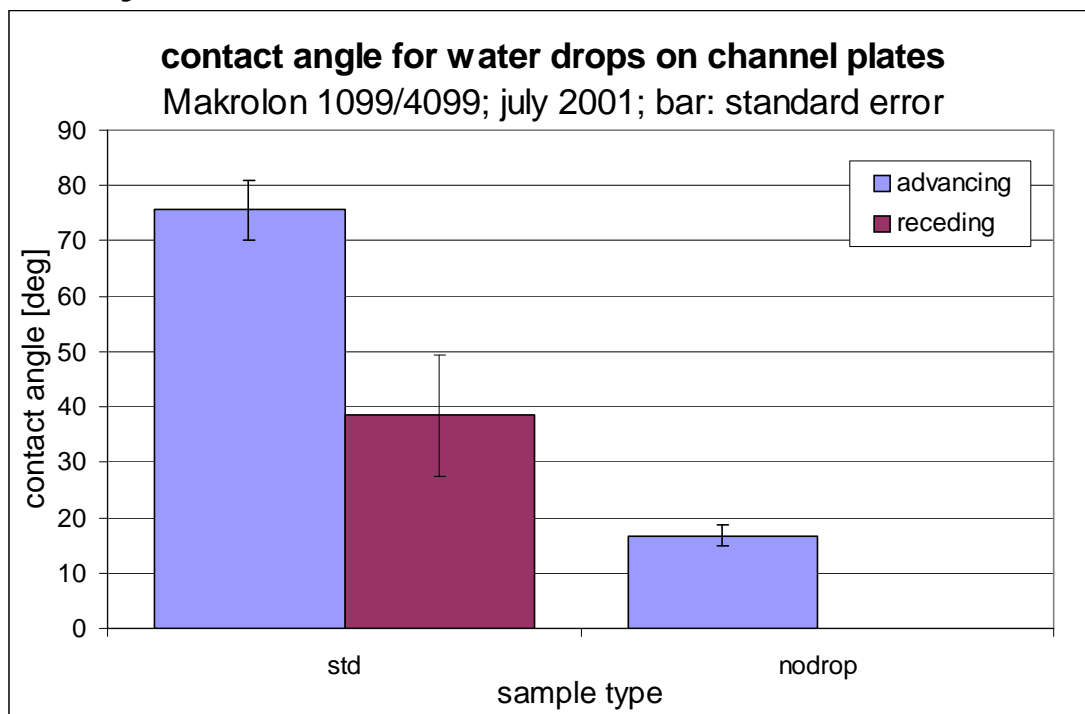


Fig. 1-13. Contacthoeken voor polycarbonaat met en zonder nodrop coating.

In Fig. 2-13 zijn de resultaten van de contacthoekmeting voor een polycarbonaatplaat met en zonder nodrop coating weergegeven. De geringe contacthoek voor de nodrop gecoate plaat geeft aan de deze plaat goede filmvormende eigenschappen zal hebben.

### 2.6. Realisatie

De zigzag-platen zijn van polycarbonaat in de zigzag-vorm gebracht door vacuümvormen. Hiertoe zijn matrijzen vervaardigd met de gewenste vorm voor de boven –en onderplaat. Na verwarming van een vlakke polycarbonaatplaat wordt door het aanbrengen van een vacuüm in de matrijs het materiaal in de gewenste vorm gebracht. Het resultaat is in Fig. 3-8 weergegeven.

### 2.7. Conclusies

Polycarbonaat (PC) heeft als voordelen de betere slagvastheid en brandveiligheid boven polymethylmethacrylaat (PMMA). De lichttransmissie van PMMA is hoger door de lagere brekingsindex. Bij zigzag-profilering kan het verschil in lichttransmissie grotendeels gecompenseerd worden. Door aan de buitenzijde een easy-clean coating aan te brengen kan gekozen worden voor de dubbelzigzag-structuur waardoor extra lichttransmissie ontstaat. Het aanbrengen van een SnO<sub>2</sub> emissiecoating is alleen zinvol wanneer een extra laag SiO<sub>2</sub> wordt aangebracht om de reflectie verliezen te verminderen. Deze coating geeft nog hechtingsproblemen met polycarbonaat en is naar verwachting relatief kostbaar.

De meest kritische parameter is doorbuiging, maar bij grotere zigzag hoeken en grotere spouwdikte vermindert zowel de doorbuiging als de materiaalspanning aanzienlijk.

Dikte van de boven- en onderzijde heeft enige invloed op de sterkte en doorbuiging maar kost veel materiaal. De materiaaldikte van de tussenschotjes heeft weinig invloed op de sterkte en doorbuiging. De meeste effecten zijn hetzelfde voor de dubbelzigzag en de zigzag-vlakplaat maar de maximale doorbuiging van het



zigzag-vlak profiel is groter dan bij het dubbelzigzag-profiel. Het materiaalverbruik bij een hoek van 48° is ca. 3 dm<sup>3</sup> per m<sup>2</sup>.

### 3. Bepaling van de lichttransmissie

#### 3.1 Inleiding

Met een Matlab-programma is de lichttransmissie van de zigzag-structuur berekend. In paragraaf 3.2 is een beschrijving gegeven van het rekenmodel. Met het rekenmodel is de invloed van verschillende parameters van het zigzag-kasdek materiaal te bepalen zonder dat proefmodellen gemaakt worden. Het rekenmodel is getest en akkoord bevonden aan de hand van proefstukken zigzag-materiaal.

#### 3.2 Beschrijving van het rekenmodel

De geometrie en richting van het bedekkingsmateriaal is beschreven in een aantal vlakken die vastgelegd worden door vectoren. Dit betekent dat alle vlakken beschreven zijn door parallellogrammen met de set vectoren  $R1_v$  and  $R2_v$  (Figuur 3-1, vlak V). Iedere lichtstraal is beschreven als een vector (Figuur 3-1, ray L) en de plaats waar de lichtstraal invalt is nu te bepalen. Dit is de basis van het rekenmodel. In het model wordt dit bereikt door een vectoroperatie vanuit de vergelijkingen van het vlak en de lichtstraal zoals beschreven in de vergelijkingen (1).

$$\begin{aligned} S_{lx} + c \cdot R_{lx} &= S_{vx} + a \cdot R1_{vx} + b \cdot R2_{vx} \\ S_{ly} + c \cdot R_{ly} &= S_{vy} + a \cdot R1_{vy} + b \cdot R2_{vy} \\ S_{lz} + c \cdot R_{lz} &= S_{vz} + a \cdot R1_{vz} + b \cdot R2_{vz} \end{aligned} \tag{1}$$

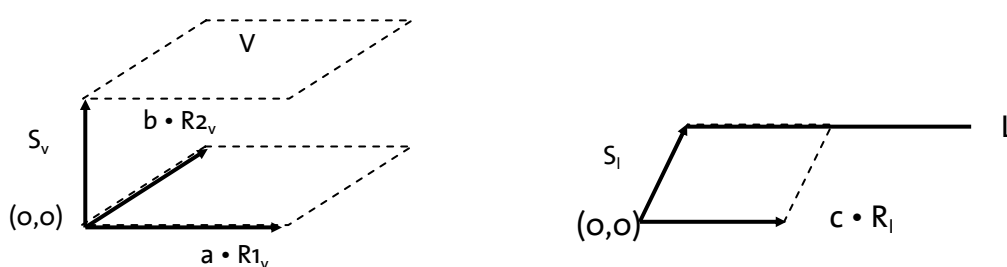


Fig. 3-1. Vector representatie van vlak V and lichtstraal L.

$$\begin{aligned} V_{(x,y,z)} &= S_v + a \cdot R1_v + b \cdot R2_v. & 0 \leq a \leq 1, 0 \leq b \leq 1 \\ L_{(x,y,z)} &= S_l + c \cdot R_l. & 0 \leq c \leq \infty \end{aligned}$$

waarbij:

$S_{lx}, R_{lx}, x, y, z$  coördinaten van de vectoren van straal L in Figuur 1

$S_{vx}, R_{vx}, z$  x,y,z-coördinaten van vectoren van vlak V in Figuur 1

$a, b$  vermenigingsvuldigingsfactoren van  $R1_v$  and  $R2_v$ , respectiveliek,  $0 \leq a, b \leq 1$



c vermenigingsvuldigingsfactoren van  $R1_i, 0 \leq c \leq \infty$

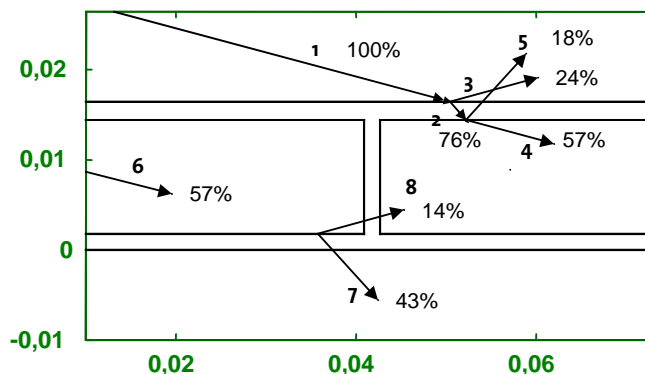


Figure 3-2. Dwarsdoorsnede van een deel van een standaard kanaalplaat tijdens de berekening van de lichtweg van een enkele lichtstraal door de constructie. De stralen met hun intensiteiten (%) zijn genummerd om de berekeningsvolgorde zichtbaar te maken (hoogste intensiteiten eerst). De inkomende straal 1 (100%) raakt het buitenoppervlak van het materiaal en deelt in een doorgelaten deel 2 en een gereflecteerd deel 3, volgens de Fresnell relaties. Straal 2 gaat door het materiaal, raakt het binnenoppervlak en is gesplitst in doorgelaten deel 4 en een gereflecteerd deel 5. Straal 4 komt het voorwerp opnieuw binnen aan de linkerzijde door de symmetrie van het voorwerp en is opgesplitst op dezelfde manier als straal 1.

Deze vergelijkingen zijn oplosbaar door de eliminatie methode van Gauss om het snijpunt van lichtstraal met het vlak te bepalen. Met de hoek van inval, welke uit de vectorberekeningen is te bepalen, is de brekinghoek te berekenen met de vergelijking van Snellius. Hieruit volgt de intensiteit van de gereflecteerde straal met de Fresnell vergelijkingen [15-16] en de lichtabsorptie van het materiaal. Door de volledige stralengang door het materiaal te volgen kan op deze wijze de lichttransmissie bepaald worden. Een handige berekeningsmethode in het model is de herintrede van lichtstralen, zodat het mogelijk is een object te reduceren tot het kleinste element dat herhaalbaar voorkomt is de materiaalconstructie. Met andere woorden, als een lichtstraal dit element aan de rechterzijde verlaat, komt het opnieuw aan de linkerzijde binnen alsof het een naastgelegen element was (Figuur 3-2, straal no 6).

De lichttransmissie voor direct licht is berekend met een groot aantal lichtstralen.. De transmissie voor diffuus licht is berekend door het gewogen gemiddelde van een serie transmissies voor direct licht voor verschillende azimuths and elevation hoeken. De lichttransmissie voor diffuse straling is berekend volgens:

$$T_{diff} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} T(\alpha, \beta) \sin(\beta) \cos(\beta) d\beta d\alpha}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \sin(\beta) \cos(\beta) d\beta d\alpha} \quad (5)$$

waarbij:

$\alpha$  azimuth

$\beta$  elevation

$T(\alpha, \beta)$  transmissie als functie van  $\alpha$  en  $\beta$

De resultaten van deze modelberekening zijn vergeleken met transmissie-waarden uit de literatuur voor direct en diffuus licht en kwamen goed overeen Zie fig. .



### 3.3 Aannames

De berekening zijn gedaan op basis van de volgende uitgangspunten:

#### Zigzagplaat

Brekingsindex	1,584
Dikte	0,83 mm
Absorptie-coeff.	1,1 (bepaald aan de hand van metingen)

De plaat is aan alle zijden gecoat (ook binnenkant) met een coating met de volgende eigenschappen:

Brekingsindex	1,400
Dikte	0,001 $\mu\text{m}$
Absorptie-coeff.	0

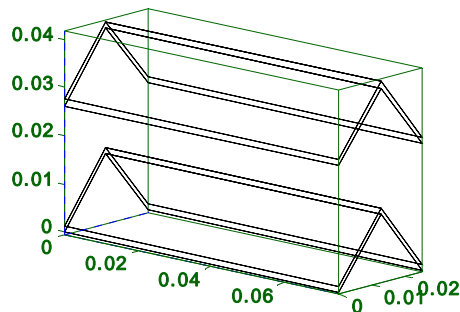


Fig 3.3 Zigzagplaat zoals die gemodelleerd is in het rekenprogramma

#### 3.3.1. Floridakas

Van de Floridakas is alleen het dek gemodelleerd. Constructie-elementen onder het dek, zoals kolommen, luchtmechaniek en (tralie)liggers zijn niet meegenomen in de berekeningen. De effecten hiervan worden gerapporteerd in het vervolgproject.

Kapbreedte	4,8 m
Vaste delen	$2 \times 1,9$ m
Luchtramen	$2 \times 0,70$ m
Dakhelling	$25^\circ$

Goot	$7,5 \times 17,5$ cm
Diffuse reflectie	0,5

Tevens zijn de volgende onderdelen niet gemodelleerd:

- klikverbinding tussen platen
- vulmateriaal tussen luchtraam en vaste deel
- vulmateriaal tussen vaste deel en goot

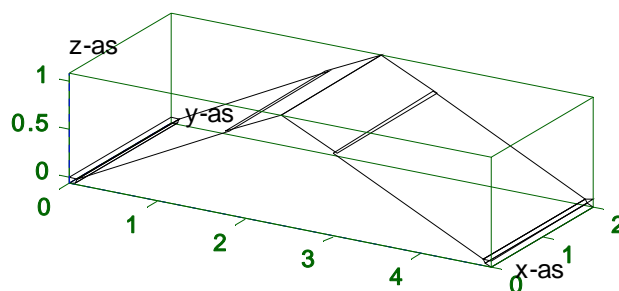


Fig 3.4 Floridakas zoals deze gemodelleerd is in het rekenprogramma

### 3.3.2. Standaardkas

Om de uitkomsten omtrent lichttransmissie te kunnen vergelijken met een standaardkas is ook deze gemodelleerd. Ook hier is alleen het dek gemodelleerd, constructie-elementen onder het dek, zoals kolommen, luchtmechaniek en (tralie)liggers zijn niet meegenomen in de berekeningen.

Dakhelling 25°  
Kapbreedte 4,8 m  
Ramen 1,25 × 0,70 m  
Goot 7,5 × 17,5 cm  
Diffuse reflectie 0,5

Nok 2,5 × 4 cm  
Diffuse reflectie 0,5

Enkellaags glas (ongeoat)  
Brekingsindex 1,52  
Dikte 4 mm  
Absorptie coeff 5  
Geen scheminstallatie

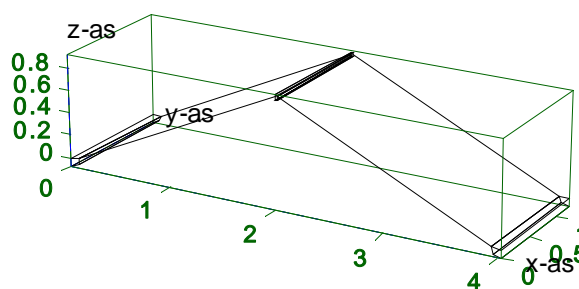
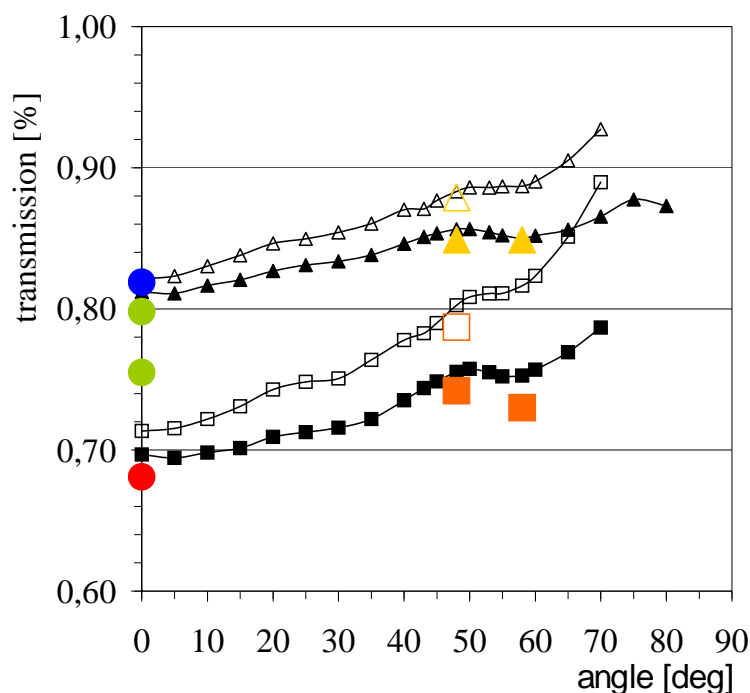


Fig 3.5 De standaardkas zoals deze gemodelleerd is in het rekenprogramma

### 3.4 Resultaten berekeningen

De resultaten van de simulatieberekeningen zijn samengevat in Fig.3-6 voor enkel- en dubbelpolycarbonaat zigzag-structuren met en zonder pigment. De algemene tendens is een toenemende lichttransmissie van de zigzag-structuur bij grotere hoeken. Bij de zigzag-structuren zonder pigmenten is de lichttoename het grootste, in het bijzonder bij de grote zigzaghoeken boven de 60°.



**Berekeningen:**

- Δ Enkellaags zigzag (zonder pigment)
- ◊ Enkellaags zigzag (met pigment)
- ◻ Dubbellaags zigzag (zonder pigment)
- Dubbellaags zigzag (met pigment)
- Standaard PMMA (Plexiglas SP Alltop)

**Metingen:**

- △ Enkellaags zigzag (zonder pigment)
- ◊ Enkellaags zigzag (met pigment)
- ◻ Dubbellaags zigzag (zonder pigment)
- Dubbellaags zigzag (met pigment)
- Standaard PC (GE LTC 10/2RS 1700)
- Standaard glas enkellaags

Fig. 3-6 Overzicht van de lichttransmissie voor verschillende ontwerpen van het zigzagdek.

In Fig. 3-6 zijn tevens ter vergelijking de resultaten van een aantal metingen weergegeven voor een aantal zigzagplaten en een aantal standaard kasdekmaterialen. In de eerste berekeningen waren lokale minima en maxima niet zichtbaar door een gering aantal berekeningspunten. Hierdoor werd voor de eerste testen een materiaal met een zigzag hoek van 60° gekozen. Door een aantal extra berekeningen uit te voeren voor de tussenliggende punten werden lokale minima en maxima beter zichtbaar. Hieruit bleek dat een zigzagmateriaal met een hoek van 48° nagenoeg dezelfde lichttransmissie heeft dan bij 60°, terwijl de kans op vervuiling afneemt. In Fig. 3-7 is naast de transmissie tevens de absorptie en reflectie weergegeven als functie van de zigzaghoek. Vooral bij materialen met een lichtabsorptie blijkt de invloed hiervan snel toe te nemen bij grotere hoeken. De reflectie van de materialen neemt in alle gevallen sterk bij grotere zigzag hoeken.

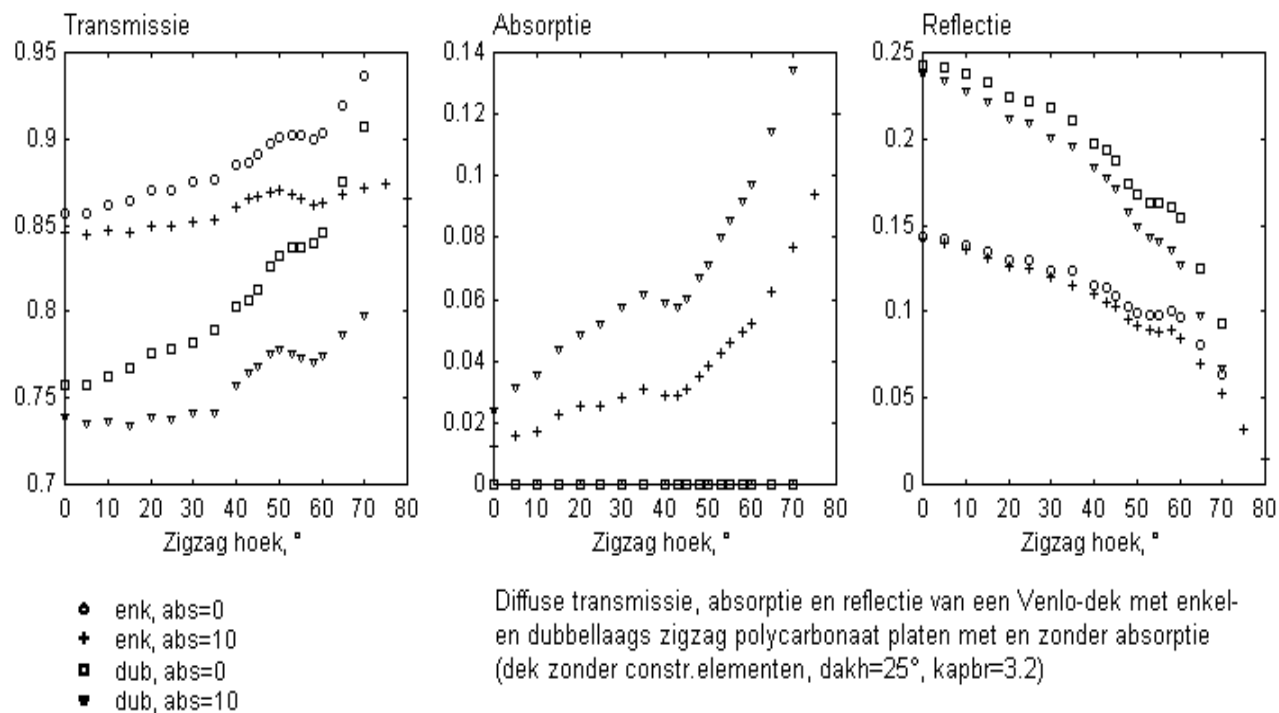


Fig. 3-7 Transmissie, absorptie en reflectie voor diffuus licht van een Venlodek.

### 3.5 Meetresultaten lichtmetingen

#### 3.5.1 Inleiding



## Energiezuinige kasdekform

pagina 24

General Electric Plastics heeft met behulp van de techniek van vacuümvormen polycarbonaat zigzag-platen vervaardigd met een hellingshoek van  $60^\circ$ . In Fig. 3-8 zijn de enkellaags- en dubbellaagsplaten weergegeven. In de eerste fase is de lichttransmissie van deze platen gemeten. Omdat na verdere verfijning van de berekeningen bleek dat nagenoeg dezelfde lichttransmissie haalbaar is met een hoek van  $48^\circ$  zijn daarna door GE Plastics met behulp van een vacuümvormtechniek nieuwe zigzag-platen van polycarbonaat vervaardigd met een hoek van  $48^\circ$ . Tevens is de dikte verminderd naar 0,8 mm. Metingen van deze platen zijn op de integrerende kogel in fase twee uitgevoerd.



Fig. 3-8 Enkellaags- en dubbellaags zigzag-platen vervaardigd met vacuümvorm-technieken.

In de derde fase zijn opnieuw zigzag-platen gemaakt met een hoek van  $48^\circ$  waarbij bepaalde pigmenten zijn weggelaten. Nieuwe coatings op basis van fluorpolymeer zijn getest in fase vier. Door de lage brekingsindex kan de lichttransmissie nog verder verhoogd worden. Deze antireflectiecoating is gecombineerd met een uv-coating die de veroudering van polycarbonaat tegengaat.

### **Uitvoering van de metingen**

De lichtmetingen zijn uitgevoerd op een Integrerende Ulbricht-kogel zoals die bij het IMAG operationeel is. Op deze kogel zijn monsters van 50x50 cm te meten op reflectie diffuus ( $Rd_2$ ), transmissie diffuus ( $Td_1$ ) en transmissie loodrecht ( $Tkl_1$ ) voor het gebied van 400-700nm (zichtbare licht, ook wel PAR (Photosynthetic Active Radiation) genoemd).

Binnen dit golflengtegebied is om de 25nm een meting uitgevoerd. Deze metingen worden daarna nog negen keer herhaald zodat de uiteindelijke resultaten gebaseerd zijn op een set van 10 metingen.

Bij de meting voor de diffuse transmissie worden lampen rondom de kogel aangeschakeld, waardoor er op een kunstmatige hemel die boven de kogel is gesitueerd een diffuse lichtstroom wordt gegenereerd. Op het monster valt dan alleen maar diffuus licht. Tenslotte kan door lampen die hoog in de hemel zijn aangebracht aan te schakelen een loodrechte lichtstroom worden veroorzaakt op het monster. Voor de Nederlandse tuinbouwomstandigheden is de diffuse straling het belangrijkste. Vooral in winterse omstandigheden, wanneer licht voor een tuinder belangrijk is, is er circa 75 % van de tijd diffuus licht. Daarom is alleen de reflectie en de transmissie onder diffuse lichtomstandigheden uitgevoerd. Aanvullend is voor een enkel monster ook de transmissie loodrecht op de Ulbricht-kogel ( $Tkl_1$ ) of op de Perkin-Elmer spectrofotometer ( $Tl_1(PE)$ ) gemeten.

$Rd_2$ , hier echter niet weergegeven, staat voor reflectie diffuus voor de onderkant van het monster,  $Td_1$  voor de transmissie diffuus voor de bovenkant van het monster,  $Tkl_1$  voor transmissie loodrecht op de Ulbricht-kogel voor de bovenkant van het monster en  $Tl_1(PE)$  staat voor de transmissie loodrecht van de bovenkant van het monster, maar gemeten op de spectrofotometer Perkin-Elmer.

Voorafgaande aan de series zigzag-metingen zijn ter vergelijking twee Lexan Thermoclear platen doorgemeten. De dubbellaags-plaat type GE LTC 16/2NS3000 en de N-structure 16/2NS3000 (3-laags kanaalplaat)





doorgemeten. Voor de transmissie van diffuuslicht is respectievelijk ( $T_{d1}$ ) 61,7% en 68,1% gemeten. De transmissie voor loodrechte lichtinval ( $T_{kl1}$ ) bedroeg 75,9% voor de tweede plaat.

Voorafgaande aan een presentatie van de meetresultaten wordt erop gewezen dat bij de bespreking van de eerste ook de resultaten van de eerste fase daadwerkelijk worden besproken, terwijl bij de volgende fasen bij de bespreking de resultaten van meerdere fasen onderling vergeleken kunnen worden. Alle meetresultaten in het gebied van 400-700 nm zijn gewogen naar NEN-2675, de Nederlandse NEN-norm voor het bepalen van de lichttransmissie [11].

### 3.5.2 Eerste fase: zigzag-hoek 60°

In de eerste fase zijn een groot aantal metingen uitgevoerd aan zigzagplaten met een hoek van 60°. Deze metingen zijn in dit rapport te herkennen aan de code GE99B t/m GE99P. De combinaties GE99N en GE99P zijn niet gemeten.

Tabel 3-1 Overzicht transmissie diffuus voor monsters GE99B t/m GE99P met een zigzag-hoek van 60°.

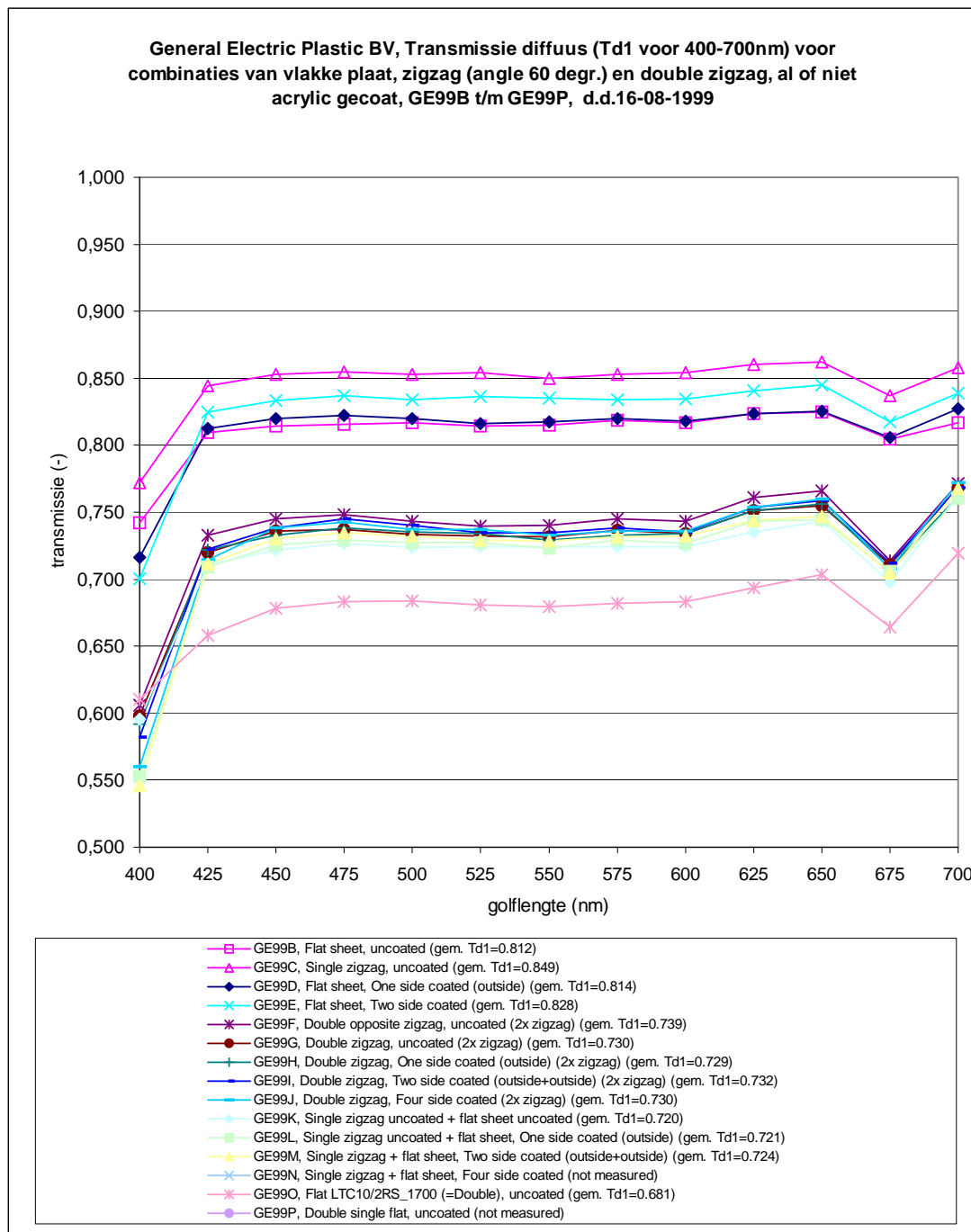
Type	Filenaam	Transmissie diffuus ( $T_{d1}$ )
Vlakke plaat, ongecoat	GE99B	0,812
Enkel zigzag, 60° ongecoat	GE99C	0,849
Vlakke plaat, éézijdig gecoat (buitenzijde)	GE99D	0,814
Vlakke plaat, tweezijdig gecoat	GE99E	0,828
Dubbel tegengestelde zigzag, 60°, ongecoat	GE99F	0,739
Dubbel zigzag, 60°, ongecoat	GE99G	0,730
Dubbel zigzag, 60°, 1-zijdig gecoat (buitenzijde)	GE99H	0,729
Dubbel zigzag, 60°, 2-zijdig gecoat (buitenzijde + buitenzijde)	GE99I	0,732
Dubbel zigzag, 60°, 4-zijdig gecoat	GE99J	0,730
Enkel zigzag, 60°, ongecoat + Vlakke plaat, ongecoat	GE99K	0,720
Enkel zigzag, 60°, ongecoat + Vlakke plaat, 1-zijdig coated (buitenzijde)	GE99L	0,721
Enkel zigzag, 60°, + Vlakke plaat, 2-zijdig gecoate (buitenzijde + buitenzijde)	GE99M	0,724
Enkel zigzag, 60°, + Vlakke plaat, 4-zijdig gecoat	GE99N	---
Enkel zigzag, 60°, + Vlakke plaat, 4-zijdig gecoat	GE99N	---
Kanaalplaat GE LTC 16/2NS3000	GE99A	0,617 (0,759)
Kanaalplaat LTC10/2RS 1700	GE99O	0,681

Opm. De combinaties GE99N en GE99P zijn niet doorgemeten. De coating is op basis van polyacrylaat  
De waarde tussen haakjes is de transmissie van direct opvallend licht.

In figuur 3-9 is de transmissie voor diffuus licht weergegeven voor de onderzochte monster (combinaties GE99B t/m GE99P).



## Energiezuinige kasdekvorm



Figuur 3-9 Transmissie diffuus (Td1) voor vlakke- en zigzag-platen met een hoek van 60°  
Opvallend is dat dubbele zigzag ongecoat met 0,730 gemiddeld zo'n 0,049 beter scoort dan de Vlakke LTC 10/2RS\_1700 kanaalplaat (onderste lijn) met 0,681. Verder is te zien dat enkele zigzag ongecoat met 0,849 gemiddeld zo'n 14,9 % beter scoort dan dubbele zigzag ongecoat met 0,730, Verder is het opvallend dat bij alle metingen de waarden bij 400 en bij 675nm lager zijn dan de andere waarden.

De eerste serie metingen geeft voor een dubbele wandconstructie in de vorm van een dubbele zigzag bijna 5% meer lichtdoorlaat als de traditionele kanaalplaten. Het absolute verschil tussen enkel- en een dubbelzigzagplaat bedraagt 14.9%. De invloed van coating geeft in deze serie metingen slechts zeer geringe verhogingen. Bij de enkele zigzag treedt zelfs een kleine vermindering op. Dit kan verklaard worden door het feit dat de coatings nog handmatig opgebracht worden.



### 3.5.3 Tweede fase: zigzag-hoek 48°

In de tweede fase zijn een aantal metingen uitgevoerd aan zigzagplaten met een hoek van 48°. Deze metingen zijn in dit rapport te herkennen aan de code GE2KA t/m GE2KC.

Tabel 3-2 Overzicht transmissie diffuus voor monsters GE2KA t/m GE2KC met een hoek van 48°.

Type	Filenaam	Transmissie diffuus (Td1)
Enkel zigzag, 48°, ongecoat	GE2KA	0,849
Dubbel zigzag, 48°, ongecoat	GE2KB	0,743
Enkel zigzag, 48°, ongecoat + Vlakke plaat, ongecoat	GE2KC	0,725

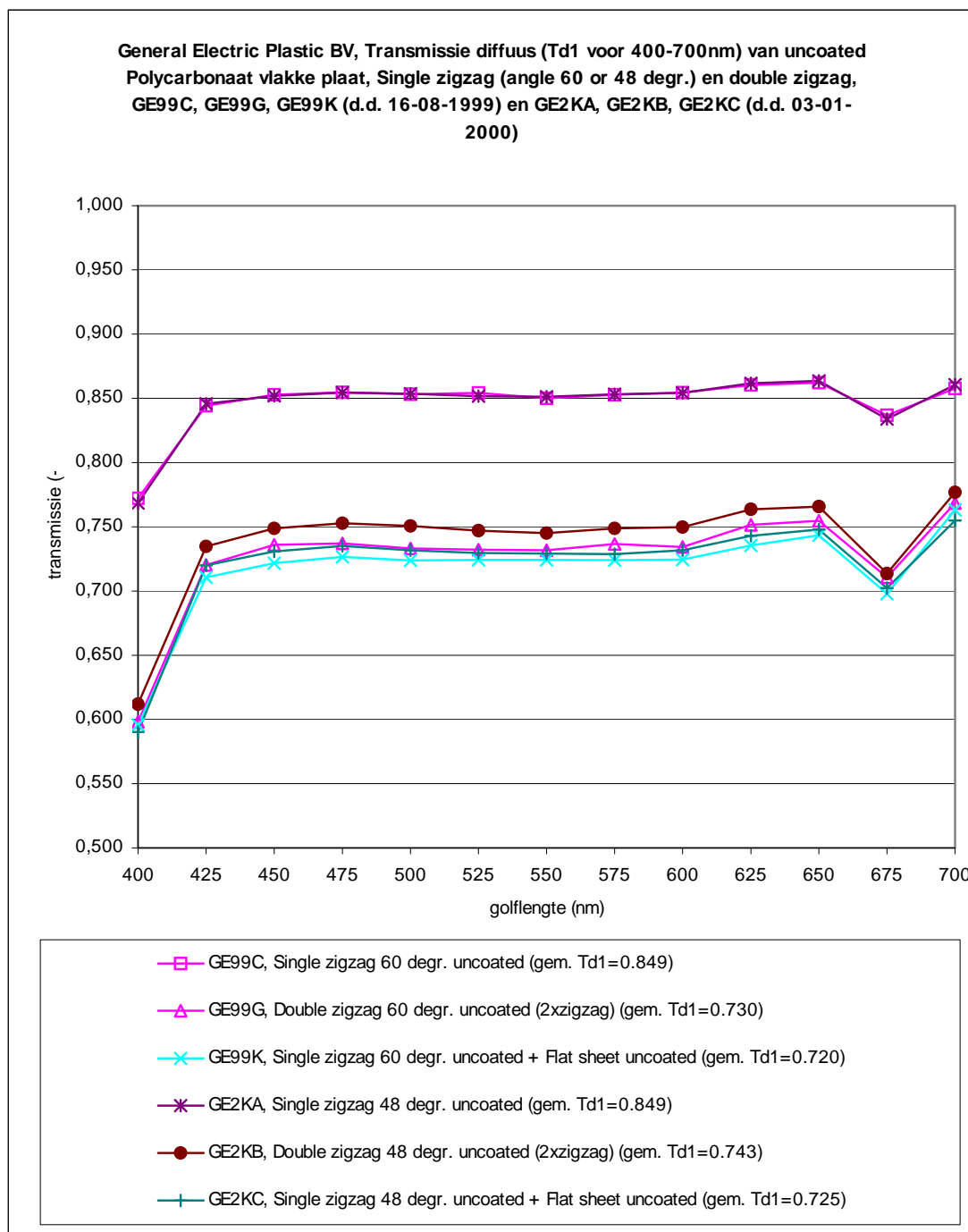
Opm. Vlakke plaat van GE99B

In figuur 3-10 worden de resultaten van enkele, al dan niet voorzien van een vlakke plaat en dubbele zigzagplaten met een hoek van 60 of 48° met elkaar vergeleken. Eerste en opvallende resultaat is dat het voor een enkele zigzag-plaat niet uitmaakt of de hoek 60° dan wel 48° is. Beide hebben een gemiddelde transmissie voor diffuus licht van 0,849. Bij de zigzag-vlak ongecoat is de plaat met een hoek van 48° 0,05 beter (0,725 bij 48° tegenover 0,720 bij 60°). Bij dubbele zigzag is het verschil opgelopen tot 0,013 (0,743 voor 48° tegenover 0,730 voor 60°).

Bij een hoekvermindering van 60° naar 48°, voor de dubbelzigzagplaat is een verbetering van 1,3% gemeten voor de lichttransmissie.



## Energiezuinige kasdevorm



Figuur 3-10 Transmissie diffuus voor enkel- of dubbelzigzagplaten met een hoek van 60° of 48°



## Energiezuinige kasdevorm

pagina 29

Aanvullend is voor de dubbelzigzag ongecoat (2xzigzag)+zonder pigment (GE2KF) ook de transmissie loodrecht (Tkl) gemeten. Omdat de metingen aan GE2KF al bijna een jaar daarvoor zijn uitgevoerd is de gehele meting opnieuw uitgevoerd, onder de code GE2KL. Daarbij bleek bovendien de transmissie diffuus eigenlijk niet veranderd te zijn (0,786 voor GE2KL tegenover 0,787 voor GE2KF). Ter vergelijking worden de resultaten van beide vermeld.

Tabel 3-3 Overzicht transmissie diffuus voor monsters GE2KF en GE2KL

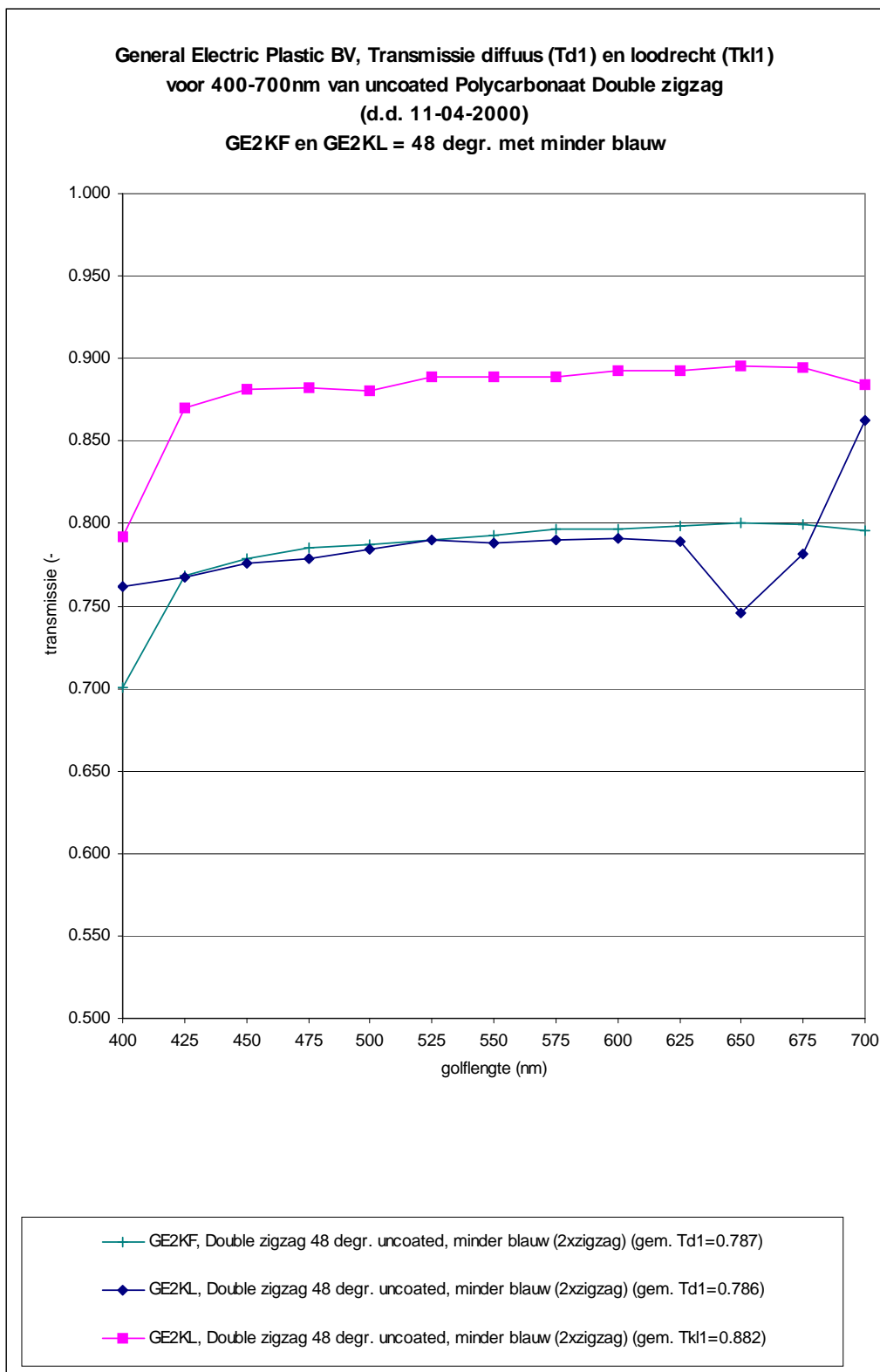
Type	Filenaam	Transmissie diffuus (Td1)	Transmissie loodrecht (Tl1 (PE))
Dubbelzigzag, 48°, ongecoat + zonder pigment	GE2KF	0,787	
Dubbelzigzag, 48°, ongecoat + zonder pigment	GE2KL	0,786	0,882

In Figuur 3-11 worden de resultaten van de dubbelzigzag platen van 48° zonder pigment met elkaar voor zowel diffuse als loodrechte transmissie gegeven. Allereerst is er geen noemenswaardig verschil in de gemiddelde waarde tussen GE2KF en GE2KL ondanks een drietal duidelijk zichtbare verschillen. De gemiddelde loodrechte transmissie geeft voor de dubbelzigzag een waarde van 0,882 tegenover 0,787 voor de diffuse waarde.

De loodrechte transmissie voor dubbelzigzag zonder pigment is 9.5% beter dan de diffuse transmissie.



## Energiezuinige kasdekvorm



Figuur 3-11 Transmissie diffuus en loodrecht voor dubbelzigzag platen zonder pigment bij 48°.



### 3.5.4 Derde fase: zonder pigment

In de derde fase zijn een aantal metingen uitgevoerd aan zigzagplaten met een hoek van 48°. Bij deze platen was geen pigment aanwezig. Deze metingen zijn in dit rapport te herkennen aan de code GE2KD t/m GE2KG. Voorafgaande aan deze metingen is voor de vlakke plaat (GE2KD) ook de brekingsindex bepaald. Tevens is van dit monster de transmissie loodrecht (T<sub>l</sub>) bepaald op de spectrofotometer Perkin-Elmer.

*Monsters:*  
Vlakke plaat, ongecoat, + zonder pigment

brekingsindex (gemeten)  
1,584

Tabel 3-3 Overzicht transmissie diffuus voor monsters GE2KD t/m GE2KG

Type	Filenaam	Transmissie diffuus (Td1)	Transmissie loodrecht (T <sub>l</sub> (PE))
Vlakke plaat, ongecoat, zonder pigment	GE2KD	0,826	0,902
Enkelzigzag, 48°, ongecoat, zonder pigment	GE2KE	0,879	
Dubbelzigzag, 48°, ongecoat, zonder pigment	GE2KF	0,787	
Enkelzigzag, 48°, ongecoat, zonder pigment + Vlakke plaat, ongecoat, zonder pigment	GE2KG	0,759	

Opm. Vlakke plaat vergelijkbaar met GE99B

In Figuur 3-12 worden de resultaten van enkele, dubbele en enkelzigzag + vlakkeplaat zigzagplaten van 60° en 48° met of zonder pigment met elkaar vergeleken. Voor de enkele zigzagplaat is er geen verschil tussen de zigzagplaat van 60° en 48°. De 48° plaat zonder pigment resulteert echter in een toename van 3% (0,879 voor 48° zonder pigment en 0,849 voor 48° met pigment). De absorptie dip bij 675nm verdwijnt als de plaat zonder pigment is.

Bij de dubbelzigzagplaat van 60° en 48° is er een toename van 1,3% (0,743 voor de 48° tegenover 0,730 voor de 60° plaat). De 48° plaat zonder pigment heeft een 4,4 % hogere transmissie (0,787 voor 48° zonder pigment tegenover 0,743 voor 48° met pigment). Ook hier verdwijnt de 675nm dip als er geen pigment is. Zonder toepassing van het pigment is de totale absolute verbetering 5,7%.

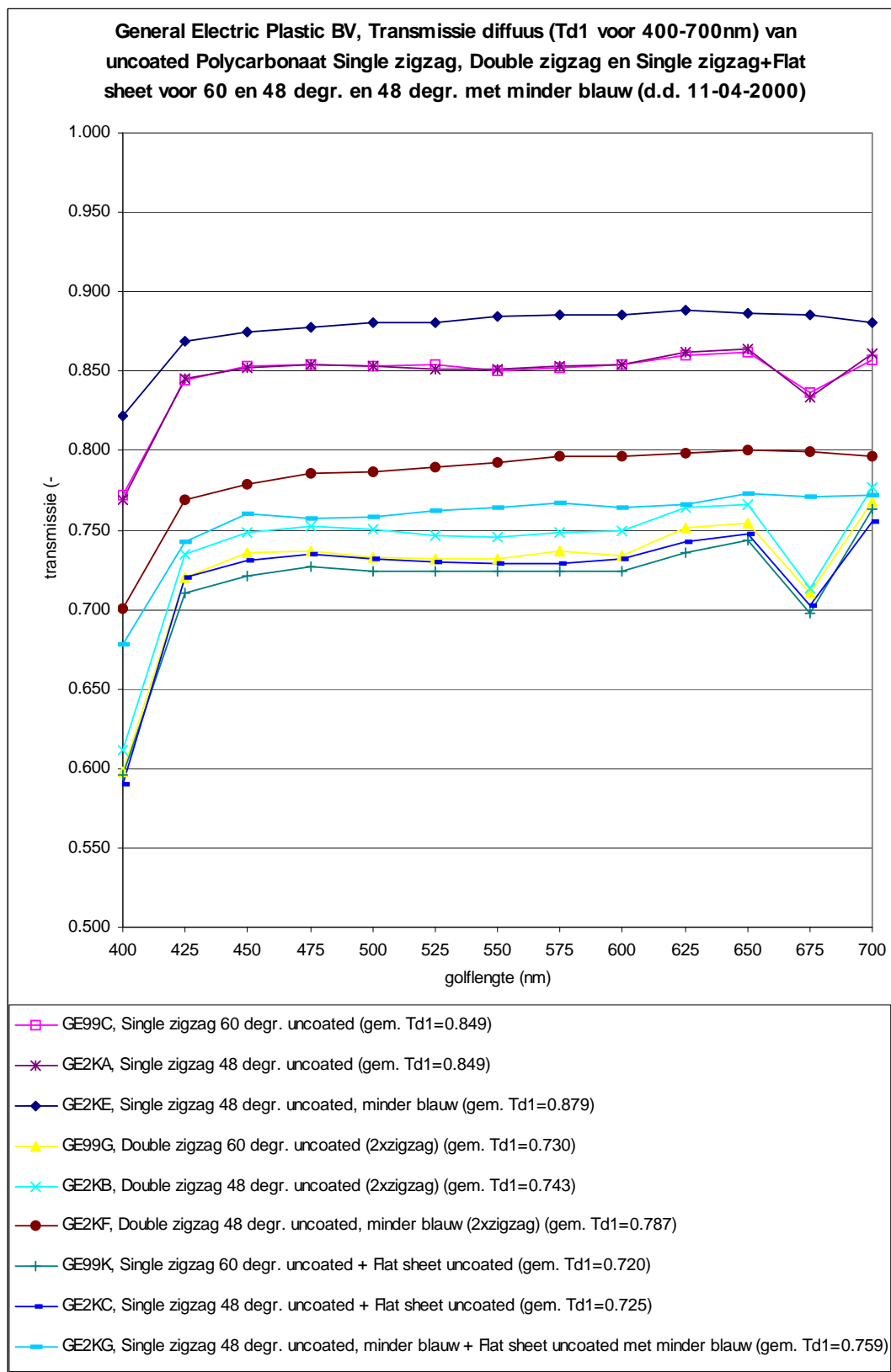
Bij de enkelzigzagplaat + vlakke plaat met pigment is het verschil tussen 60° en 48° plaat 0,5% (0,725 voor de 48° tegenover 0,720 voor de 60° plaat met pigment). De 48° plaat zonder pigment geeft een extra verbetering van 3,4 % (0,759 voor 48° zonder pigment tegenover 0,725 voor 48° met pigment). En ook hier verdwijnt de 675nm dip als er geen pigment is.

Uit vergelijking van de meetwaarden voor de ongecoate vlakke plaat is af te leiden dat de pigmentvermindering hier voor de diffuse transmissie een absolute verbetering oplevert van 1,4% (0,826 voor de vlakke plaat ongecoat zonder pigment (GE2KD) tegenover de oorspronkelijke vlakke plaat (GE99B) met 0,812).

Door de pigmentverwijdering ontstaat voor een vlakke plaat een transmissietoename van 1,4%; voor de dubbelzigzag een toename van 4,4 % en voor de enkelzigzagplaat + de vlakke plaat een absolute toename van 3,4%. Overall kan men stellen dat de dubbelzigzag van 48° zonder pigment ten opzichte van 60° met pigment een absolute verbetering geeft van 5,7%.



## Energiezuinige kasdevorm



Figuur 3-12 Transmissie diffuus voor enkele, dubbelzigzag en zigzag met vlakke plaat, al dan niet voorzien van pigment voor 60° en 48°





### 3.5.5 Vierde fase: invloed coatings

GE Plastics heeft een vlakke en een zigzagplaat gecoat met een nieuw geformuleerde fluorpolymeer coating. De coating heeft drie functies: 1. De buitenzijde wordt vuilafstotend en daardoor zelfreinigend 2. Een ingebouwde UV-coating om het polycarbonaat te beschermen tegen UV-straling en 3. Vermindering van de lichtreflecties door verlaging van de brekingsindex.

Van de platen is de invloed van de coating op de lichttransmissie gemeten. In de vierde zijn een aantal metingen uitgevoerd aan nieuwe zigzagplaten met een hoek van 48°. Deze metingen zijn in dit rapport te herkennen aan de code GE2KH t/m GE2KK. Voor de vlakke platen is alleen de transmissie loodrecht bepaald met behulp van de Perkin-Elmer (PE).

Tabel 3-4 Overzicht transmissie diffuus voor monsters GE2KH t/m GE2KK

Type	Filenaam	Transmissie diffuus (Td1)	Transmissie loodrecht (TI1 (PE))
Enkelzigzag, 48°, met pigment, ongecoat	GE2KH	0,811	
Enkelzigzag, 48°, met pigment, 2-zijdig gecoat	GE2KI	0,827	
Vlakke plaat, ongecoat	GE2KJ		0,898
Vlakke plaat, 1-zijdig coated	GE2KK		0,911

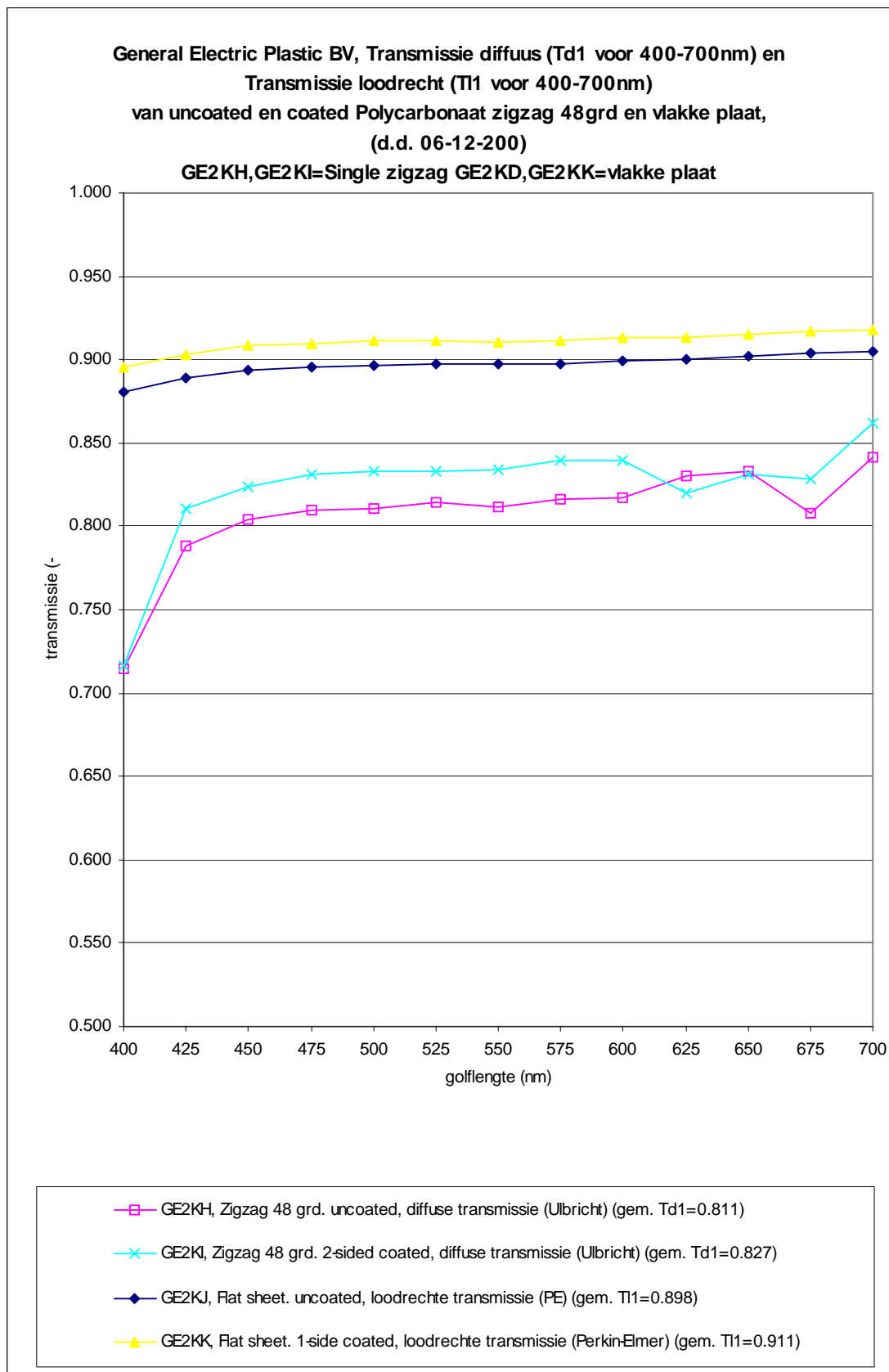
In Figuur 3-13 worden de resultaten de nieuwe enkelzigzag platen van 48° en de vlakke plaat met en zonder coating met elkaar vergeleken.

Allereerst blijkt deze nieuwe enkelzigzag 48° slechter te zijn dan zijn voorgangers, n.l. 0,811(GE2KH) om 0,849(GE99C) met pigment. Als de nieuwe plaat 2-zijdig gecoat wordt treedt er een verbetering op van 1,6%. (0,827 met coating om 0,811 zonder coating). Hetzelfde resultaat is ook af te leiden uit een vergelijking van GE99B (0,812) en GE99E(0,828). De absorptie dip bij 675nm verdwijnt als de plaat zonder pigment is. Bij de vlakke plaat treedt door het aanbrengen van een 1-zijdige coating een verbetering op van 0,013 (0,911 met coating om 0,898 zonder coating). Bij deze laatste waarden moet echter worden aangetekend dat het hier in tegenstelling tot de meeste andere waarden gaat om transmissie waarden voor een loodrechte meting.

De coating op de enkelzigzag en op de vlakke plaat resulteert in een absolute verbetering van 1,3-1,6%.



## Energiezuinige kasdevorm



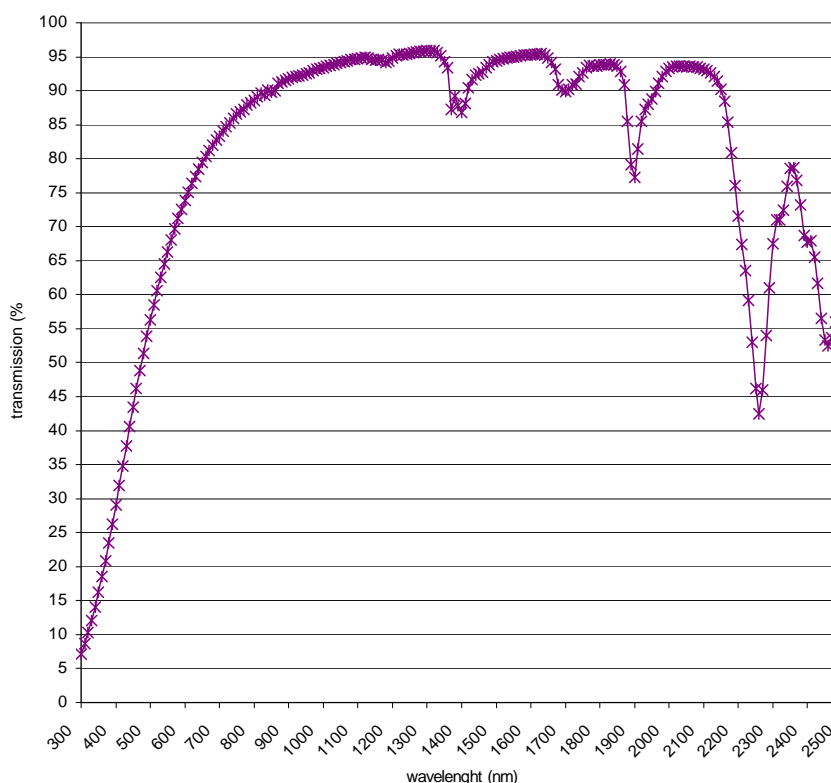
Figuur 3-13 Transmissie diffuus en loodrecht voor enkelzigzag platen van 48° en voor vlakke platen



### 3.5.6 Vijfde fase: aerogel

In de vijfde fase zijn de lichttransmissie metingen uitgevoerd door het IMAG met betrekking tot een Nanoschuim<sup>1</sup> Silica Aerogel. Daarbij is tevens zichtbaar hoe dit Aerogel geplaatst kan worden ten opzichte van standaardglas.

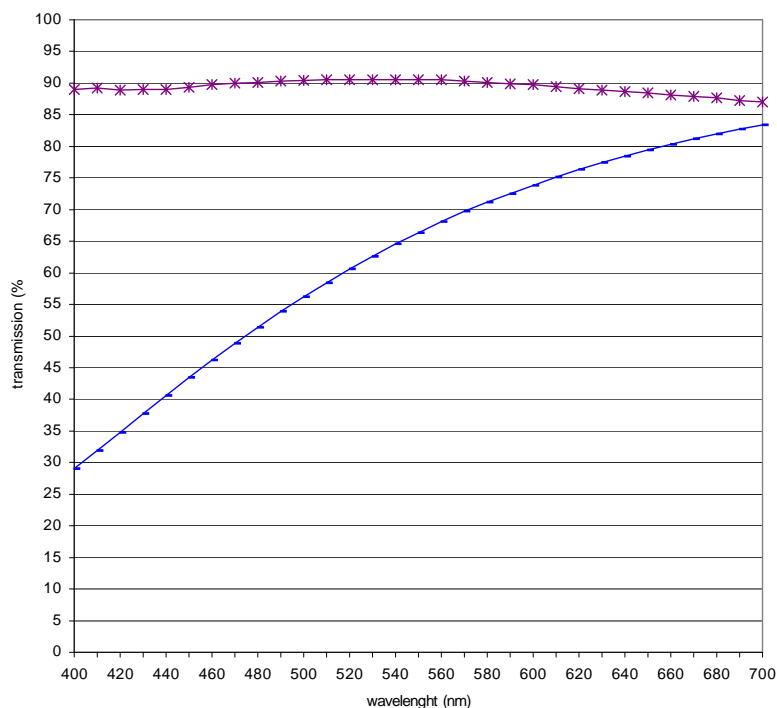
In figuur 3-14 is de loodrechte transmissie voor Aerogel gegeven voor het gebied van 300-2500nm. Opvallend is de lage transmissie in het gebied van 300-850nm. De slechte lichttransmissie voor kleinere golflengten ontstaat voornamelijk door Rayleigh verstrooiing<sup>2</sup>. Een kleinere materiaalstructuur kan dit lichtverlies verminderen. In figuur 3-15 is voor Aerogel en standaardglas een vergelijking gemaakt voor het gebied 400-700nm. De in dit gebied slechte resultaten van Aerogel ten opzichte van standaardglas hebben tot gevolg dat de gemiddelde transmissie voor loodrechtlicht (T<sub>l1</sub>) over het gebied 400-700nm voor Silica Aerogel 63.9% is tegenover 89.5% voor IMAG-standaardglas.



Figuur 3-14 Transmissie loodrecht in gebied 300-2500nm voor Marktech Silica Aerogel

<sup>1</sup> Nanoschuim of aerogel is een poreus materiaal waarbij de vaste fase kleiner is dan de golflengte van zichtbaar licht hierdoor ontstaat de unieke combinatie van een lichttransparant een zeer goed warmte-isulerend materiaal.

<sup>2</sup> Rayleigh verstrooiing is een vorm van lichtverstrooiing voor deeltjes kleiner dan de golflengte van zichtbaar licht waarbij het blauwe deel van het spectrum meer verstrooid wordt.



Figuur 3-15 Transmissie voor Nanoschuim Silica Aerogel (-v-) vergeleken met standaardglas (-x-) in gebied 400-700nm

### 3.6 Samenvatting en conclusies

Door General Electric Plastics zijn op aanwijzing van IMAG een aantal te beproeven platen als prototype ontwikkeld en geproduceerd met verschillende afmetingen, samenstellingen en coatings. Met deze proefplaten heeft IMAG metingen uitgevoerd van zowel de doorlatendheid voor diffuus licht als voor direct (gericht) licht. Figuur 3-6 en Tabel 3-5 geeft een samenvattend overzicht van de belangrijkste resultaten van de berekeningen en de lichttransmissiemetingen. De overeenstemming van de berekeningen en de metingen is zeer goed. Variabelen zijn de vorm van de platen: vlak, enkelzigzag, dubbelzigzag en zigzag-vlak, de hellingshoek van de zigzagvorm en het wel of niet aanwezig zijn van het pigment. De optimale dubbelkasdekvorm voor lichttransmissie is een zigzagprofiel met een hoek van  $48^\circ$ . Deze dubbelzigzagvorm heeft een lichttransmissie van 78,8 %.

In figuur 3-4 wordt een overzicht gegeven van de berekende doorlatendheden (voor diffuus licht) van een aantal plaatvormen, afhankelijk van de hellingshoek van de zigzagvorm en de aanwezigheid van cosmetische pigmenten in het PC-materiaal. Tevens zijn in deze figuur de gemeten waarden van een aantal materialen aangegeven.

Uit deze figuur is o.a. af te leiden dat het weglaten van pigment tot een belangrijke verbetering van de lichtdoorlatendheid van ca. 4% leidt. Deze pigmenten zijn niet nodig voor de plantengroei en zijn derhalve onnodig bij de toepassing als kasomhullingsmateriaal. Ook uit deze figuur is af te leiden dat de optimale hellingshoek van de zigzagvorm ca.  $48^\circ$  is.













Voor gecoate platen is de lichttransmissie voor diffuus licht ca. 1,6% hoger dan zonder coating. Voor de loodrechte transmissie wordt bij vlakke platen 1,3% lichtwinst geboekt. Vreemd genoeg wordt dat effect voor dubbelzigzagplaat niet geconstateerd.

Alle in de conclusies gegeven waarden hebben betrekking op transmissie voor diffuus licht, tenzij het expliciet wordt vermeld.



## Energiezuinige kasdekvorm

Tabel 3-5 Overzicht van de lichtmetingen aan de platen (zonder coatings)

Type	No.	Hoek [°]	Filenaam	Transmissie Diffuus [%]	Transmissie Direct [%]	Blue pigment
	1.	-	ge99b	81,2		yes
	2.	-	ge2kd	82,6		no
	3.	60	ge99c	84,9		yes
	4.	48	ge2ka	84,9		yes
	5.	48	ge2ke	87,9		no
	6.	60	ge99g	73,0		yes
	7.	48	ge2kb	74,3		yes
	8.	48	ge2kf/ ge2kl	<b>78,7</b>	<b>88,2</b>	no
	9.	60	ge99k	72,0		yes
	10.	48	ge2kc	72,5		yes
	11.	48	ge2kg	75,9		no
 LTC102RS1700	12.	-	ge2ko	68,1		yes

### Eerste fase zigzaghoek 60°

- Een dubbele wandconstructie in de vorm van een dubbelzigzag heeft bijna 5%, absoluut gezien, meer lichtdoorlatendheid dan traditionele kanaalplaten.
- Het absolute verschil tussen enkel- en dubbelzigzag bedraagt 11,9 %.
- De invloed van een coating in deze serie metingen is slechts zeer gering. Bij de enkelzigzag treedt zelfs een verslechtering op.

### Tweede fase zigzaghoek 48°

- De hoekverandering van 60° naar 48°, voor de dubbelzigzagplaat geeft een absolute verbetering van 1,3% te zien.
- Het absolute verschil tussen dubbel en enkelzigzag bedraagt 9,2 %.
- Voor de dubbelzigzag zonder pigment is de loodrechte transmissie 9,5% hoger dan de diffuse transmissie.

### Derde fase zonder pigment

- Voor de enkelzigzagplaat is een absolute verbetering van 3% haalbaar door pigmentvermindering.
- Voor de dubbelzigzagplaat is een absolute verbetering van 4.4% haalbaar door pigmentvermindering
- Voor de vlakke plaat is af te leiden dat de pigmentvermindering hier voor de diffuse transmissie een toename oplevert van 1,4%
- De enkelzigzagplaat + de vlakke plaat geeft een toename van 3,4% door pigmentvermindering,

### Vierde fase invloed coating



Coating, op de enkelzigzag en de vlakke plaat, kan een absolute verbetering teweegbrengen van 1,3-1,6%.

Tabel 3-6 Overzicht van de invloed van de coatings voor de transmissie diffuuslicht

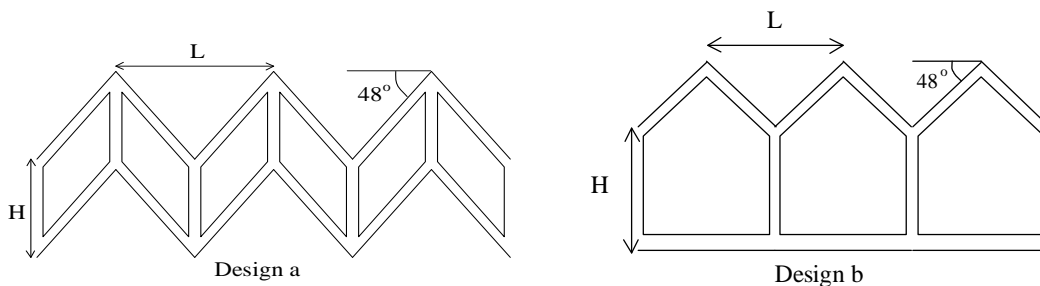
Coating	Transmissie voor diffuuslicht		
	Enkelzigzag		Dubbelzigzag zonder pigment
	met pigment	zonder pigment	
Ongecoat	0,811	0,879	0,787
2-zijdig gecoat	0,827	0,895*	0,801*
4-zijdig gecoat	n.v.t.	n.v.t.	0,810*

\*) Gebaseerd op de meting van enkelzigzag en een berekening.

**Vijfde fase (aerogel)**

Metingen van de lichttransmissie van het aerogelmateriaal geven een lichtverlies van 25,6 % t.o.v. normaal glas.

**4 Bepaling van de Warmtedoorgangscoefficiënt**



Figuur 4-1 De twee ontwerpen voor het zigzagdek

De warmtedoorgangscoefficiënt van de twee ontwerpen in bovenstaande figuur is bepaald met een commercieel computational fluid dynamics (CFD) programma. Randvoorwaarde bij de berekening is de European standard prEN ISO-10077-2 from November 1998 [12].

**4.1 Verificatie van het gebruikte CFD programma**

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van een commercieel CFD programma: Fluent 5.2. Om te kijken of het programma aan de bovengenoemde regelgeving voldoet is een voorbeeld uit deze regelgeving gemaakt. De voorbeelden staan in ANNEX D van de European Standard. Voorbeeld D.6 is hier gebruikt. Het programma berekent een warmtetransport van 4.16 W/m, in de Standard (tabel D.4) is 4.21 W/m gegeven. Dit is binnen de range van 3% die benodigd is om aan de regelgeving te voldoen.

**4.2 De warmteoverdracht van een zigzagplaat**

Bij de berekening is uitgegaan van een temperatuurverschil van 20°C met een lage temperatuur van 0°C. De warmteoverdrachtscoefficient aan de buitenzijde is 25 W/m²K aan de binnenzijde is deze 8 W/m²K volgens de European Standard. De warmtegeleidingcoefficient van polycarbonaat is 0,2 W/mK. De emissie coefficient van het interne oppervlak is 0,9. De zwaartekracht is niet meegenomen in de berekening omdat deze maar een klein effect (< 1 %) heeft op de uitkomst.



## Energiezuinige kasdekvorm

Tabel 4-1 Warmtedoorgangscoefficiënt voor de zigzagplaat ontwerpen van Figuur 4-1 voor verschillende afmetingen van de zigzagprofiel

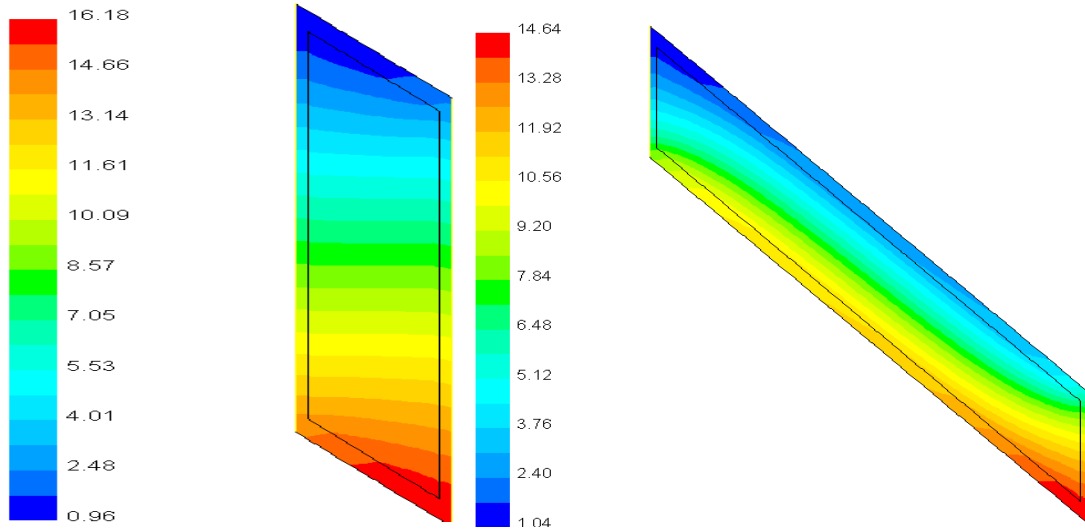
Nr.	Ontwerp	L [mm]	H [mm]	U [W/m <sup>2</sup> K]
1	a	10	10	4,63
2	a	25	10	4,69
3	a	50	10	4,91
4	a	10	25	2,65
5	a	25	25	2,99
6	a	50	25	<b>3,38</b>
7	b	10	10	3,20
8	b	25	10	3,05
9	b	50	10	2,95
10	b	10	25	<b>2,27</b>
11	b	25	25	2,48
12	b	50	25	2,57

In tabel 4-1 zijn de berekende warmtedoorgangscoefficiënten aangegeven van twee typen platen, namelijk die met een dubbelzigzagstructuur (type a, fig. 4-1) en die met een vlakke onderkant en een zigzagvorm boven (type b, fig. 4-1). De hellingshoek van de zigzagvorm is vastgelegd op 48°. Type b heeft een betere isolatiewaarde dan type a, terwijl type a weer een betere lichtdoorlatendheid heeft. De isolatiewaarde neemt toe met toenemende plaatdikte (dus spouwdikte). Op grond van de combinatie met andere parameters is de plaat met een lengte van de moduul van 50 mm (2x schotjesafstand) en een plaatdikte van 25 mm optimaal. De isolatiewaarde hiervan bedraagt 3,38 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Ter vergelijking: 4 mm enkelglas heeft een isolatiewaarde van ca. 6 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup> [14].

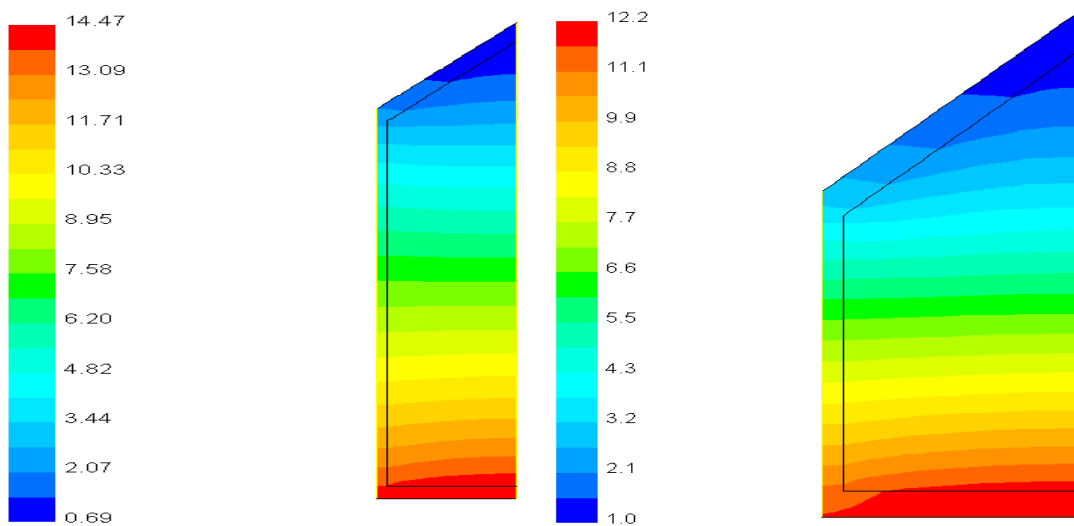
Ter vergelijking is de warmteoverdrachtscoefficient van glas met een dikte van 4 mm en een warmtegeleidingcoefficient van 1 W/mK berekend op dezelfde wijze. De warmteoverdrachtscoefficient is berekend op 5,92 W/m<sup>2</sup>K. De temperatuurverdeling van de beste en de slechtste dimensies zijn in de figuren 4-2 en 4-3 weergegeven.



## Energiezuinige kasdekvorm



Figuur 4-2 De temperatuursverdeling voor a-10-25 (links) en a-50-10 (rechts).



Figuur 4-3 De temperatuur verdeling voor b-10-25 (links) en b-10-10 (rechts).





### 4.3 De invloed van een emissiecoating

Door een coating op de platen aan te brengen wordt de emissiecoëfficiënt van het dek verlaagd. De straling naar de hemel wordt hierdoor gereduceerd. In de eerdere berekeningen werd een vaste warmteoverdrachtscoëfficiënt van 25 W/m<sup>2</sup>K. Deze warmteoverdrachtscoëfficiënt is opgebouwd uit warmte overgedragen via convectie en via straling.

De algemene formule voor het berekenen van de warmteoverdracht door infrarood straling tussen twee objecten is:

$$\phi_{straling} = \varepsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4) \approx 4 \varepsilon \sigma \left( \frac{T_1 + T_2}{2} \right)^3 (T_1 - T_2) \quad (1)$$

waarin  $\varepsilon$  de emissiecoëfficiënt van het materiaal is en  $\sigma$  de constante van Stefan-Boltzmann (5.67e-8 W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>).

De in de norm aangegeven warmteoverdrachtscoëfficiënt tussen de bovenzijde van het dek en een vaste buitentemperatuur stemt niet overeen met de praktijk. De hemeltemperatuur ligt in het algemeen 10 graden onder de buitentemperatuur. De warmteoverdracht door straling speelt in de praktijk daardoor een grotere rol.

Een voorbeeld:

Temperatuur kas: 20°C

Totale warmteoverdrachtscoëfficiënt onderzijde dek: 8 W/m<sup>2</sup>K

De warmteoverdrachtscoëfficiënt van het dekmateriaal: 8 W/m<sup>2</sup>K

Convectieve warmteoverdracht buitenzijde 19,2 W/m<sup>2</sup>K

De buitentemperatuur is 0°C.

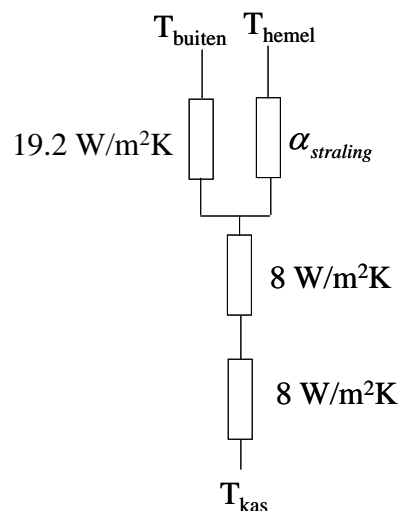


Fig. 4-4 Overzicht van de warmteoverdrachtweerstand in het kasdek

Tabel 4-2 Effect van de emissiecoating op de warmteoverdrachtcoëfficiënt bij hemeltemperaturen

Nr	Emissiecoef. buiten	T-hemel	Warmteoverdracht [W/m <sup>2</sup> ]
1	1	0	68
2	1	-10	76,8
3	0,25	0	67,1
4	0,25	-10	69,4

Uit bovenstaande tabel valt af te lezen dat de coating de warmteoverdracht reduceert met 9,6 % bij een hemeltemperatuur die 10°C lager ligt dan de buitentemperatuur. (Regelnummer 2 en 4.) In dat geval is de warmtedoorgangcoëfficiënt 10 % lager voor het emissiegecoate kasdek en dus een lagere U-waarde.

### 4.4 Conclusies

De ontwerpen met de kortste afstand tussen de toppen en de grootste hoogte hebben de laagste warmteoverdrachtscoëfficiënt. Dit komt omdat er meer straling kan worden uitgewisseld als de top en het ondervlak elkaar zien. De warmteoverdrachtscoëfficiënt voor het gekozen ontwerp is 3,4 W/m<sup>2</sup> K voor het gekozen ontwerp met een hoogte van 50 mm en een afstand tussen de tussenschotjes van 25 mm. Een emissiecoating resulteert in een 10 % lagere warmteoverdrachtscoëfficiënt en dus een lagere U-waarde.



## 5 Integratie in een Teeltsysteem

### 5.1 Inleiding

De effecten van het nieuwe zigzagkasdek van polycarbonaat, zoals schematisch weergegeven in Fig. 5-1, op het kasklimaat zijn nader onderzocht en vergeleken met een standaard Venlo type kas met enkelglas. De oriëntatie van de kas op de lichttransmissie is berekend als functie van de tijd. In deze studie is gekozen de perspectieven te berekenen voor de teelten van: paprika, tomaat, potplant en chrysant omdat daarmee een groot deel van het glasareaal wordt geteeld. Bovendien worden op deze wijze energie-intensieve teelten vergeleken met minder energie intensieve teelten en de besparingen in deze teelten duidelijk worden.

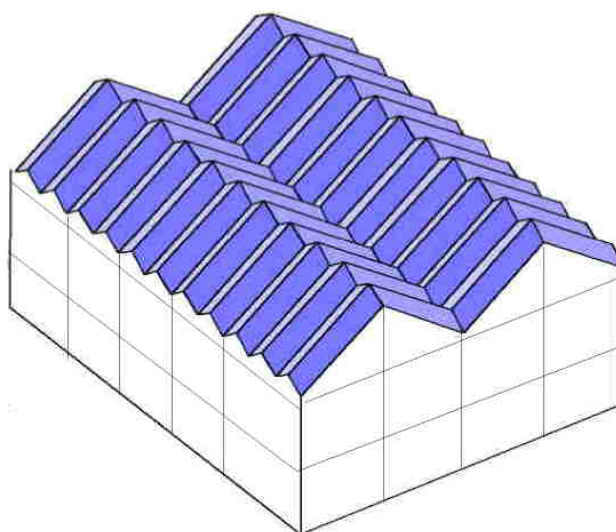


Fig. 5-1 Teeltsysteem met zigzag-kasbedekking

### 5.2 Keuze van de uiteindelijke vorm van het zigzagprofiel

Door de verschillende beoordelingscriteria, zoals lichtdoorlatendheid, isolatiewaarde, materiaalverbruik en materiaalsterkte en stijfheid te combineren wordt een hellingshoek van de zigzag-profiel van  $48^\circ$  als optimaal beschouwd. Om te komen tot een optimale configuratie van het plaatprofiel zijn de factoren in Tabel 5-1 gebruikt. Een hoger nummer geeft een lagere is de prioriteit aan, waarbij is aangetekend dat deze factoren op alle punten voldoende moeten zijn. De bijbehorende afmetingen van de dubbelwandige zigzagplaat zijn een afstand van de tussenschotjes van 25 mm en een plaatdikte van totaal 50 mm (zie Fig. 4-1). Het ontwerp van Fig. 4-1a is boven het ontwerp van Fig. 4-1b gekozen omdat dit resulteert in een hogere lichttransmissie en in een geringere doorbuiging. Het materiaalverbruik van het gekozen ontwerp is ca.  $2,5 \text{ dm}^3$  per  $\text{m}^2$ .

Tabel 5-1 De belangrijkste factoren bij de bepaling van het definitieve profiel

No.	Factor
1.	Lichttransmissie
2.	Warmte doorgangscoefficiënt
3.	Sterkte van het kasdek (inclusief maximale doorbuiging)
4.	Kosten c.q. materiaalverbruik
5.	Mogelijkheden voor reinigen

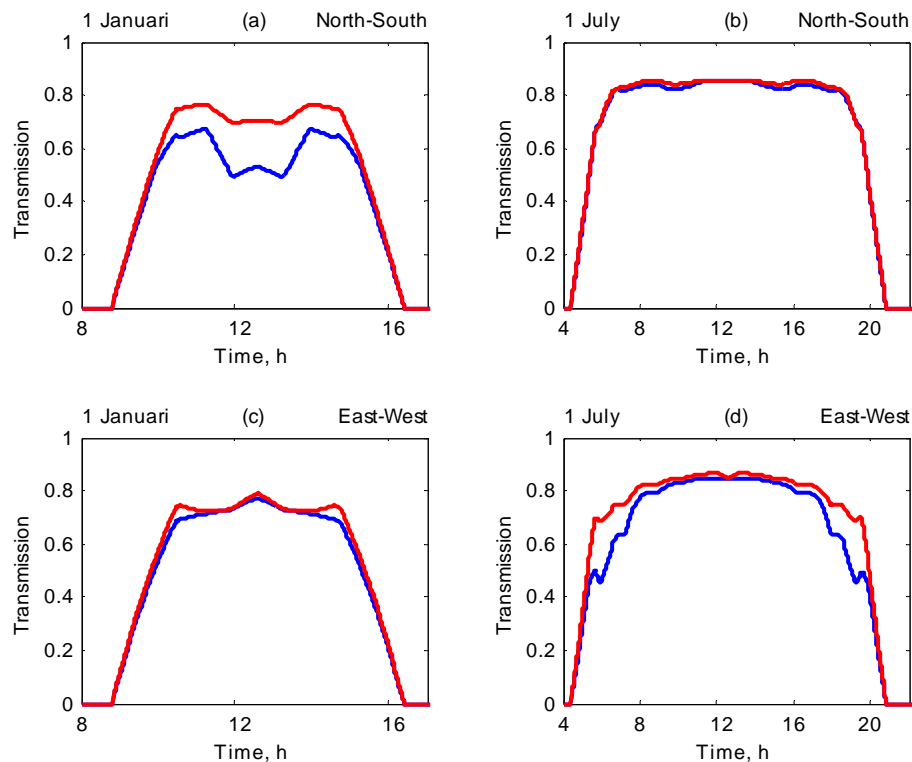


Fig. 5-2 De tijdsafhankelijke lichttransmissie van de dubbelzigzagkas en standaard Venlokas voor twee oriëntaties van de kas op 1 januari en 1 juli (- - Zigzagkas - - Standaard Venlokas).

### 5.3 Lichttransmissie

Voor de berekening van de lichttransmissie van de zigzagkas kas (zoals weergegeven in paragraaf 3.3.1 in Fig. 3-4) is het in design a. profiel gebruikt (Fig. 4-1) met een fluorpolymeer-coating op de vier oppervlakken. De tijdsafhankelijke lichttransmissie op 1 januari en op 1 juli van de zigzagkas is in Fig. 5-2 weergegeven voor twee oriëntaties op 1 januari en 1 juli. In nagenoeg alle omstandigheden blijkt de lichttransmissie groter te zien bij de zigzagkas. Bij plaatsing van de goot in de noord-zuid richting is de lichttransmissie ca. 7 % hoger in het koude seizoen (1 januari) dan een standaard Venlo kas (zoals weergegeven in paragraaf 3.3.2 in Fig. 3-5). Deze lichtwinst ontstaat vooral in het midden van de dag. In de oost-west richting is de lichttransmissie in het warme seizoen ca. 4,5 % hoger bij het zigzagkasdek. Fig. 5-3 De dagelijkse globale stralingswinst t.o.v. een standaard Venlo kasdek. Bij 0 graden is de kas noord-zuid geplaatst.

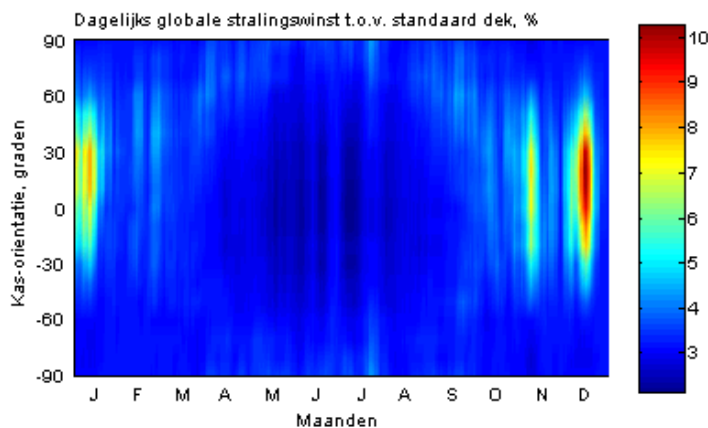


Fig. 5-3 De dagelijkse globale stralingswinst t.o.v. een standaard Venlo kasdek. Bij 0 graden is de kas noord-zuid geplaatst.

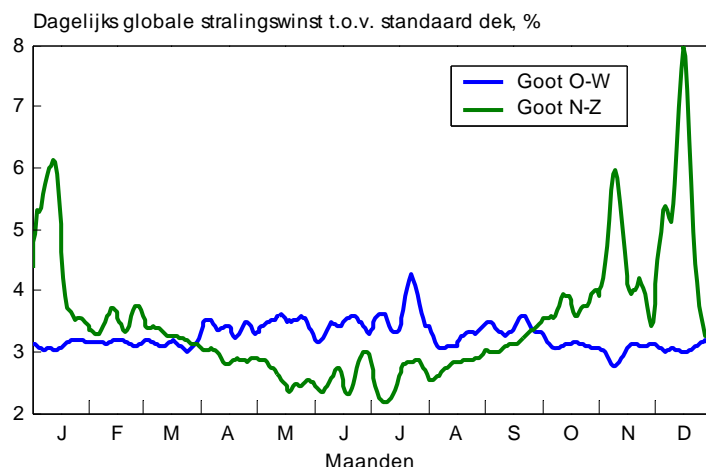


Fig. 5-4 De dagelijkse globale stralingswinst t.o.v. een standaard Venlo kasdek.

De dagelijkse totale stralingswinst ten opzichte van de standaard Venlokas weergegeven als functie van de tijd en bij verschillende oriëntaties in de figuren 5-3 en 5-4. In figuur 5-4 is de winst in grafiekvorm uitgezet voor twee oriëntaties. Uit deze twee figuren blijkt de stralingswinst voor een dubbelzigzagkas altijd 2 % te zijn boven de standaard Venlokas en bovendien een stralingswinst in het koude seizoen voor de noord-zuid richting.

### 5.4 Energiebesparing

Met het kasklimaat-simulatiemodel KASPRO zijn jaarrondberekeningen gedaan voor vier teelten namelijk: paprika, tomaat, potplant en chrysant en vergeleken met de resultaten van een standaard Venlokas (kapbreedte 4,8m).

De resultaten zijn samengevat in Tabel 5-2. Voor de energie-intensieve gewassen paprika en tomaat is een jaarlijkse energiebesparing van ca. 20 % haalbaar. Voor de potplant en chrysant is een besparing van 16 % gevonden. Doordat er minder waterdamp tegen het dek zal condenseren is er meer vocht in de kaslucht, waardoor er ook meer gelucht zal moeten worden. Het verschil tussen de momentane waarde en jaarrond energiebesparing ontstaat voornamelijk door het warmteverlies door het luchten. Extra energiebesparing is mogelijk met energiezuinige ontvochtiging.

Tabel 5-2 Resultaat van de jaarrond berekening van het gasverbruik [ $m^3/m^2/jaar$ ] bij vier verschillende teelten voor de standaard Venlo kas en de dubbelzigzagkas voor setpointinstellingen voor standaard teelten [19]. De referentiekas (ref.) is bij de teelten aangegeven.

Teelt/kastype	paprika	tomaat	potplant	chrysant
Standaard Venlo (zonder scherm)	66,4	63,3 (ref.)	74,0	-
Standaard Venlo (met scherm)	46,2 (ref.)	49,7	55,7 (ref.)	32,2 (ref.)
Zigzag (zonder scherm)	-	49,8	-	-
Zigzag (met scherm)	37,2	-	46,9	27,1
Assimilatie prod. (t.o.v. ref.)	95,1	98,0	96,4	97,7
Energiebesparing [%] (t.o.v. ref.)	19,4	21,4	15,7	15,8



Uit Tabel 5-2 blijkt dat de besparing met het dubbelzigzagkasdek in het algemeen groter zijn dan bij enkel glas met een energiescherm. Alleen bij de tomaat blijkt het verschil minimaal te zijn. De energiebesparing is berekend op bedrijfsniveau. De berekende besparing zijn afhankelijk van de setpointinstellingen van temperatuur en vooral luchtvochtigheid. Een verhoging van de luchtvochtigheid van 85 % naar 87,5 % geeft 10 % extra besparing bij potplanten! Naast een forse reductie in het energieverbruik wordt er afhankelijk van de teelt 2 - 5% ingeleeverd op de productie. Dit kan verklaard worden doordat er meer gelucht moet worden. Hierdoor daalt het CO<sub>2</sub>-niveau wat ten koste gaat van de productie (zie ook raamstanden en gerealiseerde gemiddelde kasluchttemperatuur). Dit alles ondanks het feit dat er meer CO<sub>2</sub> gedoseerd is. Dit vind vooral in het voor en najaar voor, waar bij een kas met zigzagplaat meer gelucht moet worden. De buffer zal in deze periode meer gebruik worden dan in een situatie met een glasdek. Algemeen geldt dat energiebesparing de CO<sub>2</sub>-productie doet verminderen. Dit zou gedeeltelijk opgelost kunnen worden door in plaats van CO<sub>2</sub> met de ketel te produceren, CO<sub>2</sub> in te zetten afkomstig uit externe bronnen, waardoor energieverbruik en CO<sub>2</sub> productie losgekoppeld worden.

Potentieel is voor 80-90% van de teelten invoering energiebesparend en economische redelijk interessant [18]; alleen voor de zeer weinig warmtevragende teelten zoals radijs en roos (door het overschot aan warmte i.v.m. belichting en warmtekrachtinstallaties) is dit niet haalbaar. De snelheid waarmee dit ingevoerd kan worden hangt af van de gasprijs, prijs van de nieuwe plaat, rente en subsidiemogelijkheden. Binnen korte termijn is het van belang dat het materiaal in productie komt. Een demonstratieproject kan de invoering van het materiaal sterk bevorderen.

### 5.5 Verdere ontwikkeling

Uit het onderzoek is de vorm van de plaat met bijbehorende coatings ontwikkeld. De verdere industriële opschaling moet nog plaatsvinden. Een knelpunt in de ontwikkeling van de nieuwe matrijs zijn de zeer hoge kosten (ca. 750 Kf en een nieuwe productielijn ca. 5 Mf). In de project begroting was voor de matrijs gerekend met een bedrag van 150 Kf. Deze hoge kosten wil GE-plastics alleen dragen wanneer er een "markt" van ca. 10 ha in zicht is. In een vergadering met de AVAG (kassenbouwers) bleken de kassenbouwers in eerste instantie niet enthousiast te reageren om deze kas te bouwen. Daarom is in overleg met GE-plastics besloten om de voordelen van dit kasdek te beschrijven in een aantal vakblad artikelen [7-9, 17] met een oproep aan tuinders om hierop te reageren. In totaal hebben ca. 20 tuinders gereageerd met nieuwbouw plannen van in totaal 40 ha. Een eerste stap in deze richting is de proefproductie voor de Floridakas op het Floriade terrein die momenteel in volle gang is. De onder en bovenplaten van het dubbelzigzag kasdek worden apart gemaakt met vacuümvormen waarna de platen thermisch of met lijm aan elkaar verbonden zijn. De platen zijn nog niet gecoat met een easy clean en een antidrop coating. Het voordeel van de vacuümvorm techniek is dat de platen direct pasklaar op de dakgoot en nok bevestigd kunnen worden. Wanneer dit volgens planning verloopt is deze kas naar verwachting eind dit jaar gereed.

Verdere integratie in de praktijk vraagt medewerking van tuinders, kassenbouwers en toeleverden industrie. Het is daarom de bedoeling om in de komende periode te overleggen met deze tuinders en geïnteresseerde kassenbouwers. Dit overleg moet resulteren in voldoende orders voor General Electric voor zigzagvormige kanaalplaten, waarna zij in de loop van 2002 over willen gaan tot productie van deze platen. Mogelijk wordt gedurende de opschaling tevens een tweede producent van kanaalplaten bij het project betrokken.

## 6. Conclusies

Een dubbelwandige zigzagplaat heeft een lichttransmissie van maximaal 81% voor diffuus opvallend licht. Voor loodrecht opvallend licht is de lichttransmissie 90,2 %. Hiermee is de lichttransmissie vergelijkbaar met enkelglas. Ten opzicht van een standaard dubbelwandige kanaalplaat is een toename van (diffuse) lichttransmissie 12,4 %. Een samenvatting van de lichttransmissies is weergegeven in tabellen 3-5 en 3-6. Het verbeteren van de materiaalsamenstelling, namelijk het weglaten van pigment, heeft geresulteerd in 4% extra lichtwinst.

Door het aanbrengen van een antireflectiecoating kan de lichtdoorlatendheid met 2-4% verhoogd worden. Nog eens 1-2% lichtwinst kan bereikt worden door roedenloos te beglazen, namelijk de zijdelingse



verbinding van de kunststofplaten gebeurt dan met een klikverbinding. De isolatiewaarde bij de gekozen optimale geometrie van de plaat is  $3,4 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Dit is een reductie van 45 % ten opzichte van een enkelglas bedekking. De optimale vorm van de plaat is een moduulmaat met een zigzagprofiel van 50 mm (2x de tussenschotjes afstand) bij een plaatdikte van 25 mm en een helling van het zigzagprofiel van  $48^\circ$ . Het materiaalverbruik is ca.  $2,5 \text{ dm}^3$  per  $\text{m}^2$ . Dit zal resulteert in een prijs van de dubbelzigzagplaat van ca. f 50,- per  $\text{m}^2$ .

Er is een lichtwinst van tenminste 2 % mogelijk ten opzichte van de standaard Venlo kas en afhankelijk van de oriëntatie is dit 's winters zelfs 4 - 6 %. Door de goede mechanische eigenschappen is een directe overspanning mogelijk van de halve kapbreedte bij een kapbreedte van 4,80 m. Door de platen uit te voeren met een klikverbinding kunnen de roeden vervallen.

De jaarrond berekeningen met het kasklimaat-simulatiemodel KASPRO geven voor de energievragende gewassen, zoals potplanten, tomaat en paprika een besparing van ca. 16-22 %. Minder energie vragende gewassen, zoals snijbloemen resulteren in een besparing van ca. 16 %. Grotere besparingen zijn mogelijk wanneer hogere luchtvochtigheden in de kas worden toegelaten. Extra energiebesparing is mogelijk met ontvochtiging door energiezuinige warmte terugwinning uit ventilatielucht door inbouw van een warmtewisselaar. Een dubbelwandige dek resulteert in minder condensatie en daarom in meer vocht in de kaslucht, waardoor er ook meer gelucht zal moeten worden.

## 7. Aanbevelingen

De hier uitgewerkte studie heeft laten zien dat het gebruik van het innovatief zigzagvormig kasdek een hoge energiebesparingspotentie heeft (tot ruim  $15 \text{ m}^3$  aardgas per  $\text{m}^2$  per jaar op een verbruik van  $40 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  per jaar en dat de invoering mogelijk is tot 80-90 % van alle teelten. Op grote schaal invoering in de praktijk zal vragen om langdurige ondersteuning en demonstratieprojecten.

Het verdient aanbeveling verder onderzoek te concentreren op de verdergaande mogelijkheden voor toenemende energie besparing met behoud van lichttransmissie. Mogelijkheden hiervoor zijn ontvochtiging door energiezuinige warmte terugwinning uit ventilatielucht door inbouw van een warmtewisselaar. De totale energiebesparing wordt dan geschat op ca. 30 %. Een tweede mogelijkheid is het vervangen van de aluminium profielen door kunststof waarbij koude bruggen zoveel mogelijk vermeden worden. Een derde mogelijkheid is het gebruik van extern aangevoerde  $\text{CO}_2$  om de productie op peil te houden bij een verdere verlaging van het energieverbruik.

## 8. Nawoord

Dit onderzoek is tot stand gekomen met financiële ondersteuning van NOVEM, Productschap Tuinbouw en LNV. Wij danken de NOVEM, Productschap Tuinbouw en LNV voor de financiële ondersteuning van dit onderzoek.



### 9. Literatuur

- [1] Swinkels, G.L.A.M, P.J. Sonneveld and G.P.A. Bot, Improvement of Greenhouse Insulation with Restricted Transmission Loss through Zigzag Covering Material,, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **79**, No. 1, May 2001, p. 91-97.
- [2] Stoffers, J.A., (1998), Light Transmission of Zigzag-shaped Multispan Greenhouses. *Acta Hort.* **456**, ISHS, Wageningen, p. 382-291
- [3] Stoffers, J.A., (1967),. Lichtdoorlatendheid van met vlakke materialen bedekte warenhuizen. (Light transmission of multispan greenhouses clad with flat materials). Wageningen, IMAG. ITT publ. 14, 35 pp.
- [4] Bakker, J.C., Duffhues W.F.S., Kool E., Zwart H.F., van de Braak N.J., Kas van de Toekomst, september 1998, IMAG-DLO Wageningen
- [5] Waaijenberg D., Keuze tussen transparante omhullingmaterialen voor tuinbouwkassen, Nota P97-29, mei 1997  
IMAG-DLO Wageningen
- [6] P.J. Sonneveld en J.C. Bakker, Vooronderzoek Innovatieve Kas- en Teeltconcepten, 1 februari 1999, IMAG Nota V99-08 IMAG Wageningen
- [7] P.J. Sonneveld, Floridakas voorzien van uniek kasdek, *Oogst Tuinbouw*, 1 december 2000, p. 35
- [8] P.J. Sonneveld, Floridakas: Lichtrijke kunststofplaat op Kas van de Toekomst, *Vakblad voor de Bloemisterij*, **48** (2000),p. 44 -45
- [9] P.J. Sonneveld, Nieuwe kunststofdek bespaart een ton per jaar, *Groente en fruit Glasgroenten*, 1 december 2000, p. 12-13
- [10] NEN 3859 (1996) Tuinbouwkassen – Constructieve eisen, NNI, Delft, p. 20
- [11] NEN 2675 (1990), Vlakglas; Tuinbouwglas; Bepaling van de lichtdoorlatendheid, Nederlands Normalisatie instituut, Delft,4 pag.
- [12] prEN ISO 10077-2, Europese norm voor de berekening van de U-waarde
- [13] Derikx, P.J.L., J.C.J. Ammerlaan en H.D.M. Kool (2000), Kas van de toekomst: nu onderzoek, straks werkelijkheid, *Vakblad voor de Bloemisterij*, no. 19, 12 mei 2000
- [14] P.G. Out, J.J. Breuer, Effect van gecoat glas op de lichttransmissie en het energieverbruik van tuinbouwkassen, IMAG-DLO rapport 95-1 maart 1995
- [15] E.Hecht, A. Zajac, *Optics*, Addison-Wesley company, sixth printing 1980
- [16] M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics*, Cambridge University press, seventh expanded edition, 1999
- [17] P.J. Sonneveld, Zigzagkas voor Zuinige kas, *Energietechniek*, 7/8 jaargang 79, juli/augustus 2001, p. 348-351
- [18] M.N.A. Ruijs, R.A.F. van Paassen, Bedrijfseconomische beoordeling van verschillende kasdekmaterialen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Intern Rapport Nr. 246 juni 2001
- [19] Swinkels G.L.A.M. Huijs J.P.G. De Zwart H.F., 2000. Standaardteelten, Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG) Wageningen, IMAG Nota P 2000-85 43 pag



### 10. Appendix Datasheet dubbelzigzag-materiaal

#### Specificaties

Tabel 1. Overzicht van de specificaties van de kanaalplaat, 20 februari 2001

Lichttransmissie loodrecht opvallend licht	90 [%]
Lichttransmissie diffuuslicht	81 [%]
Warmtedoorlaat coëfficiënt	3,4 [W/m <sup>2</sup> K]
Materiaal	polycarbonaat
Coating buitenzijde	Easy clean
Coating binnenzijde	Anti drip
Maximum overspanning zonder constructiedelen	2,5 [m]
Brandveiligheid	zelfdovend
Bestendigheid tegen mechanische belasting zoals hagel	goed
Levensduur	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Meer dan 15 jaar</li><li>➤ GEP geeft 10 jaar garantie op de blijvende lichttransmissie</li></ul>

- 1) Gemeten waarde volgens NEN 2676; door de clickverbinding van de platen zijn er geen roeden nodig waardoor een extra lichttransmissie van ca. 1 % haalbaar is.
- 2) Ter vergelijking de transmissie voor loodrecht opvallend licht voor een enkellaags glasdek (Venlo) is 89-91 %.
- 3) Ter vergelijking de transmissie voor diffuus licht voor een enkellaags glasdek (Venlo) is ca. 81 %.
- 4) Berekende waarde volgens de Europese standaard prEN ISO 10077-2 bij een plaatdikte van 25 mm; ter vergelijking enkel glas heeft een warmtedoorlaat coëfficiënt van ca. 6 W/m<sup>2</sup>K.
- 5) Berekend met de wind - en sneeuwbelastingen volgens de Nederlandse norm NEN 3859.
- 6) Afname lichttransmissie in tien jaar is gegarandeerd minder dan 2 %