

# Haalbaarheidsstudie energiebesparend bodemafdekfolie

---

V. Mohammadkhani  
P.J. Sonneveld

---

Onderzoek in het kader van het Convenant Glastuinbouw en Milieu

Uitgevoerd door



In opdracht van



Projectnr. PT 11200





# Haalbaarheidsstudie energiebesparend bodemafdekfolie

---

V. Mohammadkhani  
P.J. Sonneveld

Februari 2004

Title                   Haalbaarheidsstudie energiebesparend bodemafdekfolie  
Author(s)             V.Mohammadkhani; P.J. Sonneveld  
A&F number          099  
ISBN-number         90-6754-762-X  
Date of publication   Februari 2004  
Confidentiality      N/A  
Project code.         N/A  
Price

Agrotechnology and Food Innovations B.V.  
P.O. Box 17  
NL-6700 AA Wageningen  
Tel: +31 317 475 024  
E-mail: [info.agrotechnologyandfood@wur.nl](mailto:info.agrotechnologyandfood@wur.nl)  
Internet: [www.agrotechnologyandfood.wur.nl](http://www.agrotechnologyandfood.wur.nl)

© 2004 Agrotechnology & Food Innovations B.V

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, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.  
De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher.  
The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

## Voorwoord

In het kader van het thema Kas- en Teeltconcepten van het energieonderzoeksprogramma van het Glami Convenant is in opdracht van het Productschap Tuinbouw (Projectnummer PT 11200) en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (LNV) een haalbaarheidsstudie verricht naar de energiebesparingsmogelijkheden van bodemafdekfolies voor tuinbouwkassen met aangepaste spectrale eigenschappen.

Wij danken het Productschap Tuinbouw en LNV voor de opdracht en financiële ondersteuning van dit onderzoek.

Agrotechnology & Food Innovations  
Researchgroup Greenhouse Technology



## Inhoud

|   |    |
|---|----|
| Voorwoord .....   | 1  |
| Inhoud.....   | 3  |
| Samenvatting.....                                       | 5  |
| 1 Inleiding .....                                       | 7  |
| 2 Materiaal eigenschappen .....                         | 9  |
| 2.1 Inleiding .....                                     | 9  |
| 2.2 Literatuurstudie .....                              | 9  |
| 2.3 Uitvoering van de optische metingen .....           | 11 |
| 2.4 Resultaten meetgegevens reflecties.....             | 11 |
| 3 Energiegebruik en gewasproductie.....                 | 17 |
| 4 Kosten en baten .....                                 | 20 |
| 5 Conclusies en aanbevelingen .....                     | 20 |
| 6 Literatuur .....                                      | 22 |
| Bijlage I Gegevens spectraal selectieve materialen..... | 24 |





## Samenvatting

Bij de belangrijke energie intensieve glasgroente gewassen wordt op grote schaal witte (reflecterende) bodemafdekfolie gebruikt om het licht bij het bodemoppervlak te reflecteren zodat dit weer door het gewas kan worden benut voor de groei. Dit is vooral effectief bij een jong gewas omdat dan veel licht de bodem bereikt en daar kan worden gereflecteerd.

Vanuit energetisch oogpunt is het efficiënter om een folie te vervaardigen die aan de volgende optische eigenschappen voldoet: een hoge reflectiefactor in het fotosynthetisch actieve golflengtegebied van ca. 400 -700 nm (PAR gebied) omdat dit gebied van belang is voor de gewasproductie én een hoge absorptiefactor in het golflengtegebied van ca. 800 - 4000 nm (NIR gebied) omdat dit gebied van belang is voor de warmtehuishouding van de kas.

Vanuit de kennis bij Agrotechnology and Food Innovations op het gebied van materiaaltechnologie en de energie- en warmtehuishouding van tuinbouwkassen worden zowel de materiaaltechnologische mogelijkheden aangegeven als ook de consequenties voor de condities voor gewasgroei en energiebesparing.

De optische eigenschappen van een aantal witte afdekfolies en aangepaste folies zijn met behulp van een fotospectrometer gemeten. Deze meetgegevens geven aan dat de gebruikte witte afdekfolies voor dit onderzoek in het PAR gebied hoog reflecterend zijn. Echter is gebleken dat het aanbrengen van de tot nu toe gevonden NIR absorberende materialen op de witte afdekfolies de reflectie factor in het PAR gebied verlaagt.

Met het simulatieprogramma KASPRO is berekend wat de energiebesparing zal zijn door toepassing van de aangepaste bodemafdekfolie. Deze berekening is uitgevoerd voor een standaard kas met de energie-intensieve voorbeeldgewassen (tomaat, komkommer, paprika) met enkel kasdek.

Hieruit blijkt dat het energiegebruik slechts in geringe mate wordt beïnvloed (enkele tienden van procenten) tengevolge van de veranderingen in de reflectie factoren. Daarnaast leidt de gevoeligheid van de gewasproductie voor PAR tot een lichte stijging in productie wanneer de reflectie factor voor het PAR gebied toeneemt.

De conclusie van het onderzoek is dat zelfs hele sterke absorptie in het NIR gebied slechts tot een geringe verandering in energiegebruik zal leiden maar dat vooral betere reflectie in het PAR gebied tot betere resultaten leidt.



# 1 Inleiding

Dit onderzoek heeft als doelstelling de haalbaarheid te onderzoeken van een afdekfolie waarmee invangen van een groter deel van de energie-inhoud van het invallende zonlicht in de kas gerealiseerd kan worden met behoud of eventueel verbetering van de lichtbenutting door het gewas voor de groei. De energie intensieve glasgroente gewassen worden in de winter geplant zodat in de wintermaanden, de periode met de grootste warmtevraag, het bodemafdekfolie het meest effectief is om de belichting van het jonge gewas te verhogen. Veel van het gereflecteerde licht wordt echter door dit jonge open gewas weer doorgelaten en het grootste deel hiervan zal dan door het kasdek naar buiten verdwijnen. Indien het mogelijk is een bodemafdekfolie te ontwikkelen waarmee een groter deel van de binnenkomende zonne-energie in de kas bewaard blijft met behoud, of eventueel verbetering van de lichtbenutting door het gewas voor de groei, dan kan een groter aandeel van de warmtevraag van de kas bij de energie intensieve glasgroente gewassen gedekt worden door de beschikbare zonne-energie zodat fossiele energie wordt bespaard.

Om dit te bereiken moet het bodemafdekfolie voldoen aan de volgende eigenschappen: een hoge reflectiefactor in het fotosynthetisch actieve golflengtegebied van ca. 400 -700 nm (PAR gebied) vanwege zijn rol in de gewasproductie én een hoge absorptiefactor in het golflengtegebied van ca. 800 - 4000 nm (NIR gebied) omdat dit gebied van belang is voor de warmtehuishouding van de kas. Globaal wordt de helft van de energie-inhoud van het zonlicht (direct en diffuus) ingestraald in dit gebied.

In hoofdstuk 2 wordt geïnventariseerd of er huidige materialen zijn met de gewenste eigenschappen waarbij nu de indruk bestaat dat deze nog niet zijn vervaardigd omdat de combinatie zo specifiek is. Het hoofddoel zal dan ook zijn om de mogelijkheden na te gaan of de materiaaltechnologie de combinatie van eigenschappen mogelijk maakt.

In hoofdstuk 3 worden de invloed van de materiaaleigenschappen op de energiebesparing en gewasopbrengst bepaald door berekeningen met het simulatiemodel KASPRO. Met de berekeningen zijn tevens contourplots van de index van de gewasproductie (netto fotosynthese) en de index van het energiegebruik gemaakt. Deze contourplots geven een overzicht van de invloed van materiaaleigenschappen op enerzijds energiebesparing en anderzijds gewasproductie.

Hoofdstuk 4 geeft de belangrijkste resultaten en conclusies weer. De aanbevelingen die hieruit voortkomen worden in hoofdstuk 5 besproken.



## 2 Materiaal eigenschappen

### 2.1 Inleiding

Bij het ontwerp van de nu gebruikte folie is door de fabrikanten uitgegaan van maximale reflectie zonder spectrale selectiviteit. Vanuit onderzoek op het gebied van de materiaaltechnologie is bekend dat er mogelijkheden zijn de spectrale eigenschappen van materialen aan te passen.

In het kader van dit onderzoek is het van groot belang dat de reflectie in het PAR gebied (fotosynthetisch actieve straling, ca 400-800nm) hoog blijft zodat er geen reductie in gewasproductie optreedt.

Daarnaast moet de absorptie van het warmtedeel in de bodem d.m.v. de absorptie van de invallende straling in het NIR gebied (ca de helft van de energie-inhoud van de zonnestraling) worden verhoogd. Dit draagt daardoor bij aan de dekking van de warmtebehoefte van de kas. Dit is geen voor de hand liggende combinatie van eigenschappen en voor zover bekend nog niet gerealiseerd in bestaand materiaal.

### 2.2 Literatuurstudie

Er is vanuit de literatuur een inventarisatie gemaakt van de mogelijkheden om via de materiaaltechnologie de optische materiaaleigenschappen van de bodemafdekfolie zo aan te passen dat de reflectiecoëfficiënt in het PAR gebied een hoge waarde heeft en in de rest van het zonlichtspectrum boven 800nm een hoge absorptie- óf transmissiecoëfficiënt heeft.

De gewenste eigenschappen kunnen op twee verschillende manieren verkregen worden:

a. Toevoegen van pigmenten met een hoge absorptie coëfficiënt in het NIR gebied. b. het aanbrengen coating met pigmenten met een hoge absorptie coëfficiënt in het NIR gebied op de folie. Voor beide gevallen zijn er materialen noodzakelijk met een hoge absorptie coëfficiënt in het NIR gebied.

In de literatuur is gezocht naar materialen die in het NIR gebied goede absorbers zijn.

Hieronder wordt een samenvatting van de gevonden materialen gegeven. De bijbehorende grafieken zijn in Appendix I weergegeven.

- i) Product: IR-active Agent KHF-7S  
Kleur: Licht groen  
Chemische formule:  $\text{LaB}_6$   
Firma: Sumitomo Metal Mining CO.,LTD.

De KHF-7S heeft een hoog transmissie waarde van ongeveer 70-80% in het PAR gebied. De transmissie waarde in het NIR gebied daalt tot ca. 40% wat het gevolg kan zijn van goede absorptie in dit gebied. Bovendien is de KHF-7S inorganisch en goed bestand tegen de UV straling en komt, gezien zijn gunstige optische eigenschappen, in aanmerking om als coating gebruikt te worden.

- ii) Product: IR-absorber Pro-Jet 830NP  
Kleur: Donker groen (na bewerking lichtgeel tot bruin)  
Chemische formule: Onbekend  
Firma: Avecia Limited

Pro-Jet 830NP is een IR-absorber met een maximum absorptie bij 810 nm. Dit materiaal heeft goede chemische en thermische stabiliteit. De transparantie van het materiaal in het PAR gebied is afhankelijk van de gebruikte concentratie als coating.

- iii) Product: NEAR INFRARED ABSORBER ADS1065A  
Chemische Formule: C<sub>62</sub> H<sub>92</sub> N<sub>6</sub> F<sub>12</sub> Sb<sub>2</sub>  
Kleur: Donker groen  
Firma: American Dye Source, Inc.

De stabiliteit van deze laser-dye is onbekend. Bovendien, zijn donkergroen kleur kan de reflectie in het PAR gebied verminderen.

- iv) Product: Yellow (Silk Screen) YS-100  
Chemische Formule: Onbekend  
Kleur: Licht geel  
Firma: Epolin, Inc.

Infrared Blocking Silk Screen Inkten zijn sterk absorberend in het NIR gebied (810 nm to 1080 nm). De fabrikant geeft aan dat de stabiliteit van dit product van korte duur is waardoor binnen één jaar moet vervangen worden. Bovendien, de transmissie in het PAR gebied begint boven 450nm wat voor het groeiproces ongunstig is.

- v) Product: Nickel-compound  
Chemical formula: (n-Bu<sub>4</sub>N)[Ni(dphdt)<sub>2</sub>] and (n-Bu<sub>4</sub>N)<sub>0.1</sub>[Ni(dphdt)<sub>2</sub>]  
Synthetisch bereid door: Department of chemistry, Seoul Women's University, South Korea

Het absorptie gebied van (n-Bu<sub>4</sub>N)<sub>0.1</sub>[Ni(dphdt)<sub>2</sub>] is niet breed genoeg m.a.w alleen een kleine gedeelte van NIR gebied wordt geabsorbeerd. In het geval van (n-Bu<sub>4</sub>N)[Ni(dphdt)<sub>2</sub>], de breedte van het absorptiegebied is redelijk terwijl de absorptie is half zo sterk als de eerste compound. In het artikel is geen duidelijkheid over de sterkte van de absorptie ( de schaal van de Y-as), daarvoor was contact opgenomen met de auteur van het artikel maar er werd geen verheldering daarover gegeven.

- vi) Product: Anatase titania coated silica pigments  
Chemische Formule: TiO<sub>2</sub> & SiO<sub>2</sub>  
Synthetisch bereid door: University of Costa Rica, Chalmers University of Technology (Sweden) and Uppsala University (Sweden)

Door de hoge transparantie van dit materiaal in het NIR gebied stijgt de totale som van de reflectie en transmissie factor. Ten gevolge hiervan treedt weinig absorptie (in het NIR gebied) in het materiaal op.

- vii) Product: LaB<sub>6</sub> nanoparticle-dipped in polymer  
Chemische Formule: LaB<sub>6</sub>  
Synthetisch bereid door: University of Technology (Sydney, Australia)

LaB<sub>6</sub> vertoont goede absorptie eigenschap in het NIR gebied terwijl de transmissie in het PAR gebied (voornamelijk voor lagere concentraties 0.01% en 0.02%) redelijk hoog blijft. In Tabel 2-1 worden de gegeven optische eigenschappen van deze materialen samengevat. Daarnaast worden de genoemde materialen beoordeeld of ze aan gewenste eisen voldoen.

Tabel 2-1 Overzicht van de optische eigenschappen van de absorberende materialen in NIR gebied volgens de literatuur/fabrikant.

| Materiaal  | Reflectie (R) |         | Transmissie (T) |         | Eigenschappen   | Maakbaarheid/<br>beschikbaarheid |
|--|---------------|---------|-----------------|---------|---|----------------------------------|
|  | PAR [%]       | NIR [%] | PAR [%]         | NIR [%] |   |                                  |
| KHF [1]<br>(paragraaf 2.2 i)   | -             | -       | 78              | 50-70   | Redelijk hoge transmissie waarde in het PAR-gebied                | Goed Beschikbaar                 |
| ProJet 830NP<br>AVECIA [2]<br>(paragraaf 2.2ii)                              | -             | -       | 20-30           | 10-60   | Positief  |                                  |
| ADS1065A [3]<br>(paragraaf 2.2iii)   | -             | -       | 80-90           | 20-60   | Organisch materiaal breekt snel af, daarom vervalt dit materiaal. |                                  |
| YS-100<br>Epolin [4]<br>(paragraaf 2.2iv)                                    | -             | -       | 80              | 0       | Korte levensduur  |                                  |
| [Ni-(dphdt) <sub>2</sub> ] <sup>n</sup> –<br>complex [5]<br>(paragraaf 2.2v) | -             | -       | -               | -       |   | Niet Beschikbaar                 |
| Silica deeltjes ge-coat met TiO <sub>2</sub> [6]<br>(paragraaf 2.2vi)        | 60-70         | 60-70   |                 |         | Negatief  |                                  |
| LaB <sub>6</sub> (0.03 %) [7]<br>(paragraaf 2.2vii)                          | -             | -       | 50              | 20      | Lage transmissie in NIR kan hoge absorptie betekenen              | Goed Beschikbaar                 |

Door gebrek aan exacte data voor reflectie- of transmissiefactoren in de desbetreffende literatuur en informatiebladen van fabrikanten, zijn de aangegeven waarden in de bovenstaande tabel van de grafieken afgeleid. De golflengte afhankelijke reflectie  $R(\lambda)$  kan uit de absorptie  $A(\lambda)$  en Transmissie  $T(\lambda)$  berekend worden volgens:  $R(\lambda) = 1 - A(\lambda) - T(\lambda)$

### 2.3 Uitvoering van de optische metingen

Met behulp van een spectrofotometer (Perkin-Elmer) zijn metingen gedaan voor het gebied 300-2500nm (UV-VIS-IR). Deze metingen betreffen de reflectiesom voor diffuus en loodrecht licht voor een deel van het UV-gebied (300-380nm), het gehele Visuele gebied (380-780nm) en een deel van het Infrarode gebied (780-2500nm).

Uit deze meetwaarden kan de reflectie voor PAR-licht (400-700nm) worden afgeleid volgens NEN-2675. Voor het NIR gebied is een gemiddelde waarde berekend.

Bij de monsters van Oerlemans plastic BV, Merrem ODS BV, Hyplast NV en Holland Shielding Systems BV is in eerste instantie gemeten van 400-2500nm. Nadat twee folies door Sumitomo Metal Mining Co.,Ltd. zijn voorzien van een KHF-7A-coating is deze meting nogmaals uitgevoerd, doch nu voor het gebied 300-2500nm.

### 2.4 Resultaten meetgegevens reflecties

In tabel 2-2 staan de gemiddelde waarden voor de gemeten reflectie, voor het gebied 400-

700nm gewogen naar NEN-2675. Voor het gebied 800-2500nm is een gemiddelde waarde berekend. De meting is uitgevoerd over het gebied 300-2500nm.

Tabel 2-2 Overzicht van de meetresultaten van de basis folies, voor het 400-700nm-gebied gewogen volgens NEN 2675 en het 800-2500nm-gebied ongewogen.

| Nr. | Materiaal  | IMAG-code | Dikte (micron) | Reflectie (%) 400-700nm (PAR vlg. NEN 2675) | Reflectie (%) 800-2500nm (ongewogen) |
|-----|--|-----------|----------------|---|--------------------------------------|
|     |  |           |                | Direct+diffuus                              | Direct+ diffuus                      |
| 1   | Oerlemans Monoflex afdek folie   | OE02F     | 70             | 74,7  | 72,6                                 |
| 2   | Merrem ODS PPI conductive adhesive transfer tape, type RD-073 C (met 1 beschermfolie aanwezig) | MR02A     | 100            | 68,2  | 65,8                                 |
| 3   | Hyplast Hyflex PE-afdekfolie, wit  | HP02J     | 70             | 75,0  | 73,7                                 |
| 4   | Hyplast Hyflex PE-afdekfolie, zw/wit   | HP02K     | 70             | 66,2  | 42,3                                 |
| 5   | Holland Shielding Systems, ITO-folie   | HS02A     | 25             | 52,7  | 78,5                                 |

De folies 2 en 5 zijn niet direct folies die in de glastuinbouw worden toegepast. Het betreft hier een speciale tape respectievelijk folie die vooral toepassing vinden in de Elektronica.

De folies 1 (Oerlemans monoflex afdek folie, wit) en 3 (Hyplast Hyflex PE afdekfolie, wit) zijn geselecteerd voor verdere ontwikkeling vanwege hogere reflectiewaarden in het PAR-gebied. Deze zijn door Sumitomo Metal Mining Co. Ltd. voorzien van een KHF-7A coating met twee verschillende intensiteiten, n.l. 77% en 87%. Bovendien heeft Sumitomo er een monster van PE-folie bij gedaan waarop ook een KHF-7A coating is aangebracht van 78%. Van alle folies met een coating, is wederom de reflectiewaarde gemeten, eveneens voor het gehele golflengtegebied 300-2500nm. Van de Sumitomo folie zijn beide kanten op reflectie beproefd, omdat niet bekend was aan welke kant de coating zat en of de folie in het materiaal is verwerkt.

De folie 4 (Hyplast Hyflex PE afdekfolie zw/wit) is dezelfde folie als folie 3 met het verschil dat het zwart is aan de achterkant. Opvallend is dat deze folie in vergelijking met andere afdekfolies veel lagere reflectie waarde in het NIR gebied heeft.

Verder is een proefmonster gemaakt op basis van de Hyplast Hyflex PE afdekfolie voorzien van LaB<sub>6</sub> coating.

Daarnaast zijn een paar proefmonsters op verzoek gemaakt bij A. Schulman Plastics NV. d.m.v. aanbrenge van de NIR absorberende coating ProJet 830NP (AVECIA) op polyetheen folies voorzien van TiO<sub>2</sub>.



In tabel 2-3 staan de gemeten reflectiewaarden van deze gecoate materialen over het gebied 300-2500nm, voor het gebied 400-700nm gewogen naar NEN-2675 en voor het gebied 800-2500nm een rekengemiddelde.

Tabel 2-3 Overzicht van de meetresultaten van de basis folies met coating, 400-700nm-gebied gewogen volgens NEN 2675 en het 800-2500nm-gebied ongewogen.

| Nr. | Materiaal   | IMAG-code | Dikte (micron) | Reflectie (%)                 | Reflectie (%)          |
|-----|---|-----------|----------------|-------------------------------|------------------------|
|     |   |           |                | 400-700nm (PAR vlg. NEN 2675) | 800-2500nm (ongewogen) |
|     |   |           |                | Direct+diffuus                | Direct+ diffuus        |
| 1a  | Oerlemans Monoflex afdek folie + Sumitomo HKF-7A (77%) coating (2 <sup>e</sup> serie)           | ST03A     | 70             | 30,4                          | 15,6                   |
| 1b  | Oerlemans Monoflex afdek folie + Sumitomo HKF-7A (87%) coating (2 <sup>e</sup> serie)           | ST03B     | 70             | 45,6                          | 25,5                   |
| 3a  | Hyplast Hyflex PE-afdekfolie, wit+ Sumitomo HFK-7A (77%) coating (2 <sup>e</sup> serie)         | ST03C     | 70             | 29,4                          | 15,4                   |
| 3b  | Hyplast Hyflex PE-afdekfolie, wit+ Sumitomo HFK-7A (87%) coating (2 <sup>e</sup> serie)         | ST03D     | 70             | 47,1                          | 27,4                   |
| 6a  | Sumitomo PE-folie, transparant+ Sumitomo HFK-7A (78%) coating (2 <sup>e</sup> serie), onderkant | ST03E1    | 55             | 12,6                          | 10,2                   |
| 6a  | Sumitomo PE-folie, transparant+ Sumitomo HFK-7A (78%) coating (2 <sup>e</sup> serie), bovenkant | ST03E1    | 55             | 11,7                          | 9,0                    |
| 3c  | Hyplast Hyflex PE-afdekfolie, wit+ 0.01mg/m <sup>2</sup> LaB <sub>6</sub> coating               | ST03F     | 70             | 56,0                          | 37,5                   |
| 7a  | Schulman PE-folie, wit+ProJet 830NP (0.01%) coating   | SM03A     | 60             | 54,9                          | 36,9                   |
| 7b  | Schulman PE-folie, wit+ProJet 830NP (0.02%) coating   | SM03B     | 65             | 56,9                          | 39,5                   |
| 7c  | Schulman PE-folie, wit+ProJet 830NP (0.5%) coating  | SM03C     | 65             | 41,5                          | 34,7                   |

Een aantal van de monsters van de basis folies uit de eerste meting, zijn na een half jaar opnieuw gemeten. Daaruit blijkt dat de reflectiewaarde van de meeste folies voor hele spectrum (PAR en NIR) vermindert. Dit geldt echter niet voor alle folies, de reflectiewaarden in het PAR- en NIR-gebied voor Hyplast Hyflex PE-afdekfolie (code HP02K) met zwarte achterkant blijven constant. De resultaten zijn in tabel 2-4 weergegeven.

Tabel 2-4 Overzicht van de meetresultaten van basis folies na een half jaar, 400-700nm-gebied gewogen volgens NEN 2675 en het 800-2500nm-gebied ongewogen.

| Nr. | Materiaal   | IMAG-code | Dikte (micron) | Reflectie (%)<br>400-700nm<br>(PAR vlg. NEN<br>2675) | Reflectie (%)<br>800-2500nm<br>(ongewogen) |
|-----|---|-----------|----------------|--|--|
|     |   |           |                | Direct+diffuus                                       | Direct+ diffuus                            |
| 1   | Oerlemans Monoflex afdek folie (1 <sup>e</sup> serie)   | OE02F1    | 70             | 65,6   | 48,5                                       |
| 2   | Merrem ODS PPI conductive adhesive transfer tape, type RD-073 C (met 1 beschermfolie aanwezig) (1 <sup>e</sup> serie) | MR02A1    | 100            | 48,0   | 41,9                                       |
| 3   | Hyplast Hyflex PE-afdekfolie, wit (1 <sup>e</sup> serie)  | HP02J1    | 70             | 64,7   | 50,3                                       |
| 4   | Hyplast Hyflex PE-afdekfolie, zw/wit (1 <sup>e</sup> serie)   | HP02K1    | 70             | 66,8   | 42,3                                       |
| 5   | Holland Shielding Systems, ITO-folie (1 <sup>e</sup> serie)   | HS02A1    | 25             | 14,8   | 73,5                                       |

Om een beeld te geven van het verloop van de reflectiewaarde over het beschouwde golflengtegebied zijn in figuur 2-8 de reflectiespectra van alle gemeten folies met een basis van de Hyplast Hyflex afdekfolie bijeengebracht.

Fig. 2-8 Reflectiespectra voor bodemfolies van Hyplast zonder en met KHF-7A-coating.

Uit de Figuur 2-8 blijkt dat de reflectie spectrum van de Hyplast PE folie wit (HP02J) binnen een periode van 6 maanden aanzienlijk veranderd is (bovenste twee lijnen), terwijl die voor de Hyplast PE folie wit/zwart (HP02K) hetzelfde is gebleven (oranje lijn). Verder is te zien dat de reflectiewaarde van de folies door het aanbrengen van de coating sterk verlaagd wordt, terwijl deze in het 400-700 gebied nog relatief het hoogste is.

In Figuur 2-9 zijn de reflectiespectra van alle gemeten folies met een basis van Oerlemans Monoflex afdekfolie weergegeven. Het reflectiespectrum van de Oerlemans Monoflex folie vertoont hetzelfde verloop in de tijd als de Hyplast Hyflex folie. De reflectiewaarde van de gecoate folies, met dezelfde coating percentages als die van de Hyplast Hyflex folies, in het PAR en NIR gebied laten een grotere reductie zien.

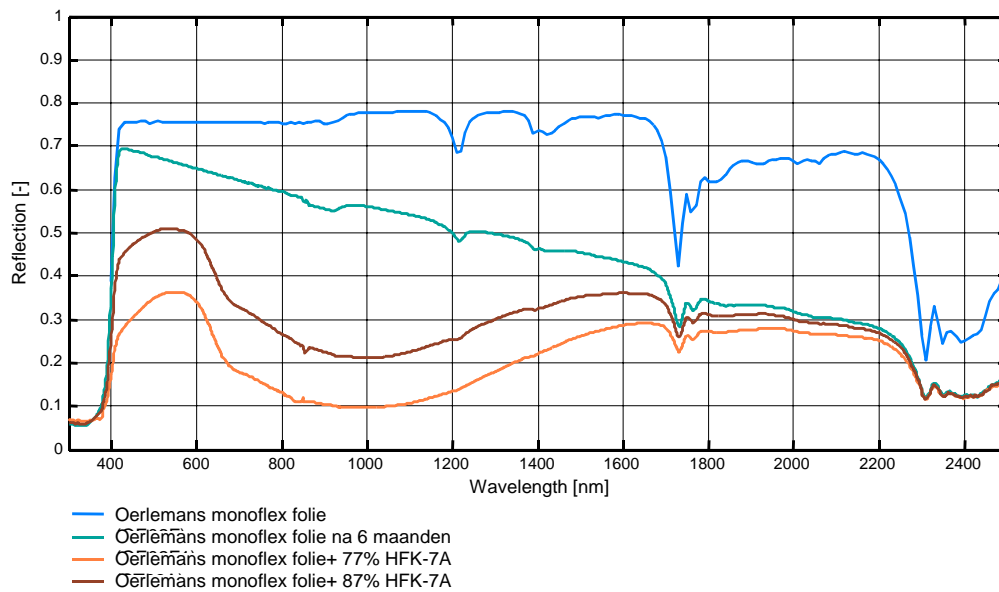


Fig. 2-9 Reflectiespectra voor bodemfolies van Oerlemans zonder en met KHF-7A-coating.

In Figuur 2-10 zijn de reflectiespectra van alle gemeten folies met een basis van Schulman PE folies weergegeven.

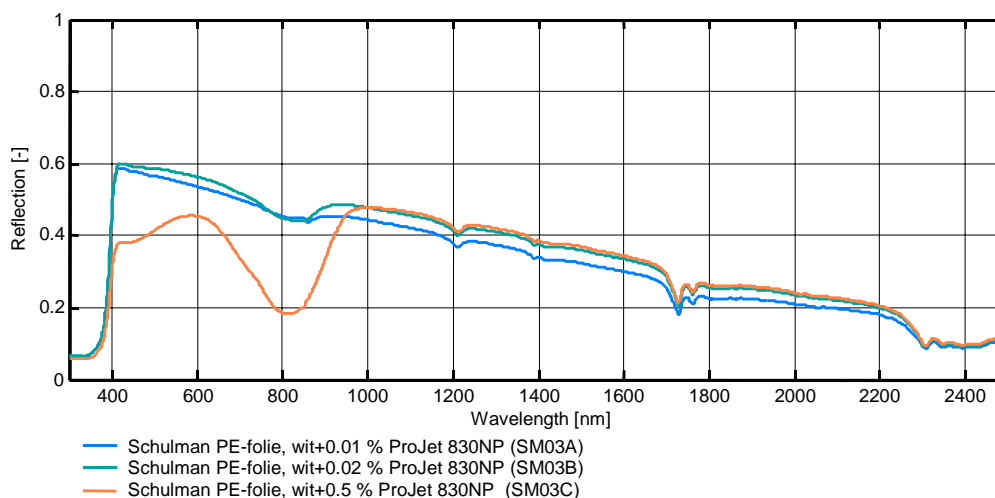


Fig. 2-10 Reflectiespectra voor PE folies van Schulman met ProJet 830NP coating.

Uit Figuur 2-10 blijkt dat de lage concentraties van ProJet 830NP weinig invloed op het reflectiespectrum van de PE-folie hebben. Bij een hogere concentratie van de ProJet 830NP daalt de reflectiewaarde in het NIR gebied (vooral rond 800nm). Het bijkomende nadelige effect is dat de reflectiewaarde in het PAR gebied reduceert tot 40%.

Samengevat geven de coatings de verwachte daling van de reflectie, dus toename van de absorptie in het NIR-gebied, maar dat gaat steeds ook gepaard met een afgenomen reflectie van PAR.

### 3 Energiegebruik en gewasproductie

Met behulp van het simulatiemodel voor kasklimaat KASPRO [8] zijn berekeningen uitgevoerd om het effect van de eigenschappen van de bodemafdekfolie op het gasverbruik en de gewasproductie te bepalen. De berekeningen betreffen de jaarrond teelt van tomaat, paprika en komkommer met het bijbehorend verloop van het bladoppervlak en setpointinstellingen. Als standaard afdekfolie wordt in de praktijk meestal een witte PE-folie gebruikt. De gemeten reflectie daarvan is na een half jaar gebruik voor PAR 65% en voor NIR 55%. Deze eigenschappen zijn gebruikt in de referentieberekening. Ten opzichte van de referentie is eerst de reflectie voor PAR gevarieerd van 0.1 tot 0.9 bij een vaste reflectie van 0.55 voor NIR en vervolgens is de reflectie voor NIR gevarieerd bij een vaste reflectie van 0.65 voor PAR. De voor tomaat berekende gasverbruiken en netto productie van droge stof (DS) zijn geïndexeerd ten opzichte van de referentie en in Fig. 3-1 weergegeven als functie van de reflectiecoëfficiënten.

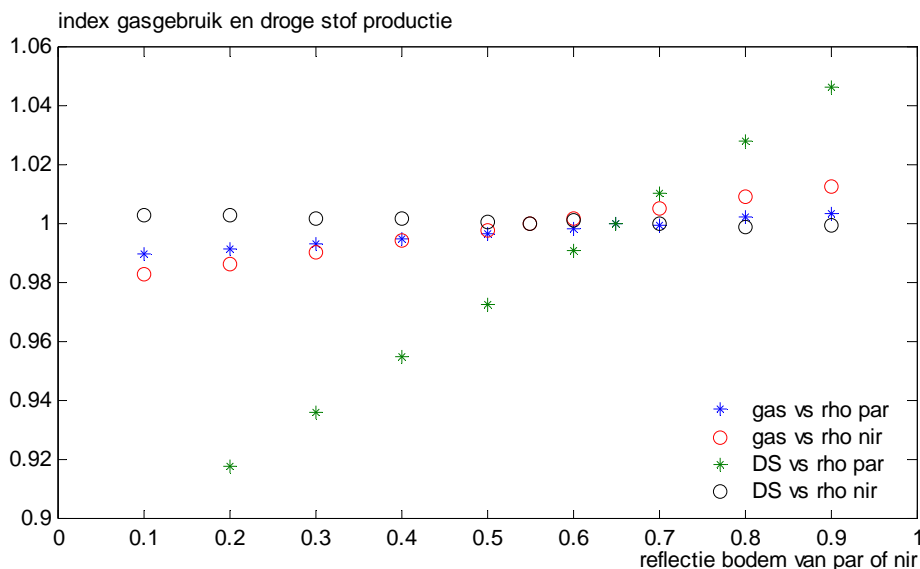


Fig. 3-1 Index van het gasverbruik en gewasproductie bij verschillende waarden van de bodemreflectie voor PAR en NIR. De index is 1 voor 65% reflectie van PAR en 55% reflectie van NIR.

Wat in figuur 3-1 direct opvalt, is dat de gevoeligheid voor de reflectie van PAR en NIR van het gasverbruik veel kleiner is dan de gevoeligheid van de gewasproductie. Er is een daling van ca 3% voor het gasverbruik met afnemende reflectie voor NIR van 0.9 naar 0.1 en bij PAR is dat een daling van iets meer dan 1 procent. Deze trend kan worden begrepen uit de lagere absorptie van zonne-energie door de bodem en daarmee door de kas als geheel bij hogere reflectie door de bodem.

Zoals men kan verwachten is de gevoeligheid van de gewasproductie voor de reflectie van NIR ook gering. Hier is een licht dalende trend te zien bij toenemende reflectie (ca. 0.3% bij toenemende reflectie van 0.1 naar 0.9). Deze kan worden verklaard uit het feit dat de absorptie van NIR door het gewas wat toeneemt en de donkerrespiratie van het gewas groter wordt door een (licht) verhoogde gewasstemperatuur.

De gevoeligheid van de gewasproductie voor de reflectie van PAR is daarentegen veel groter. De netto fotosynthese stijgt met ca. 13% als de PAR reflectie toeneemt van 0.2 naar 0.9

Uit Figuur 3-1 kan men afleiden dat verlaging van de reflectiecoëfficiënt van de bodemafdekfolie weliswaar leidt tot een verlaagd energiegebruik, maar dat voorkomen moet worden dat de reflectie van PAR afneemt omdat dat relatief sterker doorwerkt in verlaagde productie. Juist verhoging van de reflectie voor PAR lijkt interessant, omdat het tot productieverhoging leidt. Dat zou dan wel gepaard gaan met een hoger energiegebruik, maar dat is ten opzichte van de productietoename gering zodat de energie-efficiëntie zal verbeteren. Bovendien lijkt het erop dat het hogere gebruik, door een wat lagere reflectie voor NIR te realiseren, gecompenseerd zou kunnen worden.

Om te verifiëren of er geen ongewenste interactie optreedt bij gelijktijdige wijziging van de reflectie voor NIR en PAR zijn eveneens voor tomaat de productie en het energiegebruik berekend voor alle combinaties van de reflectiecoëfficiënten voor NIR en PAR tussen 0.1 en 0.9.

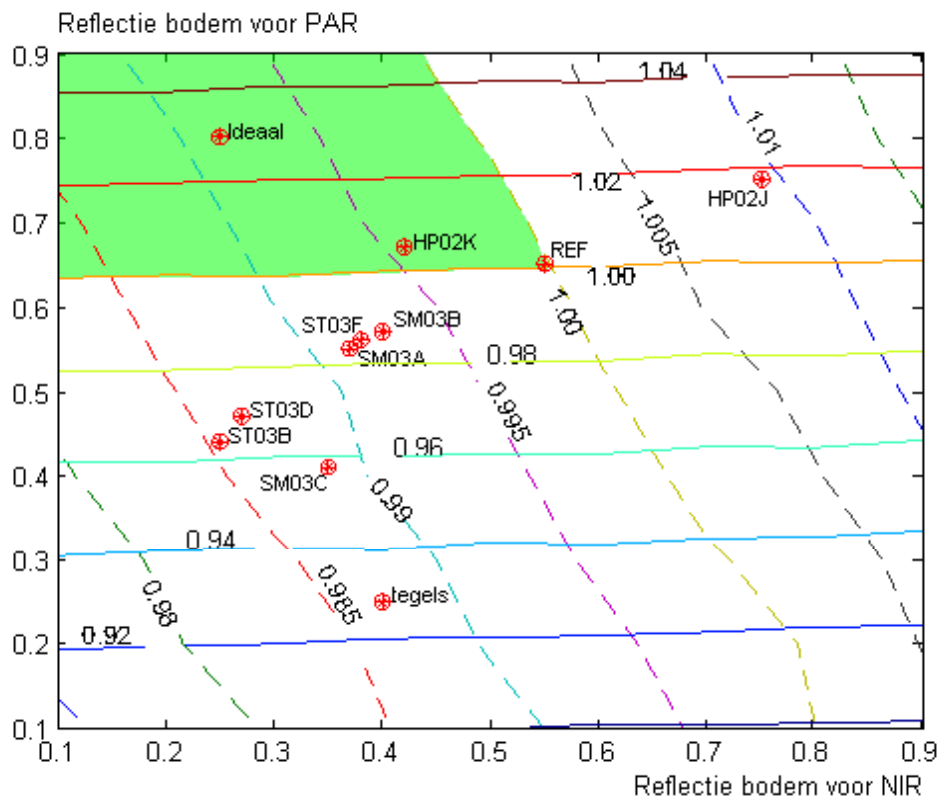


Fig. 3-2 Iso-productie-indexlijnen (getrokken) en iso-energiegebruiksindexlijnen (onderbroken) als functie van de waarden voor NIR en PAR van de reflectie door bodemafdekfolie.

In Figuur 3-2 zijn contourplots van de index van de gewasproductie (netto fotosynthese) en de index van het energiegebruik weergegeven. Op de assen zijn de reflectiecoëfficiënten van de afdekfolie op de bodem voor NIR (x-as) en PAR (y-as) uitgezet. De getrokken lijnen zijn lijnen van gelijke gewasproductie en de gestreepte lijnen zijn lijnen van gelijk energiegebruik. Waar de iso-productielijn met de index 1 de iso-energielijn met index 1 snijdt, heeft de bodem de eigenschappen van de referentie.

Willen we minder energie gebruiken dan in de referentie dan moeten de eigenschappen van de afdekfolie links van de iso-energielijn met index 1 liggen. Willen we meer productie dan in

de referentie dan moeten de eigenschappen boven de iso-productielijn met index 1 liggen. Dit betekent dat de gewenste eigenschappen van de afdekfolie moeten liggen in het groene gebied.

Van een aantal verschillende materialen voor afdekfolie zijn de optische eigenschappen gemeten aan proefstukken (zie paragraaf 2.4). In Figuur 3-2 is een aantal van deze folies aangegeven met hun samplecode. Tevens zijn betontegels en een "ideaal" folie aangegeven. Het "ideale" folie heeft een PAR-reflectie van 0.8 en een NIR-reflectie van 0.25, respectievelijk een heel hoge en heel lage waarde die elk op zich wel gerealiseerd kunnen worden maar (nog) niet in combinatie voorkomen. Uit het diagram wordt duidelijk dat slechts één van de gemeten foliesamples (HP02K) eigenschappen heeft, die in het gewenste gebied liggen. Daarbij moet nog opgemerkt worden dat HP02J hetzelfde materiaal is als het folie dat voor de referentie berekening is gebruikt met dit verschil dat het referentiefolie een half jaar in gebruik is geweest en HP02J de waarden in ongebruikte staat heeft.

Met een "ideale" folie kan ca. 0.8% bespaard worden op het energiegebruik en neemt de productie toe met ca. 3%, zodat de energie-efficiëntie met bijna 4% verbetert. Indien bij gelijkblijvende productie (ongewijzigde PAR-reflectie) de NIR-reflectie sterk kan worden verlaagd, dan zou een energiebesparing van bijna 1.5% worden bereikt t.o.v de referentie. De berekeningen zijn voor de gewassen paprika en komkommer herhaald met de afdekfolie van de referentie en met een afdekfolie met ideale eigenschappen.

De resultaten gaven ongeveer hetzelfde beeld te zien als bij tomaat. Bij paprika zijn de effecten iets sterker (0.9% energiebesparing en 4% productieverhoging) en bij komkommer iets minder sterk (0.7% energiebesparing en 2.8% productieverhoging). De verschillen worden veroorzaakt door de verschillende verlopen van het bladoppervlak (leaf area index) gedurende de teelt.

De invloed van het gebruik van temperatuurintegratie op de besparings- en productie-effecten is onderzocht door berekeningen voor tomaat, paprika en komkommer uit te voeren met een bandbreedte van  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  voor de referentie en de "ideale" folie. Hieruit bleek dat de relatieve effecten maximaal enkele tienden van procenten veranderden.

## 4 Kosten en baten

Om de perspectieven van verbeterde afdekfolies te kunnen bepalen moeten de kosten tegen de baten worden afgewogen.

De kostprijs van het coating materiaal LaB<sub>6</sub> bij afname van grote hoeveelheden is ligt tussen 3 en 4 Euro per kilogram. Bij een applicatie op een folie zal de meerprijs ca. 8 Eurocent per m<sup>2</sup> bedragen.

De baten worden gevormd door het bespaarde aardgas en de eventuele meerproductie. De hoogste aardgasbesparing kan worden bereikt met een (transparante) PE-folie voorzien van HFK7A (code ST03E), circa 2.5%. Dit komt bij een gebruik van 40 m<sup>3</sup> gas per m<sup>2</sup> neer op een besparing in de orde van 15 Eurocent per m<sup>2</sup>, zodat de kostprijs in minder dan een jaar wordt terugverdiend. Er treedt echter bij gebruik van dit materiaal ook een aanzienlijk productieverlies op (ca. 9%), zodat netto geen besparing optreedt en de kosten niet worden goedgeemaakt door de besparingen. Ook combinaties van HFK7A met witte PE-folies (ST03A t/m D) of combinaties van witte folie met ProJet 830NP of LaB<sub>6</sub> leiden tot een zodanig productieverlies dat er geen netto besparing optreedt.

De enige folie waarbij dat wel het geval is, is de zwart/witte PE folie (code HP02K) die circa 0.5% energiebesparing (3 Eurocent) en 0.5% productieverhoging (na aftrek van variabele kosten ca. 15 tot 18 Eurocent per m<sup>2</sup>) oplevert.

De meerkosten van de zwart/witte folie zijn maximaal 0.1 Eurocent per m<sup>2</sup>, zodat gebruik van deze folie ook financieel voordeel oplevert.

Met de "ideale" folie zou ca. 0.8% bespaard kunnen worden op energie (4.8 Eurocent) en zou de productie met ca. 3% (90 Eurocent) toenemen. Een dergelijk folie bestaat (nog) niet en is met de gevonden coatings niet te realiseren zodat geen uitspraak gedaan kan worden over de kosten en daarmee ook niet over de financiële haalbaarheid.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

De voornaamste conclusies die uit dit haalbaarheidsonderzoek naar voren komen zijn:

- Uit de meetresultaten blijkt dat de huidige bodemafdekfolies een redelijk goede reflectie factor in het PAR gebied hebben. Echter, deze reflectiefactor neemt met de tijd af met uitzondering van één folie (code HP02K).
- De gevoeligheid van de productie voor veranderingen in de PAR-reflectie van een bodemafdekfolie is veel groter dan de gevoeligheid van het energiegebruik voor veranderingen in de PAR- en NIR-reflectie.
- Het theoretisch te bereiken effect in het energiegebruik door verlaging van de reflectiefactor voor NIR is 1 tot 2%, De hoogste energiebesparing ten opzichte van de referentie (ca. 2.5%) zou kunnen worden bereikt met een folie voorzien van HFK7A coating (code ST03E), echter dit folie heeft ook een zodanig verlaagde PAR-reflectie dat de productie met circa 9% zou dalen.
- Slechts één van de onderzochte folies (code HP02K) geeft in de simulaties zowel een verbetering in het energiegebruik als in de productie te zien. Deze folie levert ook financieel gezien voordeel op in vergelijking met de gebruikelijke witte folie.
- In een onderzoeks en ontwikkelingsproject bestaat de mogelijkheid een "ideale" folie te ontwikkelen met een formulering met een hoge reflectie in het PAR gebied en een hoge absorptie in het NIR gebied. Omdat hierdoor de productie stijgt en het energiegebruik daalt bestaat er voldoende investeringsruimte (1-2 €/m<sup>2</sup>).



- Bij de bodem folies is meestal weinig informatie beschikbaar. Goede informatie is van belang voor de realisatie in de praktijk van de beste folies.

De Hyplast Hyflex bodemafdekfolie (wit/zwart, code HP02K) voldoet beter aan de gewenste optische eigenschappen dan de gangbare witte afdekfolie en de meerkosten worden ruimschoots goedgemaakt door de baten uit hogere productie. Het verdient daarom aanbeveling dat tuinders, die gebruikmaken van afdekfolie, kiezen voor dit type. Verhoging van de reflectiefactor voor PAR blijkt interessanter te zijn dan verhoging van absorptie van NIR, omdat dit tot productieverhoging leidt. Onderzoek naar verdere verbetering van die reflectie in samenwerking met het bedrijfsleven verdient daarom aanbeveling.

## 6 Literatuur

- [1] Sumitomo Metal Mining CO.,LTD. <http://www.smm.co.jp/>
- [2] Avecia Limited. <http://www.avecia.com/>
- [3] American Dye Source, Inc. <http://www.adsdyes.com/>
- [4] Epolin, Inc. <http://www.epolin.com/>
- [5] Ha-Jin Lee, Dong-Youn Noh, Polyhedron 19 (2000) 425-429.
- [6] W.E. Vargas, P. Greenwood, J.E. Otterstedt and G.A. Niklasson, Solar Energy Vol. 68, No.6, pp. 553-561, 2000.
- [7] Stephan Schelm & Geoff B. Smith, Applied Physics Letters, Vol. 82, No. 24, 2003.
- [8] De Zwart H.F., 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. IMAG-DLO rapport 96-05, 236 blz.



## Bijlage I Gegevens spectraal selectieve materialen

- i) Product: IR-active Agent KHF-7S  
 Kleur: Licht groen  
 Chemische formule:  $\text{LaB}_6$   
 Firma: Sumitomo Metal Mining CO.,LTD.

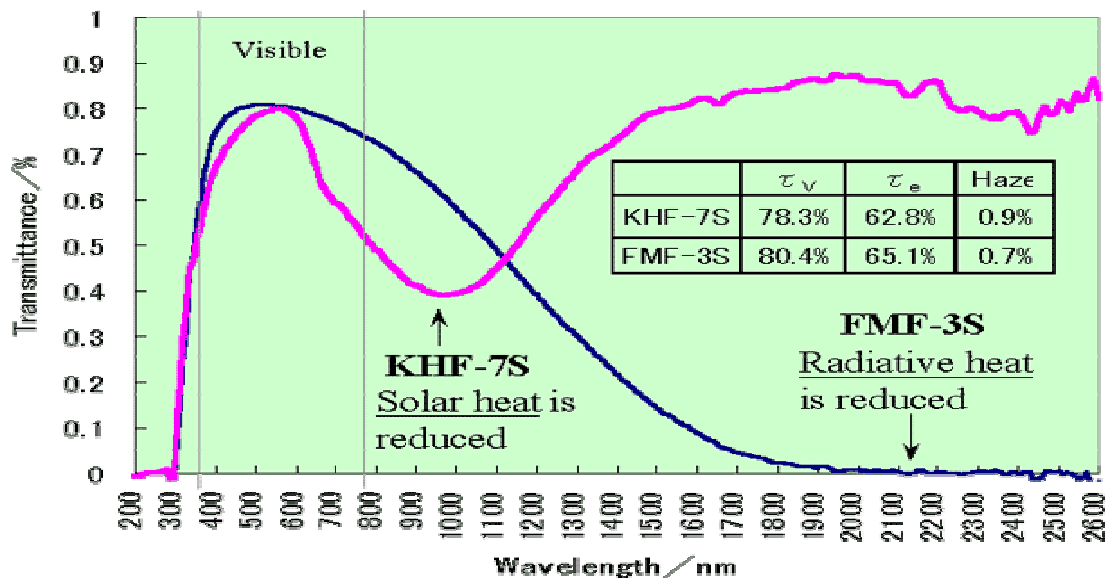


Fig. 2-1 Transmissie spectrum van KHF-7S in vergelijking met FMF-3S.

- ii) Product: IR-absorber Pro-Jet 830NP  
 Kleur: Donker groen (na bewerking lichtgeel tot bruin)  
 Chemische formule: Onbekend  
 Firma: Avecia Limited

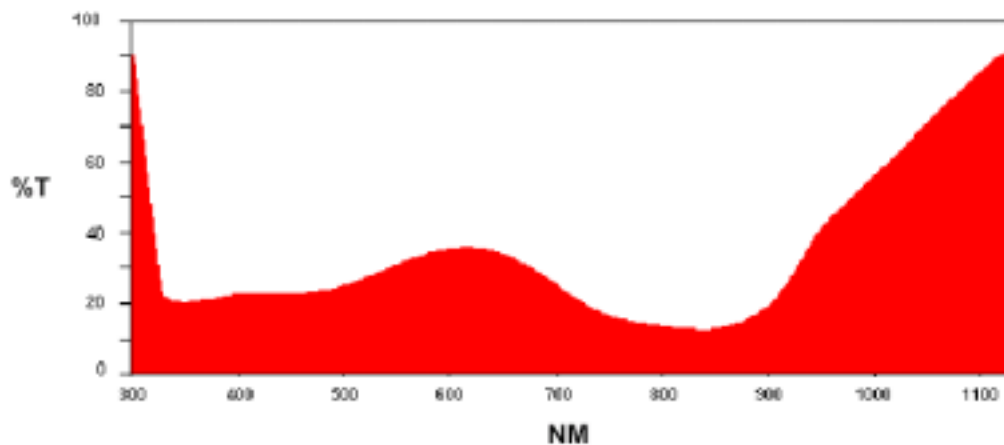


Fig. 2-2 Transmissie spectrum van IR-absorber Pro-Jet 830NP

- iii) Product: NEAR INFRARED ABSORBER ADS1065A  
 Chemische Formule: C<sub>62</sub> H<sub>92</sub> N<sub>6</sub> F<sub>12</sub> Sb<sub>2</sub>  
 Kleur: Donker groen  
 Firma: American Dye Source, Inc.

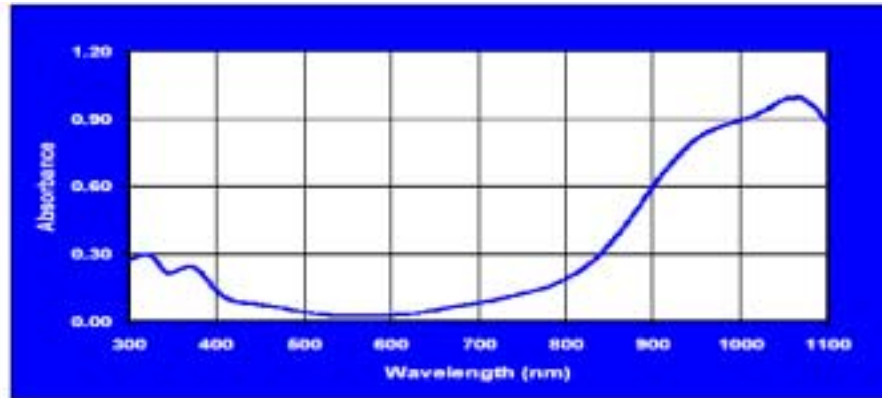


Fig. 2-3 Absorptie spectrum van ADS1065A in methanol

- iv) Product: Yellow (Silk Screen) YS-100  
 Chemische Formule: Onbekend  
 Kleur: Licht geel  
 Firma: Epolin, Inc.

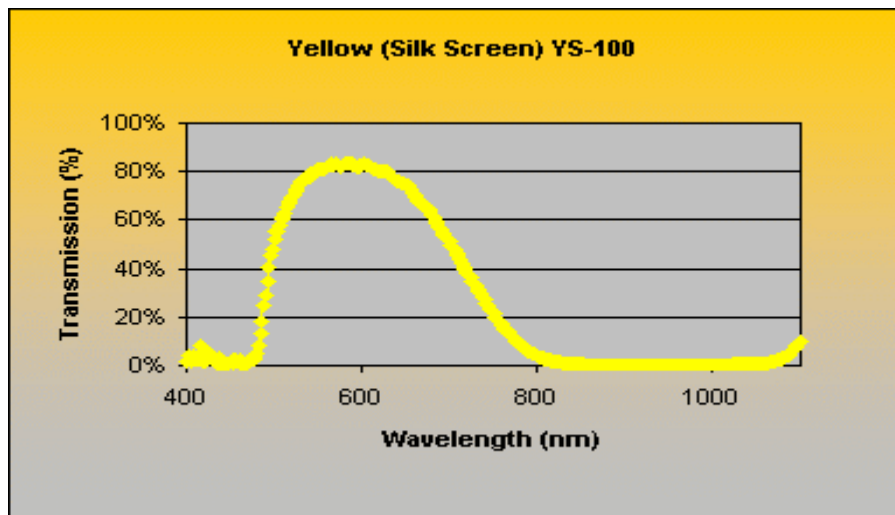


Fig. 2-4 Transmissie spectrum van Yellow (Silk Screen) YS-100

v) Product: Nickel-compound

Chemical formula:  $(n\text{-Bu}_4\text{N})[\text{Ni}(\text{dphdt})_2]$  and  $(n\text{-Bu}_4\text{N})_0.1[\text{Ni}(\text{dphdt})_2]$

Synthetisch bereid door: Department of chemistry, Seoul Women's University, South Korea

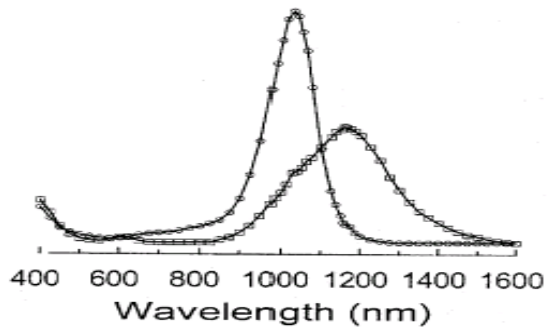


Fig. 2-5 Near-IR absorptie spectra van  $(n\text{-Bu}_4\text{N})[\text{Ni}(\text{dphdt})_2]$  (□) and  $(n\text{-Bu}_4\text{N})_0.1[\text{Ni}(\text{dphdt})_2]$  (○)

vi) Product: Anatase titania coated silica pigments

Chemische Formule:  $\text{TiO}_2$  &  $\text{SiO}_2$

Synthetisch bereid door: University of Costa Rica, Chalmers University of Technology (Sweden) and Uppsala University (Sweden)

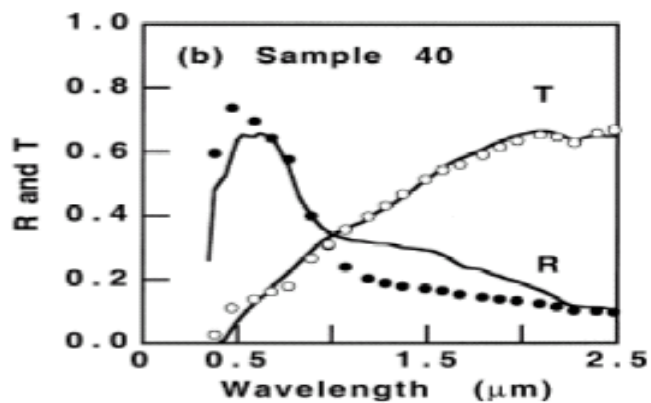


Fig. 2-6 Reflectie (●) en transmissie (○) spectra van polymeer coatingen die anatase titania coated silica pigmenten bevatten.

- vii) Product: LaB<sub>6</sub> nanoparticle-dipped in polymer  
Chemische Formule: LaB<sub>6</sub>  
Synthetisch bereid door: University of Technology (Sydney, Australia)

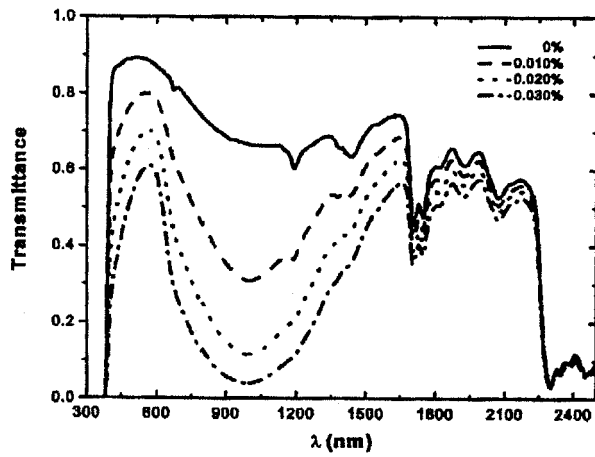


Fig. 2-7 loodrecht invallende transmissie van raam samples voor verschillende gewicht percentages van de nano-deeltjes.