

Automatische diameterdistributie bepaling van glaswol

P. Hoeben

OPTEL BV, Oranjesingel 21, 6511 NM Nijmegen

tel: 024-3221558, fax: 024-3232855

Inleiding

OPTEL is een onafhankelijk ingenieursbureau dat is gespecialiseerd in dienstverlening op het gebied van de toegepaste optica, opto-elektronica en lasertechnologie. Onze activiteiten omvatten onder meer advisering, ontwikkeling en realisatie. Wij werken in opdracht van bedrijven en instellingen die optische (meet-)technieken willen inzetten bij onderzoek en productontwikkeling en bij de beheersing, bestudering/analyse en kwaliteitscontrole van productieprocessen.

In dit artikel wordt een beeld gegeven van een optische ontwikkeling (FDMS = Fiber Diameter Meet Systeem) welke door OPTEL gerealiseerd is. Het betreft hier het automatiseren van een off-line steeksproefgewijze productcontrole van non-woven glaswol.

Deze applicatie vormt o.i. een goed voorbeeld van de toepassing van opto-elektronica in een industriële omgeving. Hierbij spelen de volgende aspecten een rol.

- De FDMS vormt een duidelijke innovatie. Een nieuwe techniek op een plaats waar eerder handmatig gewerkt werd.
- Er is sprake van een ontwikkeling van prototype, dat langdurig getest is in de praktijk, naar een seriemodel.
- Er worden componenten gebruikt met een lange levensduur. Een meetapparaat in een industriële omgeving dient uiteraard onderhoudsarm te zijn. Vervangen van optische componenten in een dergelijke omgeving is moeilijk a.g.v. uitlijning problemen en mogelijke verontreiniging van het systeem. Ook is

hiervoor vaak ter plaatse niet aanwezige specialistische kennis nodig.

- Streven naar gebruik van zoveel mogelijk standaard *of the shelf* componenten vanwege het kostenaspect en de verkrijgbaarheid van componenten op de lange termijn.
- Stabiliteit van het systeem. Industriële meetsystemen dienen voor het volgen van langdurige trends in een productieproces gedurende lange tijd (orde van jaren) een stabiele output te geven. In verband met de reeds eerder genoemde benodigde specialistische kennis voor herijking/herafstelling dient het meetsysteem zoveel mogelijk zelfcalibrerend of ongevoelig voor tijds- of verouderingseffecten te zijn.
- Eenvoudige bediening.
- Nauwkeurigheid van de meting
- De snelheid van meting is van groot belang voor een zo snel mogelijke terugkoppeling op het productieproces.

Korte inhoud

Binnen de ontwikkeling zijn de volgende stappen aan te geven.

- Probleemstelling
Waarom, waarom en wat dient gemeten te worden. En waarom is automatisering van het meetproces nu actueel.
- Keuze van het meetprincipe.
Directe automatisering van het oude meetprincipe of een geheel nieuwe weg inslaan.
- Systeem opbouw.
De afzonderlijke componenten van het gerealiseerde (prototype)systeem.

- Signaalverwerking
- Resultaten en specificaties.
Behaalde resultaten met het gereali-
seerde systeem en de betekenis binnen
het productieproces.

Probleemstelling

- Materiaal waaraan gemeten wordt:
Non-woven glaswol en glasvezels. Dit
materiaal wordt toegepast in vele vor-
men van isolatiematerialen, in dakbe-
dekkingen en als matrix in vele eind-
produkten. Er wordt een onderscheid
gemaakt in glaswol en glasvliesvezels,
geproduceerd volgens vergelijkbare
processen. De transparante individuele
vezels zijn bij benadering cilindervor-
mig. De diameter ligt voor glaswol in de
orde van 0,2 tot 30 μm met een grote
spreiding binnen een produkt (sigma ca
3,5 μm). De lengte loopt uiteen van 10
 μm tot enkele centimeters. De diameter
voor glasvliesvezels is in de orde van 6
tot 20 μm . De spreiding in deze dia-
meter is veelal in orde van een micro-
meter (sigma). De lengte ligt in het
algemeen boven de 3 centimeter.
- Te bepalen grootte: Off-line bepaling
van de diameterverdeling van een
monster uit de productie. Uiteraard zal
voor de verschillende toepassingen van
het eindprodukt van belang zijn dat de
diameter van de vezels binnen zekere
grenzen blijft. De isolatiewaarde v.e.
glaswolprodukt is sterk afhankelijk van
de diameterverdeling. Uit het oogpunt
van productiecontrole is het belang dus
evident. Dunne glasvezels, kleiner dan
3 μm , worden steeds meer gezien als
een risico voor de volksgezondheid
(vergelijk met bv. asbest). De dunne
vezels kunnen bij vrijkomen uit het eind-
produkt gaan zweven en vervolgens in
de longen belanden. Hier zouden ze
een risico kunnen vormen voor de ge-
zondheid. Of dit werkelijk zo is, is nog
een onderwerp van onderzoek. Er is
echter wel de wens om regelgeving voor
te zijn en daarom zo min mogelijk van
dergelijke dunne vezels te produceren.

Dit vraagt om een controle van de dia-
meterverdeling. Daarnaast vormen
trends in de diameterverdeling een
aanwijzing voor de technische staat van
de produktielijn.

- Oude meetmethode.
Tot dusver werd een diameterverdeling
van een monster bepaald met een pro-
jectiemicroscop. Dit houdt in dat een
monster van de vezels vergroot op een
scherm wordt weergegeven. Met een
meetlat wordt nu de diameter van een
aantal vezels bepaald. Focuseren,
scannen en opmeten gebeuren hand-
matig. Het is duidelijk dat voor een re-
presentatieve steekproef deze methode
zeer veel tijd vergt. Dit brengt met zich
mee dat na een monsternamen slechts
met een grote vertraging ingegrepen
kan worden op het productieproces. Tot
slot is de methode zeer persoonsafhan-
kelijk omdat het focuseren op een
transparante vezel lastig is.
- Eisen aan een nieuwe meetmethode
Een verbeterd meetapparaat dient meer
geautomatiseerd, objectief, snel, nauw-
keurig en wat betreft bediening eenvou-
dig te zijn. Deze eisen vragen om een
geautomatiseerd systeem waarbij
slechts het monster geplaatst hoeft te
worden waarna snel een groot aantal
vezeldiameters (ca 600) gemeten
wordt.

Keuze van het meetprincipe

- **Optie 1: Ge-automatiseerde "oude" methode**
De projectiemethode wordt in dit geval
geautomatiseerd met behulp van een
vision systeem. Scannen over het
monster gebeurt automatisch met een
XY-tafel. Het focuseren wordt gedaan
door het visionsysteem aan de hand
van een focuseringscriterium gecombi-
neerd met mechanische translaties. Uit
het gefocuseerde beeld kan m.b.v.
beeldbewerking de diameter berekend
worden van de vezels die zich op dat
moment binnen het beeld bevinden.
Een vezel zal bij een redelijke vergro-

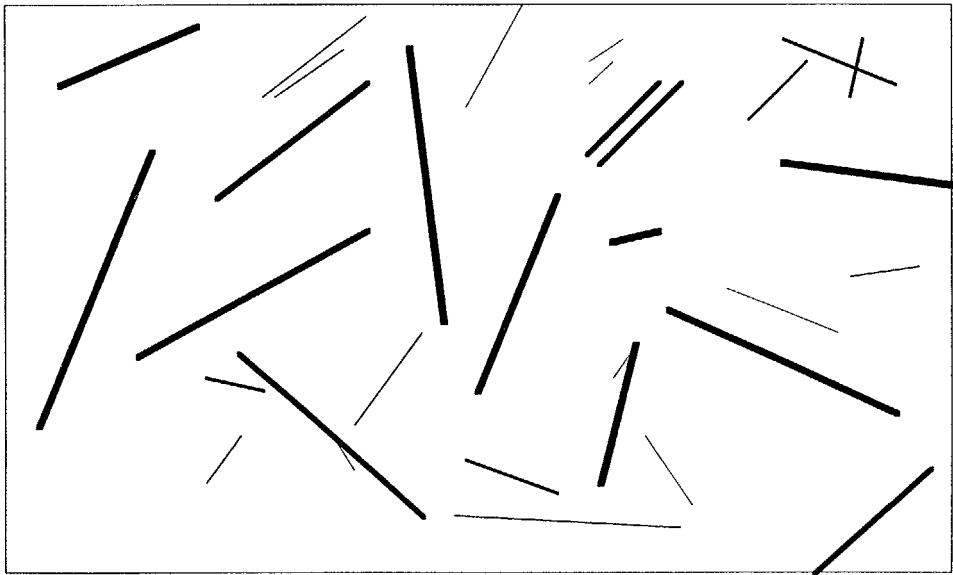
ting in beeld gebracht moeten worden om met enige nauwkeurigheid te kunnen meten. Dit brengt een klein beeldveld en dus een grote scantijd met zich mee. Een ander nadeel bij deze methode is dat er nog steeds gefocuseerd dient te worden op de vezel. Dit proces zal zeer tijdrovend worden. Daarnaast blijft het focussen op de vezel een arbitraire zaak vanwege het transparante en cilindrische karakter van de vezel. Interferentie van gebroken en gereflecteerd licht en diffractie aan de vezel verstoren het beeld van de vezel zelf (de diffuse verstrooiing aan de vezel).

Om interferentie van verstrooid en gebroken licht teniet te doen zou gewerkt kunnen worden met bijvoorbeeld UV-licht. De glazen vezels zijn transparant voor zichtbaar licht, echter niet voor UV-licht. Op deze wijze is er geen sprake meer van lichtbreking door de vezel. Dit brengt echter complexe (lees: dure) UV-optiek met zich mee.

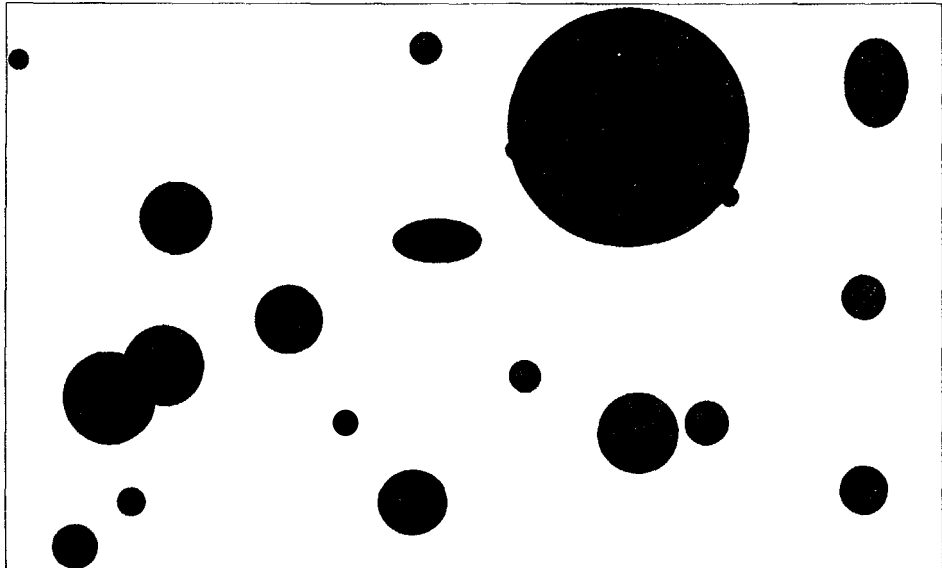
• Optie 2: Elektronen Microscopie

– Halfautomatisch. Opnamen gemaakt met een elektronenmicroscop (zie figuur 1) kunnen door een operator verwerkt worden. Hierbij worden vezels aangewezen waarna diameterbepaling door beeldverwerking plaatsvindt. Aanwijzen van de vezels door de operator blijft nodig om vezels goed te kunnen onderscheiden van vezelfragmenten etc.

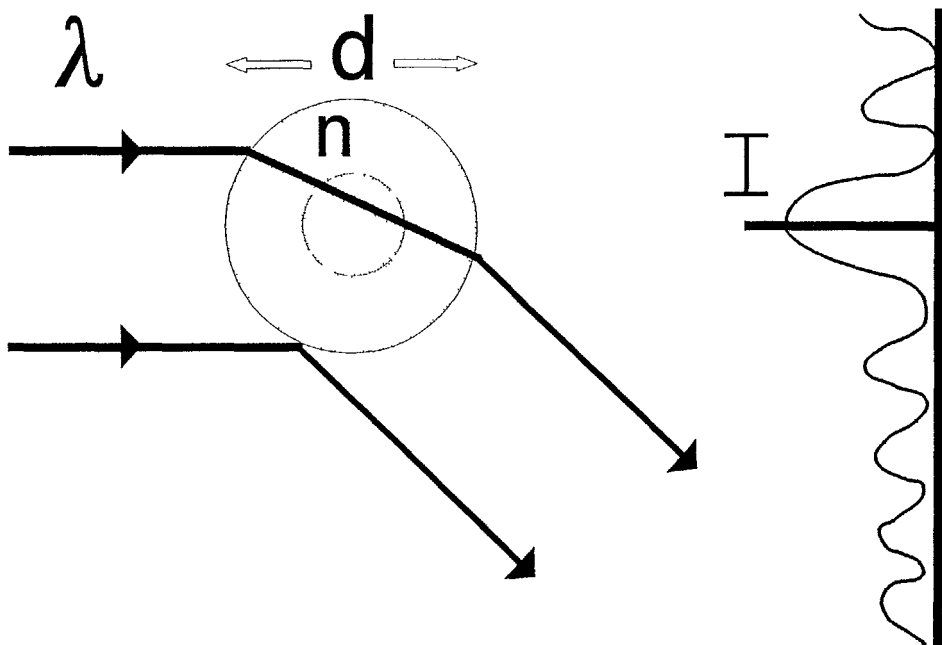
– Geheel automatisch. In dit geval wordt via preparatie technieken bereikt dat alle vezels parallel in een richting liggen waarna een dwarsdoorsnede wordt gemaakt. Het zo verkregen monster kan worden gescand met de EM. Verwerking van de beelden (figuur 2) kan geheel automatisch geschieden. EM methoden vereisen een langdurige complexe sample preparatie. Terugkoppeling naar de productie is dan ook praktisch onmogelijk. Ook is de benodigde apparatuur zeer kostbaar en complex.



figuur 1
EM-beeld van random monster



figuur 2
EM-beeld van gericht monster



figuur 3
Interferentie aan een transparanter vezel

Vooral de complexiteit maakt dat een EM niet gemakkelijk naast een productieomgeving is in te zetten. Uiteraard is het wel zo dat geen enkele zichtbaar licht methode de nauwkeurigheid en diameter bereik van de EM zal kunnen benaderen. Met name voor calibratiedoeleinden blijft de EM de beste keus.

• **Optie 3: Interferentie**

Een andere methode maakt juist gebruik van de probleemeffecten genoemd bij optie 1. In onderstaande figuur wordt het principe verduidelijkt.

Een monochromatische lichtbundel die loodrecht op een homogene, cilindrische, transparante vezel invalt zal gedeeltelijk door de vezel gebroken en gedeeltelijk gereflecteerd worden. Beide bijdragen zullen op oneindig (verre veld) met elkaar interfereren. Dit levert een interferentiepatroon op van maxima en minima waarin de afstand (hoek) tussen de minima een functie is van de gebruikte golflengte, de brekingsindex van het glas, en de diameter van de vezel. Dit laat meteen de mogelijkheden zien tot het meten van de diameter. Indien golflengte en brekingsindex constant gehouden worden levert het aantal minima binnen een hoeksegment de diameter van de vezel. Het hoeksegment dient wel boven de circa 7° te beginnen om diffractie bijdragen uit te sluiten.

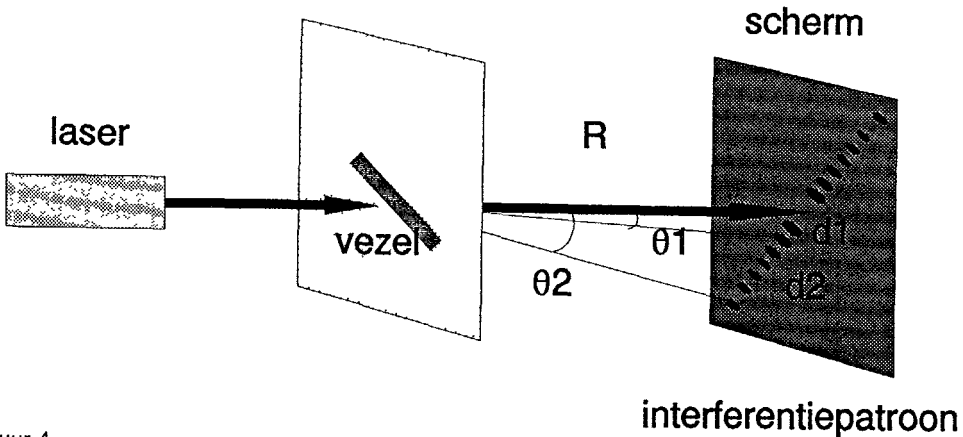
Er kan voor het aantal fringes (N) binnen een zekere ruimtehoek van θ_1 tot θ_2 worden afgeleid (zie [1]).

$$N = \frac{d}{\lambda} \left[\left(\sin \frac{\theta_2}{2} + \sqrt{n^2 + 1 - 2n \cos \frac{\theta_2}{2}} \right) - \left(\sin \frac{\theta_1}{2} \sqrt{n^2 + 1 - 2n \cos \frac{\theta_1}{2}} \right) \right]$$

Hierin is λ de golflengte, n de brekingsindex van de vezel, d de diameter van de vezel. Strikt gezien is deze (geometrische) afleiding alleen geldig wanneer de diameter van de vezel veel groter is dan de golflengte van het gebruikte licht. In de praktijk blijkt het model echter goed genoeg om vanaf 2.5 μm en hoger met voldoende nauwkeurigheid te gebruiken

De volgende figuur toont een principe-schets van het meetprincipe.

De richting van het interferentiepatroon op het scherm is afhankelijk van de oriëntatie van de vezel. M.b.v een 2D-camera kan het patroon worden vastgelegd en verwerkt. De methode kent geen focusering problemen. Dit brengt naast een tijdwinst ook een aanzienlijke vereenvoudiging van het systeem met zich mee. De vezel kan zich op een monsterglas bevinden waarop



figuur 4
Meetprincipe

een groot aantal willekeurig georiënteerde vezels aanwezig is. Het monsterglas kan door de bundel gescand worden om snel een volledig productie sample te kunnen bemeten.

Realisatie van het Fiber Diameter Meet Systeem

Het schematisch overzicht van figuur 4 is gerealiseerd in de optische meeteenheid geschetst in bovenstaande figuur 5

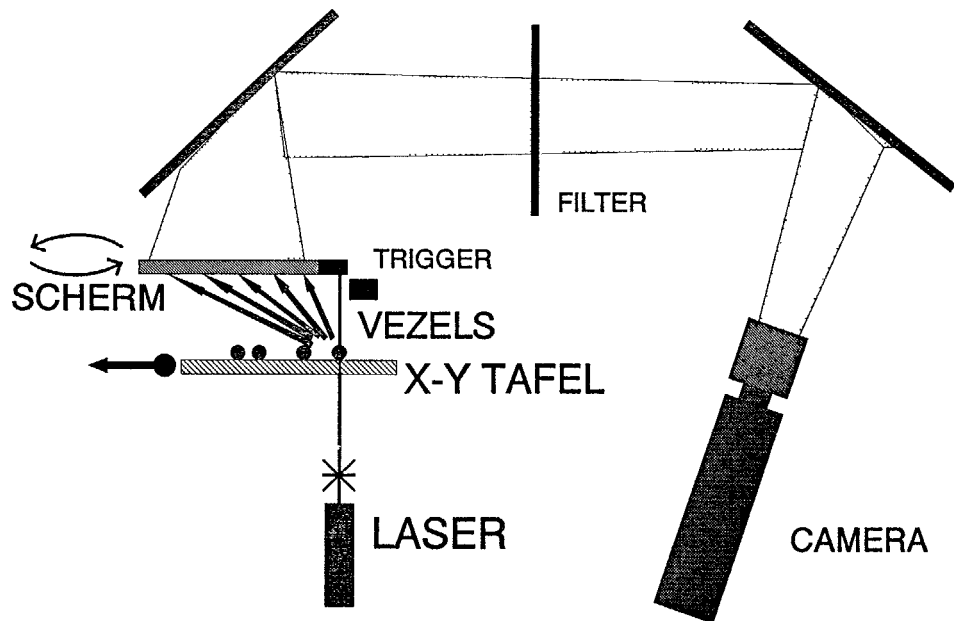
De gecollimeerde bundel van een laserdioden wordt door de XY-tafel over het monster gescand. Een fotodiode signaleert verstrooiing afkomstig van een vezel in de bundel en triggerd hiermee beeldinname. Het interferentie patroon op het scherm wordt afgebeeld op een 2D-CCD camera. Om ruis binnen het beeld a.g.v. speckle te voorkomen roteert het scherm. Voor een compacte constructie wordt de benodigde lichtweg opgevouwen met spiegels. De verwerking van het analoge videosignaal vindt plaats door een industriële PC met

framegrabber. De programmatuur draagt zorg voor de aansturing van de stappenmotoren, beeldopname, beeldverwerking, scansturing, presentatie en dataopslag.

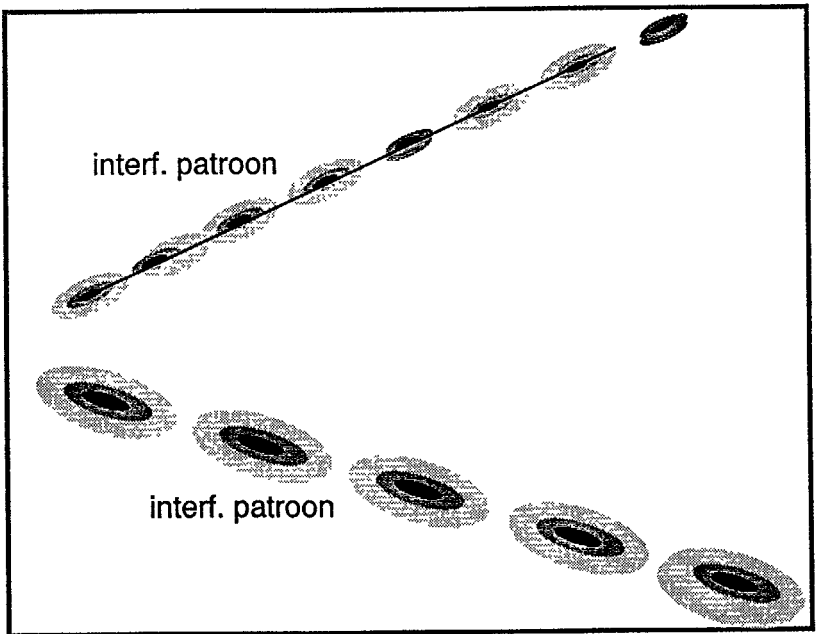
Signaalverwerking.

De methodiek berust op het bepalen van het aantal fringes in het interferentiepatroon binnen een zekere ruimtehoek na verstrooiing aan de vezel. Het interferentiepatroon afkomstig van verstrooiing van een enkele vezel ligt loodrecht op de vezel en de laserbundel. Een anders georiënteerde vezel zal een patroon in een andere richting veroorzaken. Binnen een opgenomen beeld van de camera kunnen dus meer interferentiepatronen zichtbaar zijn afkomstig van verschillende vezels. Enerzijds is dit een voordeel aangezien meer informatie uit een beeld gehaald kan worden. Anderzijds maakt dit de verwerking wat complexer.

De verwerking van de beelden opgenomen van het scherm valt in twee delen uiteen,



figuur 5
Gerealiseerd systeem

Centrale
laserspot

figuur 6
Signaalverwerking, ingenomen camerabeeld

zoeken van de patronen binnen het beeld en het bepalen van het aantal fringes binnen een patroon. Tot slot wordt met het aantal fringes de vezeldiameter berekend. Een groot probleem hierbij is dat in een monster veel amorphe glasstructuren aanwezig kunnen zijn. De verwerking dient een onderscheid te kunnen maken tussen verstrooiing hiervan en van de vezels.

De zeer dunne vezels kleiner dan $3 \mu\text{m}$ vormen een apart probleem. Het aantal fringes binnen een patroon wordt kleiner voor afnemende diameter. Bij de dunne vezels is het aantal fringes te gering om nauwkeurig te kunnen bepalen. Er wordt in dat geval een afwijkende methode gevolgd om de diameter te bepalen. Indien mogelijk wordt de positie (hoek) van het eerste minimum bepaald. Deze vormt een maat voor de diameter. Indien het eerste minimum niet gevonden kan worden wordt volstaan met het

vaststellen dat het patroon zeker afkomstig is van een vezel (i.t.t. een amorphe structuur). Op deze wijze kunnen vezels van circa $1,3 \mu\text{m}$ tot $3 \mu\text{m}$ op een voldoende wijze geassocieerd worden.

Resultaten en specificaties.

Vastgesteld is dat het rekenmodel voldoende toepasbaar is in het diameter gebied van $3 - 25 \mu\text{m}$. Vezels met een diameter kleiner dan $3 \mu\text{m}$ kunnen op een andere wijze geassocieerd worden.

De nauwkeurigheid van de diameterbepalingen bedraagt voor de verschillende diameterbereiken:

- vezels $1 - 25 \mu\text{m}$: diameter $\pm 0,5 \mu\text{m}$
- vezels $5 - 25 \mu\text{m}$: diameter $\pm 0,3 \mu\text{m}$

Indien er van een kleiner diameterbereik wordt uitgegaan kan van deze voorkennis gebruik gemaakt worden. Dit vergroot de nauwkeurigheid.

De bediening van het systeem is zeer eenvoudig. Een monster kan worden geprepareerd door boven een monsterglasje vezels los te knippen. De vezels vallen dan met random oriëntatie en goed geïsoleerd van elkaar op het monsterglas. De gehele bepaling verloopt verder automatisch. De snelheid van het systeem wordt hoofdzakelijk bepaald door de scansnelheid. Momenteel kunnen circa 200 diameters bepaald worden binnen 15 minuten. De resultaten zijn op deze wijze snel beschikbaar voor terugkoppeling naar het productieproces. Per dag vinden circa 20 meet sessies plaats waarvan de resultaten direct naar de productie worden teruggekoppeld. Het systeem is flexibel. Een dimensionele aanpassing binnen de meeteenheid kan gedaan worden om het systeem geschikt te maken voor grotere diameters (bijv. communicatievezel).

Conclusies

Er is een meetsysteem gerealiseerd dat in staat is volledig automatisch diameters te bepalen van een monster van glaswol. Dit gebeurt uit een interferentiebeeld waarin het aantal fringes binnen een hoeksegment een maat vormt voor de diameter. Het resultaat is een volledig automatisch systeem dat snel, nauwkeurig en objectief een diameter distributie van een glaswolmonster bepaalt.

Literatuur

- [1] H. Smithgall, L.S. Watkins and R.E. Frazee Jr "High-speed non-contact fiber-diameter measurement using forward light scattering", Applied Optics, vol 16, 1977, p.2395
- [2] L.S. Watkins, "Scattering from side-illuminated clad glass fibers for determination of fiber parameters", J Opt Soc. Am., Vol. 64 (1974) p 767

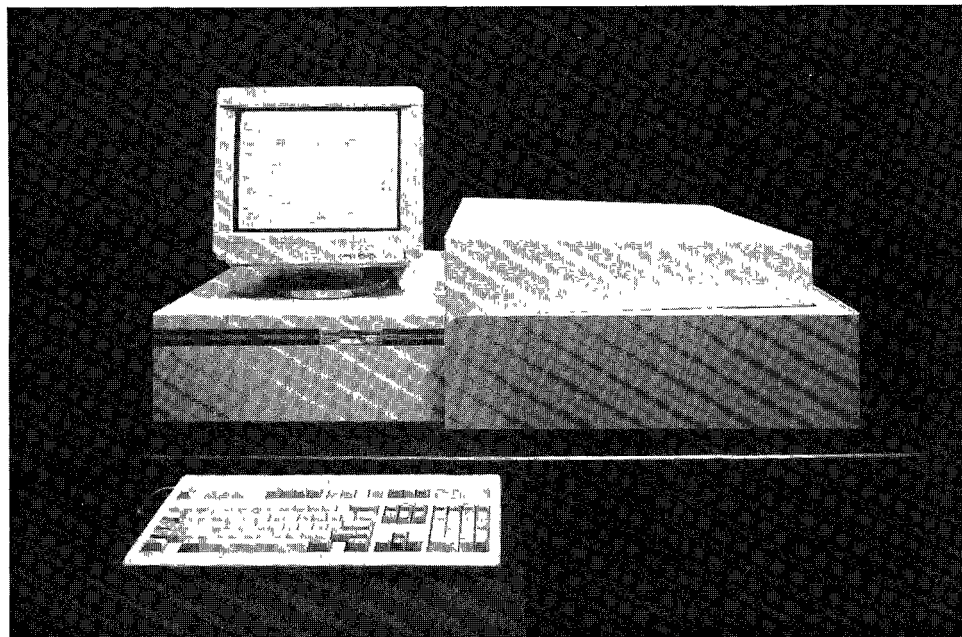


foto 1
Meetsysteem (seriemodel)