

طراحی شده برای تعیین ضریب شکست مطابق با ISO 489:2022

سیستم اندازه‌گیری ضریب شکست برای مشخصه‌یابی مواد پلاستیکی و پلیمری، بر اساس اصول رفراکتومتری شرح داده شده در **ISO 489:2022** - پلاستیک‌ها - تعیین ضریب شکست طراحی شده است.

این سیستم برای کاربردهای آزمایشگاه‌های پلیمر، کنترل کیفیت، شناسایی مواد، توسعه محصول و مشخصه‌یابی نوری پلاستیک‌ها در نظر گرفته شده است.

استاندارد ISO 489:2022 دو روش اندازه‌گیری را شرح می‌دهد:

روش A - روش رفراکتومتری

اندازه‌گیری با استفاده از رفراکتومتر Abbe یا هر رفراکتومتر دیگری که قادر به ارائه نتایج معادل باشد.

روش B - روش غوطه‌وری

اندازه‌گیری با استفاده از میکروسکوپ و مایعات غوطه‌وری با ضریب شکست معلوم.

برای اندازه‌گیری مستقیم نمونه‌های آزمون پلاستیکی جامد، ورق‌ها و فیلم‌ها، این دستگاه عمدتاً بر اساس اصول **روش A** عمل می‌کند.

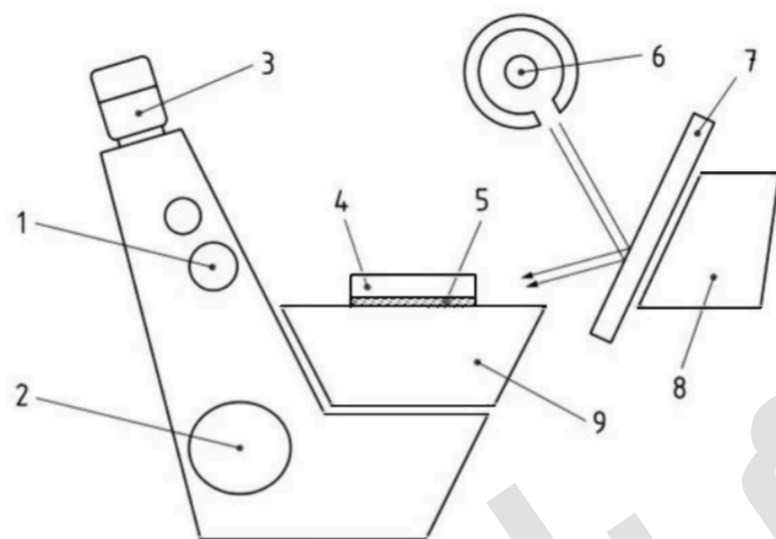
Table 2 — Immersion liquids

Immersion liquid	Refractive index at 23 °C n_D^{23}
n-Butyl carbonate	1,410
Tri-n-butyl citrate	1,444
n-Butyl phthalate	1,491
1-Bromonaphthalene	1,657
Diiodomethane (methylene iodide)	1,747
Aqueous solution of potassium mercury(II) iodide	1,419 to 1,733 ^a
Silicone oils	1,37 to 1,56 ^a

^a Useful range for the purpose of the test.

اندازه‌گیری چگونه انجام می‌شود؟

این اندازه‌گیری برهم‌کنش نوری بین **نمونه آزمون پلاستیکی و منشور اندازه‌گیری با ضریب شکست بالا** استوار است. برای ایجاد تماس نوری مناسب، مقدار کمی از مایع تماس بین نمونه آزمون و منشور اصلی قرار داده می‌شود. سیستم نوری، فصل مشترک منشور/نمونه آزمون را روشن کرده و گذار بین **ناحیه روشن و ناحیه تاریک** را ایجاد می‌کند. موقعیت زاویه‌ای این مرز به شرایط بحرانی نوری در فصل مشترک و در نتیجه به **ضریب شکست نمونه آزمون** بستگی دارد.



Key

- | | |
|---------------------|----------------------------------|
| 1 compensator drum | 6 source of light |
| 2 adjusting handle | 7 opal-coloured reflective plate |
| 3 eyepiece | 8 sub-prism |
| 4 specimen | 9 main prism |
| 5 contacting liquid | |

Figure 1 — Method for measuring refractive index of transparent sheet

این تصویر باید موارد زیر را نشان دهد:

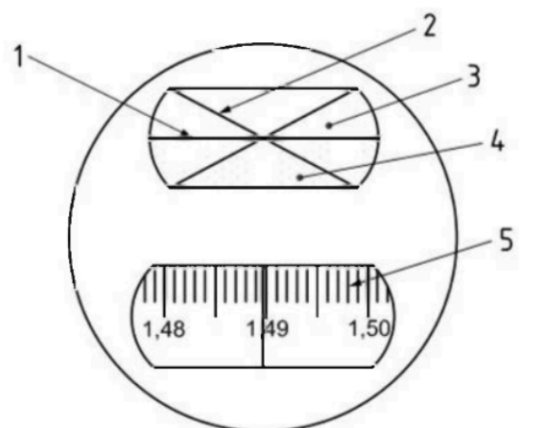
• منبع نور

- منشور اصلی
- منشور فرعی
- نمونه آزمون پلاستیکی
- مایع تماس
- مسیر نوری
- نور بازتابیده/شکسته
- سیستم آشکارسازی

آشکارسازی خودکار مرز نوری

در یک رفراکتومتر متداول Abbe، اپراتور میدان نوری را از طریق چشمی مشاهده کرده و مرز بین نواحی روشن و تاریک را به صورت دستی با تار موی مرجع همراستا می‌کند.

یک سیستم اندازه‌گیری دیجیتال می‌تواند این عملیات دیداری را با استفاده از **آشکارساز نوری الکترونیکی یا حسگر تصویربرداری** جایگزین کند.



Key

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1 boundary line | 4 dark half of eyepiece field |
| 2 cross-hair lines | 5 scale for refractive index |
| 3 light half of eyepiece field | |

Figure 2 — Refractometer field of vision

آشکارساز، توزیع شدت را در سراسر میدان نوری ثبت می‌کند. الگوریتم اندازه‌گیری، محل دقیق گذار نور/تاریکی را تعیین کرده و با استفاده از تابع کالیبراسیون دستگاه، موقعیت آن را به مقدار ضریب شکست تبدیل می‌کند.

این معماری می‌تواند وابستگی به اپراتور را کاهش داده و اندازه‌گیری دیجیتال خودکار را امکان‌پذیر کند.

این اصل با آرایش میدان دید رفراکتومتر که در شکل 2 استاندارد ISO 489:2022 نشان داده شده است، مطابقت دارد.

محدوده اندازه گیری

رفراکتومتر Abbe شرح داده شده برای روش A، محدوده تقریبی زیر را پوشش می دهد:

ضریب شکست

$n = 1.300 \text{ to } 1.700$

دقت

± 0.001

این محدوده بسیاری از مواد پلیمری متداول را پوشش داده و سیستم را برای مشخصه یابی پلاستیک ها در آزمایشگاه و صنعت مناسب می کند.

طول موج نوری

ضریب شکست به طول موجی که اندازه‌گیری در آن انجام می‌شود، وابسته است.
استاندارد ISO 489:2022 به خط D سدیم در طول موج تقریبی زیر اشاره می‌کند:

$$\lambda = 589 \text{ nm}$$

که به عنوان طول موج مرجع در نظر گرفته می‌شود.

بنابراین، یک دستگاه دیجیتال مدرن می‌تواند از منبع نوری باریک‌بند کنترل‌شده‌ای استفاده کند که در نزدیکی **589 nm** کار می‌کند تا طول موج اندازه‌گیری مشخصی ایجاد شود.

این موضوع هنگام مقایسه نتایج بین دستگاه‌ها یا آزمایشگاه‌های مختلف اهمیت ویژه‌ای دارد.

کنترل دقیق دما

دما تأثیر مستقیمی بر اندازه‌گیری ضریب شکست دارد.

در روش A، تعیین ضریب شکست در دمای زیر انجام می‌شود:

$$0.5^{\circ}\text{C} \pm 23.0$$

بنابراین، پایداری دمای نمونه آزمون و منشور اندازه‌گیری بخش مهمی از طراحی دستگاه است.

معماری پیشنهادی کنترل دما

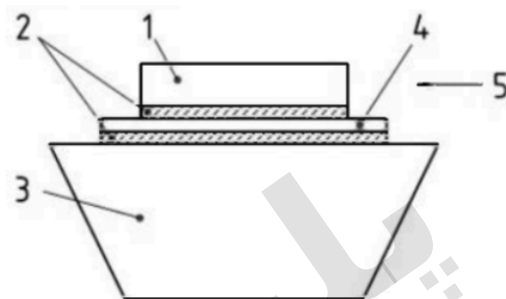
حسگر دما -gt; کنترل‌کننده دیجیتال -gt; عنصر گرمایش/سرمایش -gt; منشور اندازه‌گیری
یک دستگاه دیجیتال ممکن است از اجزای زیر استفاده کند:

- حسگر دقیق دما
- کنترل‌کننده دمای حلقه بسته
- عنصر گرمایش/سرمایش ترموالکتریک
- کوپل حرارتی با منشور اصلی
- پایش دما در زمان واقعی

اندازه‌گیری تنها زمانی باید پذیرفته شود که مجموعه منشور/نمونه آزمون به پایداری دمایی موردنیاز رسیده باشد.

اندازه‌گیری ورق‌های پلاستیکی شفاف

برای نمونه‌های آزمون ورق شفاف، نمونه با استفاده از مایع تماس مناسب مستقیماً در برابر منشور اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. مایع تماس، فصل مشترک پیوسته نوری بین نمونه آزمون پلاستیکی و منشور ایجاد می‌کند.



Key

- | | | | |
|---|-------------------|---|---------------|
| 1 | glass plate | 4 | film specimen |
| 2 | contacting liquid | 5 | light |
| 3 | main prism | | |

Figure 3 — Method for measuring refractive index of film

آرایش مقطعی پیشنهادی:

نمونه آزمون پلاستیکی



مایع تماس



منشور اصلی اندازه گیری

نمودار کامل نوری باید علاوه بر این موارد، منبع روشنایی، منشور فرعی و مسیر آشکارسازی نوری را نیز نشان دهد.
سطح نمونه آزمون در تماس با منشور باید کاملاً تخت و به اندازه کافی صیقلی باشد تا کویل نوری قابل اعتمادی فراهم شود.
برای نمونه های آزمون ورق، استاندارد ISO 489:2022 ضخامت نمونه آزمون تقریبی زیر را توصیه می کند:

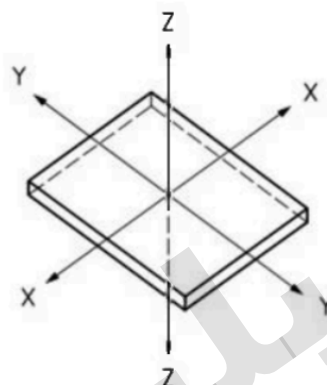
to 5 mm 3

عیوب سطحی، پلیسه های برش، آلودگی و تماس نوری نامناسب می توانند بر اندازه گیری اثر منفی بگذارند.

اندازه گیری فیلم های پلاستیکی نازک

این سیستم را می توان برای اندازه گیری فیلم های پلیمری بسیار نازک نیز پیکربندی کرد.

برای اندازه گیری فیلم، ابتدا مقدار کمی مایع تماس روی منشور اصلی قرار داده می شود.
سپس نمونه آزمون فیلم روی منشور قرار می گیرد.
یک صفحه شیشه ای با استفاده از لایه دیگری از مایع تماس روی فیلم قرار داده می شود.



Key

- X at right angle to the machine direction
- Y machine direction
- Z thickness

Figure 4 — Film with multiple refractive indices

مقطع پیشنهادی:

صفحه شیشه‌ای



مایع تماس



فیلم پلیمری



مایع تماس



منشور اصلی

این آرایش، کوپل نوری را در هر دو سطح فیلم فراهم کرده و اندازه‌گیری نمونه‌های آزمون نازک را تسهیل می‌کند.

استاندارد ISO 489:2022 بیان می‌کند که ضخامت فیلم می‌تواند تا حدود مقدار زیر کاهش یابد:

2 μ m

باید از ایجاد حباب‌های هوا بین فیلم، مایع، شیشه و منشور جلوگیری شود؛ زیرا این حباب‌ها می‌توانند مرز نوری را مختل کرده و قابلیت اطمینان اندازه‌گیری را کاهش دهند.

مایع تماس

انتخاب مایع تماس بخش مهمی از اندازه‌گیری است.

این مایع باید ضریب شکستی بالاتر از ماده پلاستیکی مورد اندازه‌گیری داشته باشد.

هم‌زمان، نباید:

- پلیمر را نرم کند
- نمونه آزمون را حل کند
- از نظر شیمیایی به نمونه آزمون حمله کند
- با پلاستیک برهم‌کنش نامطلوب ایجاد کند

مایع، اتصال نوری بین نمونه آزمون و منشور اندازه‌گیری را فراهم می‌کند.

بنابراین، مایع مناسب هم به ضریب شکست مورد انتظار و هم به سازگاری شیمیایی پلیمر بستگی دارد.

آوا هونام پلیمر

Table 1 — Contacting liquids

Plastic material	Contacting liquid
Cellulose derivatives	Aniseed oil or 1-bromonaphthalene
Fluorine-containing polymers	1-Bromonaphthalene
Urea-formaldehyde	Aniseed oil or 1-bromonaphthalene
Phenol-formaldehyde	1-Bromonaphthalene
Polyethylenes	1-Bromonaphthalene
Polyamides	1-Bromonaphthalene
Unsaturated polyester	1-Bromonaphthalene
Polyisobutylene	Saturated aqueous solution of zinc chloride made slightly acid
Poly(methyl methacrylate)	Saturated aqueous solution of zinc chloride made slightly acid or 1-bromonaphthalene
Polystyrene	Saturated potassium mercury(II) iodide solution
Styrene-acrylonitrile copolymers	1-Bromonaphthalene
Vinyl resins (vinyl chloride copolymer or plasticized PVC)	1-Bromonaphthalene
Poly(vinyl chloride)	1-Bromonaphthalene
Poly(ethylene terephthalate)	Methylene iodide
Polycarbonate	Methylene iodide
Diethylene glycol bis(allyl carbonate) (CR 39)	Methyl salicylate, aniseed oil or 1-bromonaphthalene
Polyarylate	Saturated aqueous solution of zinc chloride made slightly acid, methylene iodide or 1-bromonaphthalene
Polyetheretherketone	Methylene iodide
Polypropylene	1-Bromonaphthalene

اندازه‌گیری پلاستیک‌های ناهمسانگرد

بسیاری از فرایندهای تولید پلیمر، درون ماده جهت‌گیری مولکولی ایجاد می‌کنند.

نمونه‌ها عبارت‌اند از:

- اکستروژن
- قالب‌گیری تزریقی
- کشیده‌سازی فیلم
- تولید ورق جهت‌یافته

در نتیجه، ضریب شکستی که در یک جهت اندازه‌گیری می‌شود می‌تواند با ضریب شکست اندازه‌گیری‌شده در جهتی دیگر متفاوت باشد. بنابراین، استاندارد ISO 489:2022 روش‌هایی را برای اندازه‌گیری مواد ناهمسانگرد در جهت‌گیری‌های مختلف نمونه آزمون دربر می‌گیرد.

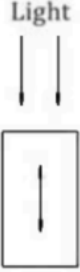
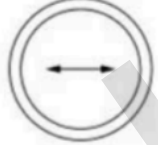
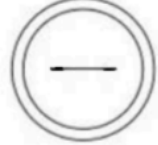
Measurement direction	Thickness (Z axis)	At right angle to machine direction (X axis)	Thickness (Z axis)	Machine direction (Y axis)
Positioning of specimen with multiple refractive indices (machine direction indicated by arrows)	Light 	Light 	Light 	Light 
Polarizing direction (indicated by arrows)				

Figure 5 — Combination of specimen-positioning direction and polarizing-filter direction

این تصویر باید یک نمونه آزمون پلیمری مستطیلی را با موارد زیر نشان دهد:

X - جهت عمود بر جهت دستگاه

Y - جهت دستگاه

Z - جهت ضخامت

این نمودار باید از نظر مفهومی بر اساس سیستم جهت‌گیری نشان‌داده‌شده در شکل 4 استاندارد ISO 489:2022 باشد.

اندازه‌گیری قطبیده

برای مواد ناهمسانگرد، سیستم نوری می‌تواند علاوه بر این، به یک **فیلتر قطبش** مجهز شود.

سپس می‌توان اندازه‌گیری‌ها را با استفاده از ترکیب‌های مختلف موارد زیر انجام داد:

- جهت‌گیری نمونه آزمون
- جهت دستگاه
- جهت عرضی
- جهت ضخامت
- جهت قطبش

تصویر پیشنهادی:

نور 589 nm -> قطبش‌گر -> منشور -> نمونه آزمون پلیمری جهت‌یافته -> آشکارساز

جهت قطبش باید با پیکان‌ها به‌وضوح مشخص شود.

این اندازه‌گیری‌ها برای بررسی خواص نوری وابسته به جهت که در اثر فرایند تولید پلیمر و جهت‌گیری مولکولی ایجاد می‌شوند، مفید هستند.

اندازه‌گیری پلاستیک‌های نیمه‌شفاف، رنگی و کدر

روش ISO 489 تنها به نمونه‌های آزمون کاملاً شفاف محدود نمی‌شود.

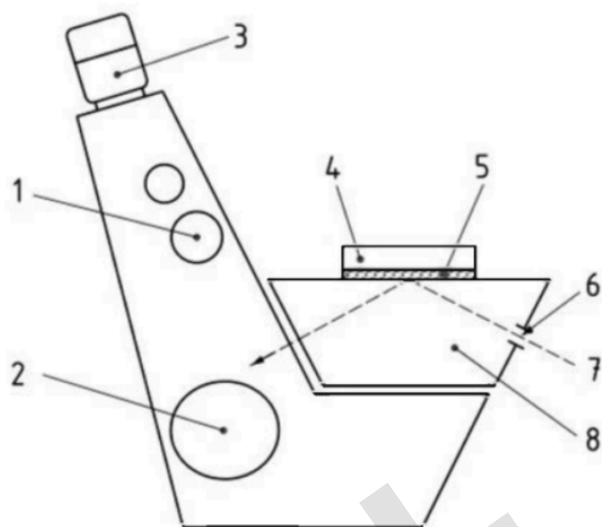
برخی از مواد پلاستیکی:

نیمه‌شفاف - رنگی - کدر

را نیز می‌توان ارزیابی کرد.

برای این نمونه‌های آزمون، از **آرایش اندازه‌گیری بازتابی** استفاده می‌شود.

در این روش، به جای اتکا به عبور نور از کل نمونه آزمون، سیستم نوری نور بازتابیده از فصل مشترک نمونه آزمون/منشور را ارزیابی می‌کند.



Key

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1 compensator drum | 5 contacting liquid |
| 2 adjusting handle | 6 window for lighting |
| 3 eyepiece | 7 light |
| 4 specimen | 8 main prism |

Figure 6 — Method for measuring refractive index of translucent, coloured and opaque materials

آرایش نوری پیشنهادی:

منبع نور -> پنجره روشنایی -> منشور اصلی -> مایع تماس -> نمونه آزمون کدر و پس از آن:

نور بازتابیده -> منشور اصلی -> سیستم آشکارسازی نوری
نمودار باید **نور تابشی** را از **نور بازتابیده اندازه‌گیری** به‌وضوح متمایز کند.
این آرایش از نظر مفهومی بر اساس پیکربندی بازتابی نشان‌داده‌شده در شکل 6 استاندارد ISO 489:2022 است.

آماده‌سازی نمونه

آماده‌سازی صحیح نمونه آزمون برای اندازه‌گیری دقیق ضریب شکست ضروری است.

برای نمونه‌های آزمون ورق، سطحی که با منشور در تماس است باید:

- از نظر نوری تخت باشد
- به‌اندازه کافی صیقلی باشد
- تمیز باشد
- فاقد پلیسه‌های برش باشد

• فاقد آلودگی باشد

نمونه آزمون باید تماس یکنواختی با منشور اندازه‌گیری ایجاد کند.
آماده‌سازی نامناسب سطح می‌تواند باعث ایجاد مرزی نوری ناپایدار یا نامشخص شود.

شرایط محیطی

شرایط‌دهی نمونه آزمون مطابق با شرایط مرجع‌شده در ISO 489:2022 و ISO 291 انجام می‌شود.

اتمسفر مرجع مشخص‌شده عبارت است از:

دما

$23 \pm 2^{\circ}\text{C}$

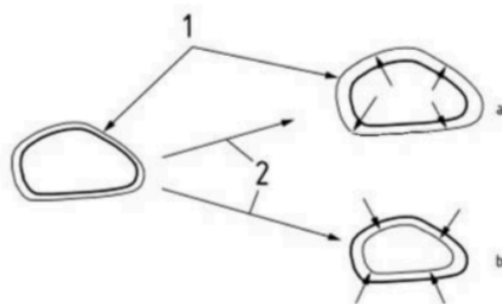
رطوبت نسبی

$50 \pm 5\% \text{ RH}$

تجهیزات اندازه‌گیری نیز باید در محیطی کنترل‌شده به کار گرفته شوند تا تغییرات ناشی از نوسان‌های خارجی دما و رطوبت به حداقل برسد.

معماری دستگاه دیجیتال

یک سیستم مدرن اندازه‌گیری ضریب شکست که بر اساس اصل روش A استاندارد ISO 489 طراحی شده است، می‌تواند کل فرایند اندازه‌گیری را در یک پلتفرم با کنترل دیجیتال یکپارچه کند.



Key

- 1 becke line
- 2 lift the lens-barrel of the microscope to defocus slightly
- ^a Where the immersion liquid has a higher refractive index than that of the sample, the Becke line is seen moving towards the immersion liquid.
- ^b In the opposite case, the Becke line is seen moving towards the particle.

Figure 7 — Becke line and its movement

نمودار پیشنهادی سیستم:

منبع نور 589 nm



اپتیک روشنایی



منشور فرعی / فصل مشترک نمونه



نمونه آزمون پلاستیکی



مایع تماس



منشور اصلی اندازه گیری



سیستم آشکارسازی نوری



پردازش تصویر / سیگنال



الگوریتم آشکارسازی مرز



تابع کالیبراسیون



ضریب شکست (n)

یک سیستم مستقل کنترل دمای حلقه بسته باید به طور همزمان مجموعه اندازه گیری را در دمای مورد نیاز نگه دارد.

ویژگی های پیشنهادی سیستم

یک دستگاه دیجیتال اندازه گیری ضریب شکست می تواند شامل موارد زیر باشد:

- محدوده اندازه گیری تقریبی 1.300 to 1.700
- دقت هدف اندازه گیری ± 0.001
- منبع نوری نزدیک به 589 nm
- منشور نوری دقیق برای اندازه گیری

- آشکارسازی نوری دیجیتال
- آشکارسازی خودکار مرز روشن/تاریک
- کنترل دمای منشور به صورت حلقه بسته
- اندازه گیری در $0.5^{\circ}\text{C} \pm 23.0$
- کالیبراسیون دیجیتال
- شناسایی نمونه
- سابقه اندازه گیری
- ذخیره سازی داده های آزمون
- تولید خودکار گزارش آزمون
- انتقال داده از طریق USB یا شبکه
- مازول قطبش اختیاری
- حالت اندازه گیری بازتابی اختیاری

کاربردهای متداول

این سیستم را می توان برای مشخصه یابی نوری و کنترل کیفیت موارد زیر به کار برد:

- ورق های پلاستیکی شفاف
- فیلم های پلیمری
- قطعات قالب گیری شده به روش تزریقی

- پلاستیک‌های اکستروژنه شده
- فیلم‌های پلیمری جهت یافته
- پلاستیک‌های نیمه شفاف
- پلیمرهای رنگی
- پلاستیک‌های کدر منتخب

حوزه‌های کاربرد متداول عبارت‌اند از:

آزمایشگاه‌های پلیمر | تولید پلاستیک | کنترل کیفیت | تحقیق و توسعه | شناسایی مواد | بازرسی مواد ورودی

گزارش آزمون

برای آزمون قابلیت‌رديابی مطابق با ISO 489:2022، گزارش اندازه‌گیری باید اطلاعات مرتبطی مانند موارد زیر را دربر داشته باشد:

- ارجاع به ISO 489:2022
- شناسایی کامل ماده آزمون شده
- روش اندازه‌گیری استفاده شده
- نوع منبع نور
- طول موج اندازه‌گیری
- جهت‌گیری نمونه آزمون، در صورت کاربرد

- اطلاعات پراکندگی، در موارد کاربرد روش A
- مایع غوطه‌وری، در صورت استفاده از روش B
- ضریب شکست اندازه‌گیری شده
- هرگونه انحراف از روش مشخص شده
- تاریخ اندازه‌گیری

این موارد مبنایی ساختاریافته برای مستندسازی آزمایشگاه، مقایسه مواد و سوابق کنترل کیفیت فراهم می‌کنند.