

Agnieszka CHRZĄSTEK
Justyna KAŁUŻA

ANALIZA WYNIKÓW WZORCOWANIA WZORCÓW WIDMOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA PRZEPUSZCZANIA I GĘSTOŚCI OPTYCZNEJ WIDMOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA PRZEPUSZCZANIA Z UŻYCIEM FILTRÓW NEUTRALNYCH, NAPYLANYCH I CIEKŁYCH

STRESZCZENIE *Prezentowane wyniki wzorcowania oraz źródła niepewności przy wzorcowaniu wzorców widmowego współczynnika przepuszczenia i gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczenia na przykładzie filtrów neutralnych, napylnych i ciekłych. Wyniki otrzymane w laboratorium wzorcującym Okręgowego Urzędu Miar (OUM) w Łodzi porównano z wynikami otrzymanymi w Głównym Urzędzie Miar (GUM), w Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) oraz w Starna Scientific.*

Słowa kluczowe: wzorcowanie, spektrofotometria, widmowy współczynnik przepuszczenia, wzorce neutralne, wzorce napylane, wzorce ciekłe

mgr inż. Agnieszka CHRZĄSTEK
e-mail: oum.lodz.w42@gum.gov.pl

mgr inż. Justyna KAŁUŻA
e-mail: oum.lodz.w42@gum.gov.pl

Okręgowy Urząd Miar w Łodzi
Wydział Chemii Analitycznej i Fizykochemii
Pracownia Fizykochemii

1. WSTĘP

W ostatnich latach zauważa się rosnące zainteresowanie potwierdzaniem kompetencji laboratoriów na drodze akredytacji. Laboratorium posiadające akredytację pracuje zgodnie z system zarządzania jakością opierając się na normie PN-EN ISO/IEC 17025:2005 „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”. Laboratoria wykonujące pomiary spektrofotometryczne powinny okresowo wzorcować i sprawdzać użytkowane spektrofotometry, co może być wykonane za pomocą materiałowych wzorców odniesienia – wzorcowych filtrów optycznych. Wzorce widmowego współczynnika przepuszczania i gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania służące do wzorcowania lub sprawdzania spektrofotometrów wykonuje się różnymi technikami z różnych materiałów optycznie czynnych np. wzorce napyłane, szklane, kwarcowe, ciekłe. Wartości widmowego współczynnika przepuszczania lub wartości gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania wzorców są wyznaczane za pomocą spektrofotometru odniesienia, który może pełnić rolę pierwotnego lub wtórnego wzorca jednostki miary.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyników wzorcowania wzorców achromatycznych widmowego współczynnika przepuszczania i gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania na przykładzie filtrów: neutralnych, napyłanych i ciekłych. Wzorcowania zostały wykonane w Okręgowym Urzędzie Miar (OUM) w Łodzi oraz w trzech laboratoriach wzorcujących: GUM (Główny Urząd Miar, Polska), PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt, Niemcy), Starna (Starna Scientific, Wielka Brytania).

Wzorcowanie wzorców achromatycznych, zwanych dalej filtrami wzorcowymi, wykonuje się metodą bezpośredniego pomiaru. Każdy filtr wzorcowy stosowany w spektrofotometrii ma wyznaczoną wartość widmowego współczynnika przepuszczania $\tau(\lambda)$ lub wartość gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania $D(\lambda)$ przy co najmniej kilku długościach fal. Wartości te wraz z wartościami niepewności rozszerzonej i współczynnikiem rozszerzenia k , podane są w świadectwie wzorcowania filtrów.

Widmowy współczynnik przepuszczania $\tau(\lambda)$ definiuje się jako stosunek energetycznego strumienia widmowego przepuszczonego do strumienia widmowego padającego, wyrażony wzorem:

$$\tau(\lambda) = \frac{\Phi_{e\lambda\tau}}{\Phi_{e\lambda}} \quad (1)$$

Z kolei gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania $D(\lambda)$ określona jako logarytm dziesiętny odwrotności widmowego współczynnika przepuszczania jest wyrażona wzorem:

$$D(\lambda) = -\log(\tau(\lambda)) \quad (2)$$

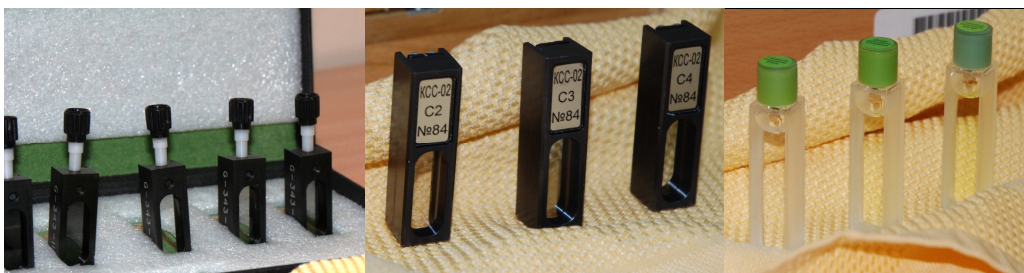
gdzie: λ – określona długość fali.

2. OBIEKTY PORÓWNAŃ

Filtry wzorcowe stosowane w spektrofotometrii przepuszczają kierunkowo światło zmieniając wartości strumienia świetlnego lub energetycznego albo zmieniając ich względny rozkład widmowy przy przechodzeniu przez nie promieniowania.

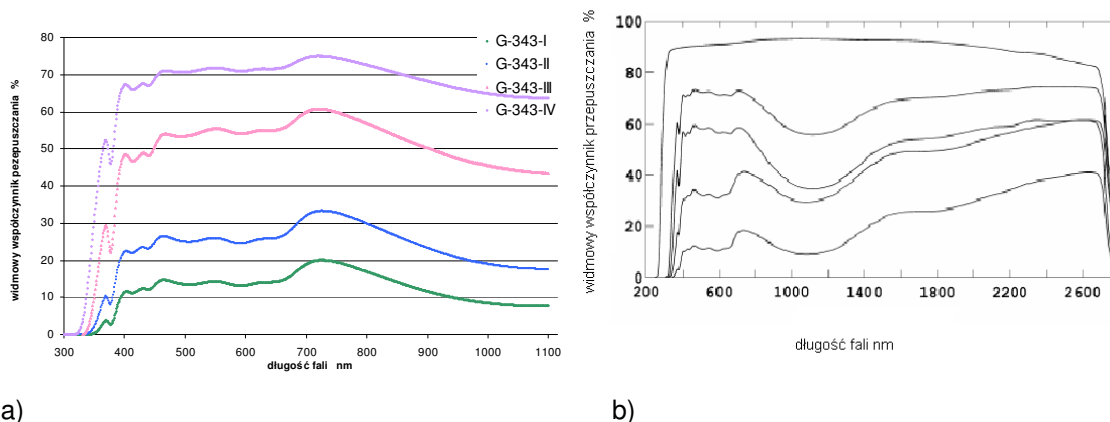
Porównania wykonano na filtrach nieselektywnych, które nie zmieniają względnego rozkładu widmowego padającego promieniowania oraz na filtrach ciekłych.

Przykładami filtrów nieselektywnych są użyte do porównań filtry neutralne i napyłane, które mają w przybliżeniu płaską charakterystykę widmową.



Rys.1. Filtry neutralne, filtry napyłane, filtry ciekłe - roztwory dwuchromianu potasu

a) Filtry neutralne - nazwa ich bierze się stąd, że ich charakterystyka widmowa jest względnie płaska w pewnym obszarze widmowym. Zestaw filtrów neutralnych tworzą płytki o różnym stopniu zaczernienia, a tym samym o różnych wartościach gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania (lub widmowego współczynnika przepuszczania).



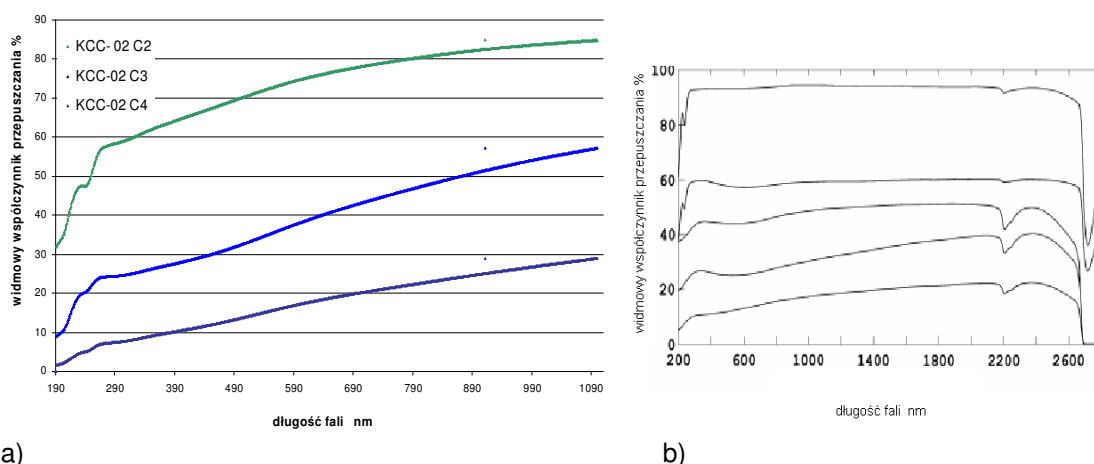
Rys. 2. Charakterystyki widmowe filtrów neutralnych

a) w zakresie (300-1100) nm otrzymane w OUM Łódź

b) w zakresie (200-2800) nm [1]

W obszarze nadfioletu filtry neutralne mają dość wyraźną krawędź odcinającą, co ogranicza ich zakres widmowy użytkowania.

b) Filtry napyłane wykonuje się poprzez napylenie na płaskorównoległą płytkę kwarcową warstwy metalu np. platyny, palladu, stopu Fe, Ni i Co (tzw. Inconel) lub stopu Ni-Cr (niklowo-chromowego). Zestaw filtrów napyłanych tworzą płytki o różnych grubościach warstwy napylanej, a więc i o różnych wartościach współczynnika przepuszczenia. Dla ochrony warstwy napylanej przed uszkodzeniem płytkę z warstwą napyloną pokrywa się często dodatkową płytką.



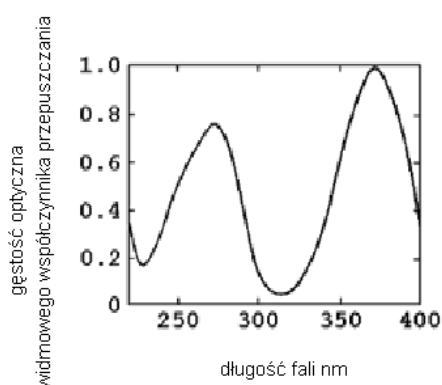
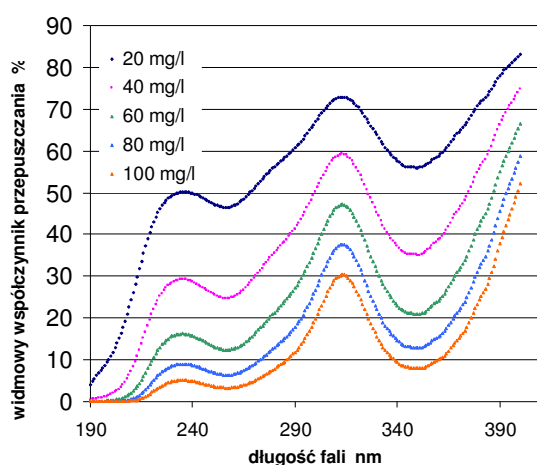
Rys.3. Charakterystyki widmowe filtrów napyłanych

a) w zakresie (190-1100) nm otrzymane w OUM Łódź

b) w zakresie (200-2800) nm [1]

Oba rodzaje filtrów: neutralne i napyłane stosuje się do wzorcowania spektrofotometrów w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni (NIR), a filtry napyłane mogą być ponadto stosowane w zakresie UV. Filtry napyłane mają bardziej płaską charakterystykę widmową niż filtry szklane, co widać na przedstawionych powyżej wykresach.

c) Filtry ciekłe (PDC) - przezroczyste szczelnie zamknięte pojemniki (kuwety) zawierają roztwory dwuchromianu potasu ($K_2Cr_2O_7$) o różnych stężeniach.



a)

b)

Rys. 4. Charakterystyki widmowe filtrów ciekłych

a) w zakresie (190-400) nm otrzymane w OUM Łódź
b) w zakresie (200-400) nm [1]

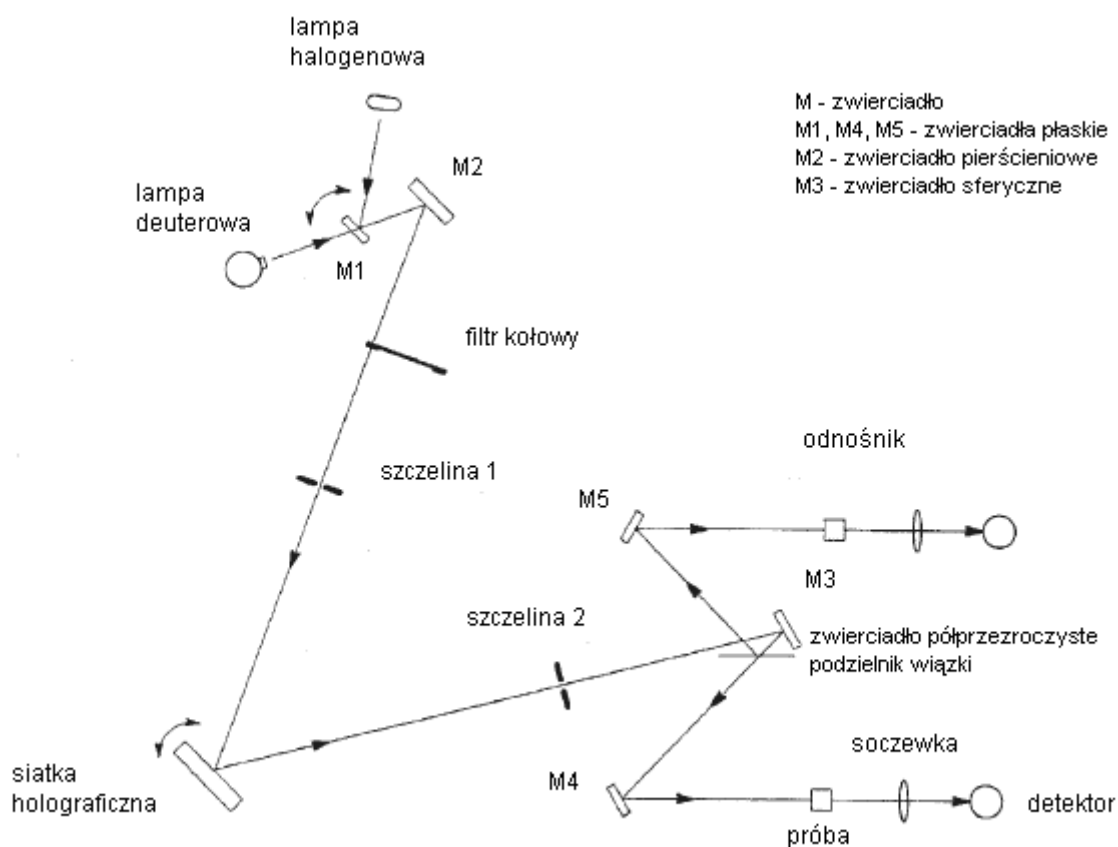
Krzywa widmowego współczynnika przepuszczania w funkcji długości fali wykazuje charakterystyczne dla dwuchromianu potasu ekstrema przy długości fal ok.: 235 nm, 257 nm, 313 nm i 350 nm. Dla tych właśnie długości fal wyznaczane są wartości gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania lub widmowego współczynnika przepuszczania. Daje to ograniczony zakres stosowania w porównaniu z filtrami neutralnymi i napyłanymi.

Na rysunkach 2, 3 i 4 przedstawiono charakterystyki widmowe dla filtrów neutralnych, napyłanych i ciekłych wykonane w dwóch niezależnych laboratoriach. Zestawione widma dla każdego rodzaju filtrów mogą się nieznacznie różnić, co wynika z tego, iż pomiary zostały wykonane na różnych filtrach oraz na różnych przyrządach.

3. SPEKTROFOTOMETR WZORCOWY

Posiadany przez OUM Łódź spektrofotometr Lambda 35 UV-VIS jest wyposażony w dwa źródła światła: lampę deuterową i lampę halogenową. Detektorami promieniowania są dwie fotodiody: jedna dla wiązki próby, druga dla wiązki odnośnika (spektrofotometr dwuwiązkowy).

Elementem dyspersyjnym w spektrofotometrze Lambda 35 jest siatka holograficzna, która wydziela z ciągłego widma źródła promieniowanie o wybranej długości fali.



Rys. 5. Ścieżka optyczna spektrofotometru Lambda 35

TABELA 1

Dane techniczne spektrofotometru Lambda 35

Zakres długości fal	190 nm -1100 nm
Półwkowa szerokość widmowa szczeliny wyjściowej	0,5 nm, 1 nm, 2 nm, 4 nm
Zmiana lampy	Automatyczna przy 326 nm
Zakres fotometryczny	Widmowy współczynnik przepuszczania: 0% do 100% Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania: 0 do 6,000

4. ŹRÓDŁA BŁĘDÓW

Wyznaczając widmowy współczynnik przepuszczania lub gęstość optyczną widmowego współczynnika przepuszczania musimy określić jakie czynniki wpływają na wynik pomiaru. Przy określeniu źródeł błędów, które mają wpływ na wynik pomiarów wzięto pod uwagę dane producenta spektrofotometru oraz własne pomiary. Na podstawie tych danych określono tzw. wielkości wpływające na wynik pomiaru. Na wynik pomiaru wpływa między innymi nieliniowość układu odbiorczego spektrofotometru, rozproszenie światła, niejednorodność wzorcowanego filtra, niepowtarzalności ustawienia wzorcowanego filtra, błędy skali długości fali oraz powtarzalność pomiarów. Szczegółowe rozważania dotyczące źródeł błędów przedstawiono w publikacjach [4,5].

5. WYNIKI POMIARÓW

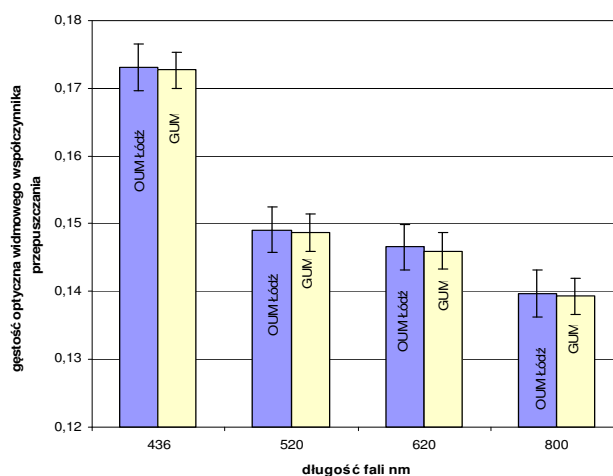
a) Obiekt porównań: Zestaw neutralnych filtrów oznaczonych symbolem G-343

W tabeli nr 2 przedstawiono wyniki wzorcowania wykonane przez dwa niezależne laboratoria wzorcujące: OUM Łódź i GUM.

TABELA 2

Wartość gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania względem powietrza dla połwkowej szerokości widmowej szczeliny wyjściowej równej 1 nm

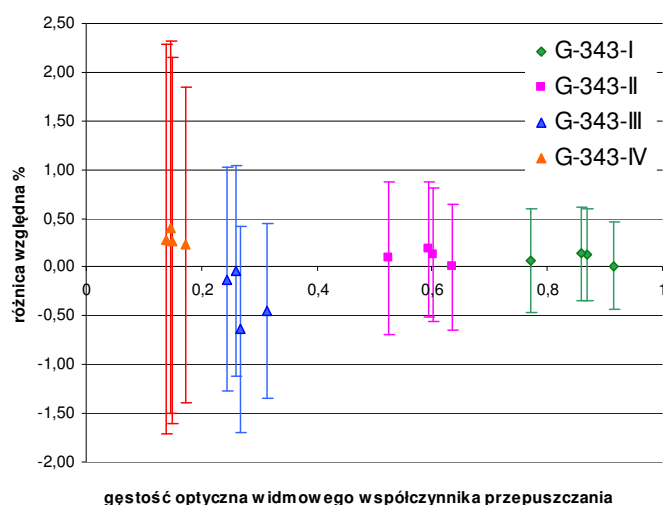
Długość fali λ nm	Obiekt porównań	OUM Łódź	GUM	OUM Łódź	GUM
		$D_r(\lambda)$		Niepewność rozszerzona	
436	G-343-I	0,9156	0,9155	0,0047	0,0041
520		0,8689	0,8678		
620		0,8592	0,8580		
800		0,7713	0,7708		
436	G-343-II	0,6338	0,6338	0,0047	0,0034
520		0,6011	0,6003		
620		0,5946	0,5935		
800		0,5246	0,5241		
436	G-343-III	0,3132	0,3146	0,0034	0,0029
520		0,2661	0,2678		
620		0,2600	0,2601		
800		0,2442	0,2445		
436	G-343-IV	0,1731	0,1727	0,0034	0,0027
520		0,1491	0,1487		
620		0,1466	0,1460		
800		0,1397	0,1393		



Rys. 6. Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania przy różnych długościach fal dla filtra G-343-IV. Wyniki uzyskane w laboratoriach wzorcujących OUM Łódź oraz GUM

Jak widać w tabeli 2 i na rysunku 6 wartości gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania oraz niepewności rozszerzone otrzymane w OUM Łódź i GUM niewiele się różnią, przy czym niepewności uzyskane przez laboratorium OUM Łódź są nieco większe.

Na rysunku 7 przedstawiono również tzw. różnice względne dla filtrów neutralnych zestawu G-343 oraz zaznaczono niepewności względne, które potwierdzają dobrą zgodność wyników uzyskanych w obydwu laboratoriach.



Rys. 7. Różnica względna pomiaru gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania pomiędzy laboratorium OUM Łódź oraz GUM

Różnicę względną obliczono ze wzoru:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{(D_{LAB} - D) \cdot 100\%}{D} \quad (3)$$

gdzie: ΔD – różnica pomiędzy wartością otrzymaną w laboratorium wzorcującym (GUM, PTB, Starna) a wartością otrzymaną w OUM Łódź,
 D – wartość otrzymana w laboratorium OUM Łódź.

Niepewność względną policzono ze wzoru:

$$\frac{U(D)}{D} = \frac{U(D) \cdot 100\%}{D} \quad (4)$$

gdzie: $U(D)$ – niepewność pomiaru otrzymana w laboratorium OUM Łódź,
 D – wartość otrzymana w laboratorium wzorcującym OUM Łódź.

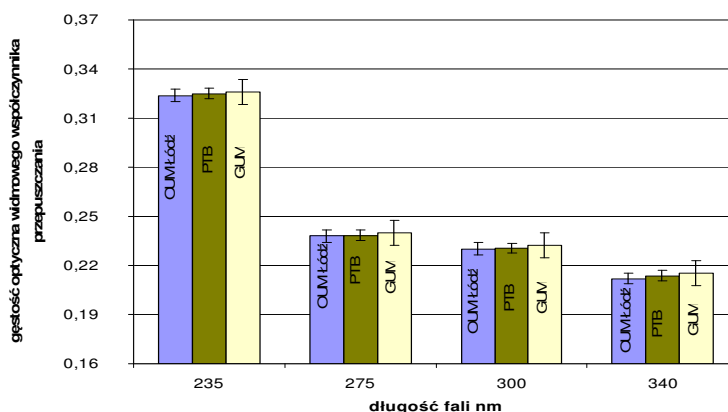
b) Obiekt porównań: Zestaw napyłanych wzorców oznaczony symbolem KCC-02 nr 84 filtry-C2, C3, C4

W tabelach nr 3 i nr 4 przedstawiono wyniki wzorcowania wykonane przez trzy laboratoria wzorcujące: OUM Łódź, PTB oraz GUM.

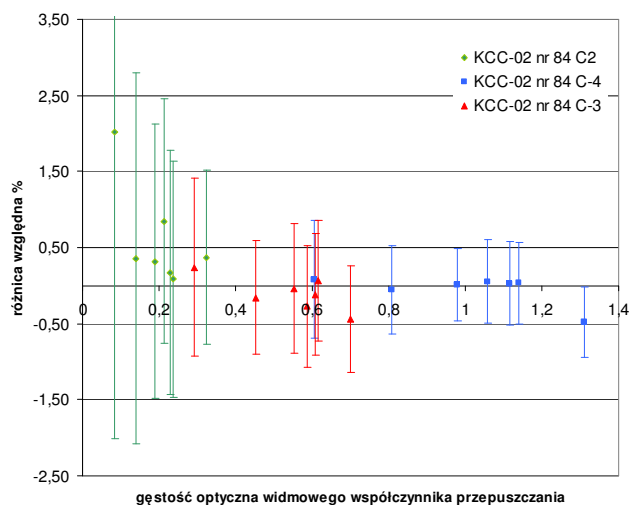
TABELA 3

Wartość gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania względem powietrza dla połowkowej szerokości widmowej szczeliny wyjściowej równej 1 nm

Długość fali λ nm	Obiekt porównań	OUM Łódź	PTB	GUM	OUM Łódź	PTB	GUM
		$D_{\tau}(\lambda)$			Niepewność rozszerzona		
900	KCC-02 nr 84 filtr C2	0,0843	0,0860	-	0,0034	0,0028	-
550		0,1393	0,1398	-	0,0034	0,0030	-
400		0,1886	0,1892	-	0,0034	0,0031	-
340		0,2120	0,2138	0,2154	0,0034	0,0032	0,0076
300		0,2302	0,2306	0,2323	0,0037	0,0032	
275		0,2381	0,2383	0,2398	0,0037	0,0032	
235		0,3238	0,3250	0,3261	0,0037	0,0035	
900	KCC-02 nr 84 filtr C3	0,2914	0,2921	-	0,0034	0,0034	-
550		0,4532	0,4525	-	0,0034	0,0038	-
400		0,5533	0,5531	-	0,0047	0,0040	-
340		0,5870	0,5854	0,5858	0,0047	0,0041	0,0092
300		0,6092	0,6085	0,6087	0,0049	0,0042	
275		0,6147	0,6151	0,6150	0,0049	0,0042	
235		0,6989	0,6958	0,6979	0,0049	0,0044	
900	KCC-02 nr 84 filtr C4	0,6049	0,6054	-	0,0047	0,0042	-
550		0,8092	0,8088	-	0,0047	0,0047	-
400		0,9795	0,9796	-	0,0047	0,0052	-
340		1,0577	1,0583	1,0599	0,0058	0,0054	0,0109
300		1,1170	1,1173	1,1194	0,0061	0,0055	0,0112
275		1,1403	1,1407	1,1427	0,0061	0,0056	0,0113
235		1,3095	1,3032	1,3092	0,0061	0,0060	0,0123



Rys. 8. Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania przy różnych długościach fal dla filtra KCC-02 nr 84 C2. Wyniki uzyskane w laboratoriach wzorcujących OUM Łódź, PTB oraz GUM

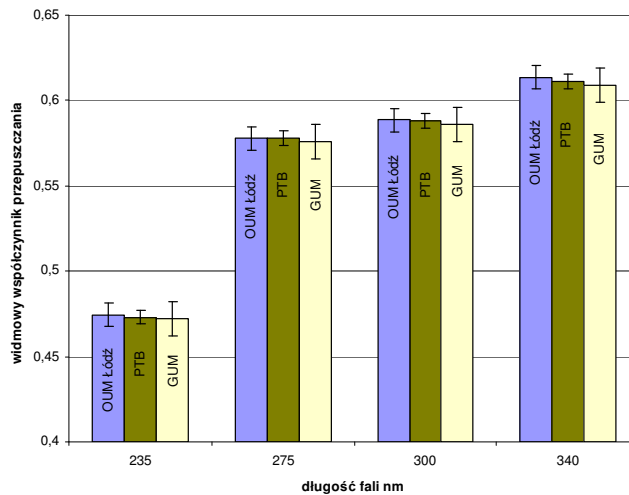


Rys. 9. Różnica względna pomiaru gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania pomiędzy laboratorium OUM Łódź oraz PTB

TABELA 4

Widmowy współczynnik przepuszczania względem powietrza dla połówkowej szerokości widmowej szczeliny wyjściowej równej 1 nm

Długość fali λ nm	Obiekt porównań	OUM Łódź	PTB	GUM	OUM Łódź	PTB	GUM
		$\tau(\lambda)$			Niepewność rozszerzona		
900	KCC-02 nr 84-filtr C2	0,8233	0,820	-	0,0066	0,0054	-
550		0,7256	0,725	-	0,0066	0,0050	-
400		0,6473	0,647	-	0,0066	0,0046	-
340		0,6136	0,611	0,6090	0,0066	0,0045	0,0100
300		0,5886	0,588	0,5857	0,0069	0,0043	
275		0,5778	0,578	0,5757	0,0069	0,0043	
235		0,4745	0,473	0,4719	0,0069	0,0038	
900	KCC-02 nr 84-filtr C3	0,5103	0,510	-	0,0066	0,0040	-
550		0,3526	0,353	-	0,0066	0,0031	-
400		0,2792	0,280	-	0,0037	0,0026	-
340		0,2584	0,260	0,2595	0,0037	0,0025	0,0052
300		0,2456	0,246	0,2462	0,0045	0,0024	
275		0,2427	0,243	0,2426	0,0045	0,0024	
235		0,2001	0,201	0,2005	0,0045	0,0021	
900	KCC-02 nr 84-filtr C4	0,2491	0,248	-	0,0037	0,0024	-
550		0,1553	0,155	-	0,0037	0,0017	-
400		0,1048	0,105	-	0,0037	0,0012	-
340		0,0874	0,0874	0,08711	0,0029	0,0011	0,00218
300		0,0761	0,0763	0,07596	0,0033	0,0010	0,00196
275		0,0723	0,0723	0,07200	0,0033	0,0009	0,00188
235		0,0490	0,0498	0,04907	0,0033	0,0004	0,00139



Rys. 10. Widmowy współczynnik przepuszczania przy różnych długościach fali dla filtra KCC-02 nr 84 C2. Wyniki uzyskane w laboratoriach wzorcujących OUM Łódź, PTB oraz GUM

Na rysunkach 8 i 10 przedstawiono wyniki tego samego obiektu porównań- filtra KCC-02 nr 84 C2. Na rysunku 8 przedstawiono wartości gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania, natomiast na rysunku 10 – wartości widmowego współczynnika przepuszczania otrzymane w trzech niezależnych laboratoriach wzorcujących.

Wartości gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania i widmowego współczynnika przepuszczania otrzymane w OUM Łódź różnią się niewiele od wartości uzyskanych w PTB i GUM, natomiast niepewności uzyskane w GUM są istotnie wyższe od niepewności uzyskanych w pozostałych dwóch laboratoriach wzorcujących.

c) Obiekt porównań - Zestaw ciekłych wzorców typ RM-0204060810 oznaczony numerem 13005

W tabeli nr 5 przedstawiono wyniki wzorcowania wykonane przez trzy laboratoria wzorcujące: OUM Łódź, Starna oraz GUM.

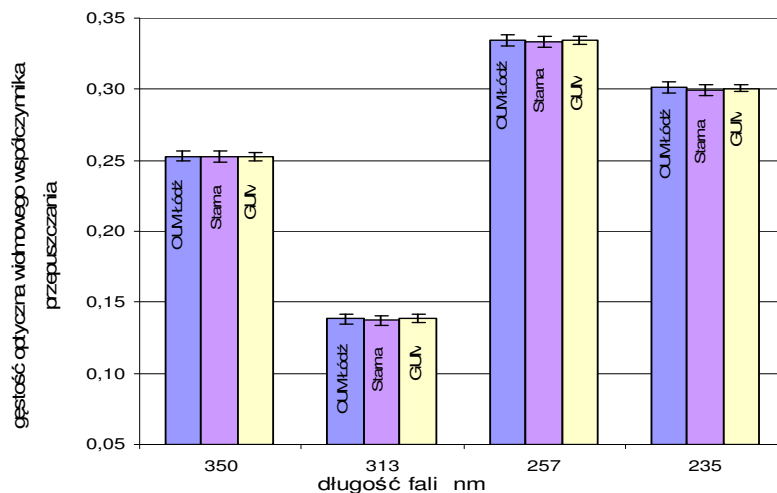
TABELA 5

Wartość gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania względem powietrza dla połowkowej szerokości widmowej szczeliny wyjściowej równej 1 nm

Długość fali λ nm	Obiekt porównań	OUM Łódź	STARNA*	GUM	OUM Łódź	STARNA**	GUM
		$D_r(\lambda)$			Niepewność rozszerzona		
350	PDC 20 mg/l	0,2530	0,2528	0,2528	0,0034	0,0037	0,0029
313		0,1383	0,1373	0,1384	0,0037		
257		0,3344	0,3336	0,3344	0,0037		
235		0,3013	0,2995	0,3008	0,0037		
350	PDC 40 mg/l	0,4551	0,4565	0,4551	0,0034	0,0045	0,0034
313		0,2283	0,2290	0,2288	0,0037		
257		0,6074	0,6082	0,6077	0,0049		
235		0,5354	0,5361	0,5353	0,0049		
350	PDC 60 mg/l	0,6787	0,6786	0,6774	0,0047	0,0049	0,0040
313		0,3263	0,3267	0,3262	0,0037		
257		0,9072	0,9078	0,9060	0,0049		
235		0,7899	0,7908	0,7880	0,0049		
350	PDC 80 mg/l	0,8892	0,8889	0,8876	0,0047	0,00058	0,0048
313		0,4243	0,4246	0,4245	0,0037		
257		1,1950	1,1961	1,1942	0,0061		
235		1,0436	1,0440	1,0412	0,0061		
350	PDC 100 mg/l	1,0985	1,0996	1,0979	0,0058	0,0068	0,0070
313		0,5183	0,5192	0,5195	0,0049		
257		1,4838	1,4861	1,4851	0,0061		
235		1,2922	1,2935	1,2920	0,0061		

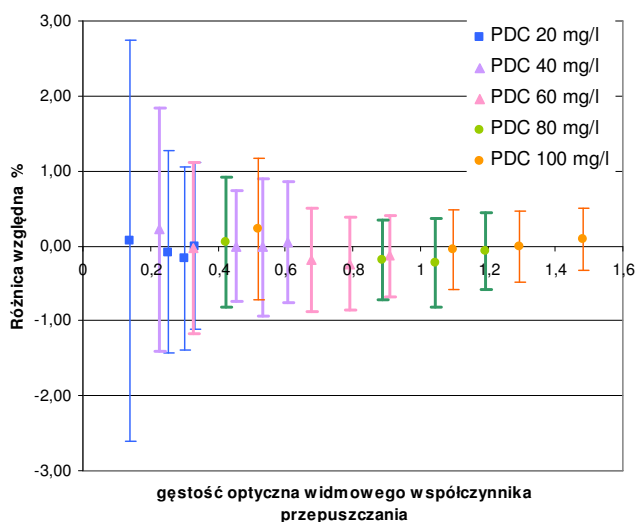
* - do wyników otrzymanych w laboratorium Starna (pomiar względem próbki BLANK) dodano wartości gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania próbki BLANK dla określonych długości fal zmierzonych względem powietrza w OUM Łódź

** - niepewności otrzymane w laboratorium Starna dla pomiarów gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania ww. filtrów ciekłych względem próbki BLANK



Rys. 11. Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania przy różnych długościach fal względem powietrza dla filtra ciekłego PDC 20 mg/l. Wyniki uzyskane w laboratoriach wzorcujących OUM Łódź, Starna oraz GUM

Na rysunku nr 11 przedstawiono wyniki pomiarów gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania tego samego obiektu- filtra ciekłego PDC 20 mg/l. Wartości gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania oraz niepewności otrzymane w trzech niezależnych laboratoriach różnią się nieznacznie przy czym najmniejsze wartości niepewności uzyskano w laboratorium GUM .



Rys. 12. Różnica względna pomiaru gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania filtrów ciekłych pomiędzy laboratorium OUM Łódź oraz GUM

WYNIKI POMIARÓW DLA FILTRÓW NAPYLANYCH WZORCOWANYCH W PTB

TABELA 6

Wartość gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania względem powietrza dla połwkowej szerokości widmowej szczeliny wyjściowej równej 1 nm

Długość fali λ nm	Obiekt porównań	OUM Łódź	PTB	GUM	OUM Łódź	PTB	GUM
		$D_r(\lambda)$			Niepewność rozszerzona		
900	KCC-02 nr 84 filtr C1	0,0297	0,0298	-	0,0034	0,00268	-
550		0,0307	0,0304	-	0,0034	0,00269	-
400		0,0321	0,0317	-	0,0034	0,00269	-
340		0,0332	0,0328	0,0342	0,0034	0,00269	0,0065
300		0,0344	0,0342	0,0355	0,0037	0,00270	
275		0,0359	0,0356	0,0373	0,0037	0,00270	
235		0,0747	0,0757	0,0771	0,0037	0,00280	
900	KCC-02 nr 84 filtr C5	0,7302	0,7338	-	0,0047	0,00452	-
550		0,9698	0,9698	-	0,0047	0,00513	-
400		1,3281	1,3283	-	0,0058	0,00607	-
340		1,5151	1,5223	1,5208	0,0077	0,00657	0,0138
300		1,6584	1,6643	1,6640	0,0080	0,00694	0,0153
275		1,7237	1,7300	1,7290	0,0080	0,00711	0,0161
235		1,9536	1,9594	1,9610	0,0082	0,00771	0,0204
900	KCC-02 nr 84 filtr C6	1,0303	1,0294	-	0,0058	0,00529	-
550		1,4782	1,4757	-	0,0077	0,00645	-
400		1,9394	1,9376	-	0,0077	0,00766	-
340		2,1337	2,1350	2,1348	0,0078*	0,00817	0,0261
300		2,2590	2,2666	2,2667	0,0082*	0,00851	0,0325
275		2,3110	2,3177	2,3161	0,0082*	0,00865	0,0355
235		2,4743	2,4819	2,4815	0,0081*	0,00907	0,0491

TABELA 7

Widmowy współczynnik przepuszczania względem powietrza dla połówkowej szerokości widmowej szczeliny wyjściowej równej 1 nm

Długość fali λ nm	Obiekt porównań	OUM Łódź	PTB	GUM	OUM Łódź	PTB	GUM
		$\tau(\lambda)$			Niepewność rozszerzona		
900	KCC-02 nr 84-filtr C1	0,9339	0,93400	-	0,0066	0,005770	-
550		0,9318	0,93200	-	0,0066	0,005763	-
400		0,9289	0,93000	-	0,0066	0,005756	-
340		0,9265	0,92700	0,9242	0,0066	0,005745	0,0136
300		0,9237	0,92400	0,9215	0,0069	0,005734	
275		0,9207	0,92100	0,9178	0,0069	0,005724	
235		0,8414	0,84000	0,8374	0,0069	0,005422	
900	KCC-02 nr 84-filtr C5	0,1849	0,1850	-	0,0037!	0,001923	-
550		0,1071	0,10700	-	0,0037!	0,001265	-
400		0,0469	0,04700	-	0,0029!	0,000657	-
340		0,0305	0,03000	0,03014	0,0029!	0,000454	0,00096
300		0,0220	0,02170	0,02168	0,0027!	0,000347	0,00076
275		0,0189	0,01860	0,01867	0,0027!	0,000305	0,00069
235		0,0112	0,01100	0,01094	0,0027!	0,000195	0,00052
900	KCC-02 nr 84-filtr C6	0,0933	0,09350	-	0,0029!	0,001138	-
550		0,0333	0,03340	-	0,0029!	0,000496	-
400		0,0115	0,01150	-	0,0023	0,000230	-
340		0,0074	0,00733	0,00733	0,0023	0,0001379	0,00044
300		0,0055	0,00541	0,00541	0,0027	0,0001060	0,00040
275		0,0049	0,00481	0,00483	0,0027	0,0000958	0,00039
235		0,0034	0,00330	0,00330	0,0027	0,0000689	0,00037

6. PODSUMOWANIE

Porównując wyniki uzyskane w czterech niezależnych laboratoriach wzorcujących stwierdzono, że uzyskane wartości widmowego współczynnika przepuszczania i/lub gęstości optyczne widmowego współczynnika przepuszczania różnią się od siebie nieznacznie i są mniejsze od wartości niepewności uzyskanych przez każde laboratorium.

W przypadku niepewności rozszerzonych, każde laboratorium wzorcujące samo określa źródła błędów, które mają wpływ na wynik pomiarów. Oceny niepewności w poszczególnych laboratoriach wykazują często dość istotne różnice, które powinny być w miarę upływu czasu zmniejszane. Laboratorium wzorcujące OUM Łódź opierając się na przeanalizowanych wynikach porównań potwierdza swoje kompetencje do wykonywania

wiarygodnych wzorcowań widmowego współczynnika przepuszczania i gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania filtrów optycznych w zakresie widmowym (190 – 1100) nm.

LITERATURA

1. A National Measurement Good Practice Guide No 97, Regular Transmission Measurements, NPL
2. Eckerle K., Sutter E., Freeman G., Andor G., Fillingner L.,: International Intercomparison of Regular Transmittance Scales, Metrologia 27, 33-38(1990)
3. Manoochehri F., Ikonen E., Liedquist L.: Comparison Measurements on Regular Spectral Transmittance. Color Research and Application vol. 21, nr 6, 440-447 (1996)
4. NIST Special Publication 260-116 Glass Filters as a Standard Reference Material for Spectrophotometry. Selection, Preparation, Certification, and Use of SRM 930 and SRM 1930, 1994
5. Pietrzykowski J.: Precyzyjne pomiary widmowego współczynnika przepuszczania filtrów optycznych. Normalizacja nr 2-3, 37-43 (1978)

ANALYSIS OF THE RESULTS OF CALIBRATION OF SPECTRAL TRANSMITTANCE AND SPECTRAL TRANSMITTANCE DENSITY STANDARDS WITH USAGE OF NEUTRAL, DEPOSITED AND LIQUID FILTERS

Agnieszka CHRZĄSTEK
Justyna KAŁUŻA

ABSTRACT *Analysis of the results of calibration and evaluated uncertainty sources of calibration of spectral transmittance and spectral transmittance density standards with usage of neutral, deposited and liquid filters is presented. Results obtained in calibrating laboratory of Regional Office of Measures in Łódź (OUM) and in laboratories of Central Office of Measures (GUM),*

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) and Starna Scientific are compared.



Agnieszka Chrzęstek - ukończyła studia na Wydziale Chemii Spożywczej i Biotechnologii Politechniki Łódzkiej, od 2007 roku pracownik Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi



Justyna Kałuża - ukończyła studia na Wydziale Fizyki i Chemii Uniwersytetu Łódzkiego oraz na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, od 2008 roku pracownik Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi