

Janusz MROCZKA

Instytut Metrologii Elektrycznej
Politechnika Wrocławska

TURBIDYMETR PRZEPLYWOWY

Streszczenie.

W artykule przedstawiono model turbidymetru przepływowego do pomiaru optycznych właściwości środowiska wodnego. Podano podstawy fizyczne pomiaru całkowitego współczynnika osłabienia oraz model matematyczny głowicy przepływowej.

1. WSTĘP

Prezentowany artykuł jest kolejnym z serii prac [3][7] poświęconych problemom pomiaru optycznych właściwości wody w ochronie środowiska wodnego, podjętych przez autora z myślą o eliminacji niejednoznaczności wskazań mętnościomierzy. W cytowanych pracach przeprowadzono analizę przyczyn niejednoznaczności wskazań mętnościomierzy oraz próbę eliminacji tego problemu. Prezentowane rozwiązania dotyczyły pomiaru metodą nefelometryczną. Obecna praca poświęcona jest metodzie turbidymetrycznej.

Zasadniczym i bezpośrednim celem pracy było opracowanie modelu turbidymetru o stosunkowo prostej konstrukcji, pozwalającego na pomiar fizycznej wielkości, jaką jest całkowity współczynnik osłabienia. Proponowana w pracy mierzona wielkość /całkowity współczynnik osłabienia/ dająca ilościową ocenę zachodzących w środowisku wodnym zjawisk została wprowadzona w miejsce dotychczas mierzonej wielkości, jaką jest "mętność". Termin "mętność" używany w mowie potocznej przy omawianiu właściwości roztworów absorbująco-rozpraszających nie może być wielkością mierzoną. Całkowity współczynnik osłabienia należy do jednolitego zbioru wielkości optycznych stosowanych w hydrooptyce. Jest on jednym elementem zbioru funkcji optycznych określających tzw. rzeczywiste właściwości optyczne wody. Główną cechą rzeczywistych właściwości wody jest to, że zależą one tylko od natury wody, czyli jej składu chemicznego i struktury fizycznej. Rzeczywiste właściwości optyczne wody charakteryzują wodę nie tylko pod względem optycznym, ale pozwalają również wnioskować o stężeniu zawiesin, produktywności biologicznej wód, o uwarstwieniu mas wodnych itp.

2. ZASADA DZIAŁANIA

Opracowany model turbidymetru przepływowego składa się z głowicy przepływowej oraz przetwornika optoelektronicznego całkowitego współczynnika osłabienia na znormalizowany analogowy sygnał elektryczny [2][5].

Istotnymi elementami turbidymetru przepływowego jest dioda elektroluminescencyjna będąca źródłem promieniowania oraz fotodioda półprzewodnikowa jako detektor promieniowania. Dioda elektroluminescencyjna zasilana jest źródłem prądowym, połączonym z układem kompensacji wpływu temperatury na stałość emitowanego przez nią strumienia, wyposażonym w czujnik temperatury. Fotodioda połączona jest przez wzmacniacz wstępny ze wzmacniaczem dopasowującym, a następnie przetwornikiem napięcie-prąd i miernikiem wyjściowym. Rys. 1 przedstawia schemat funkcjonalny turbidymetru przepływowego.

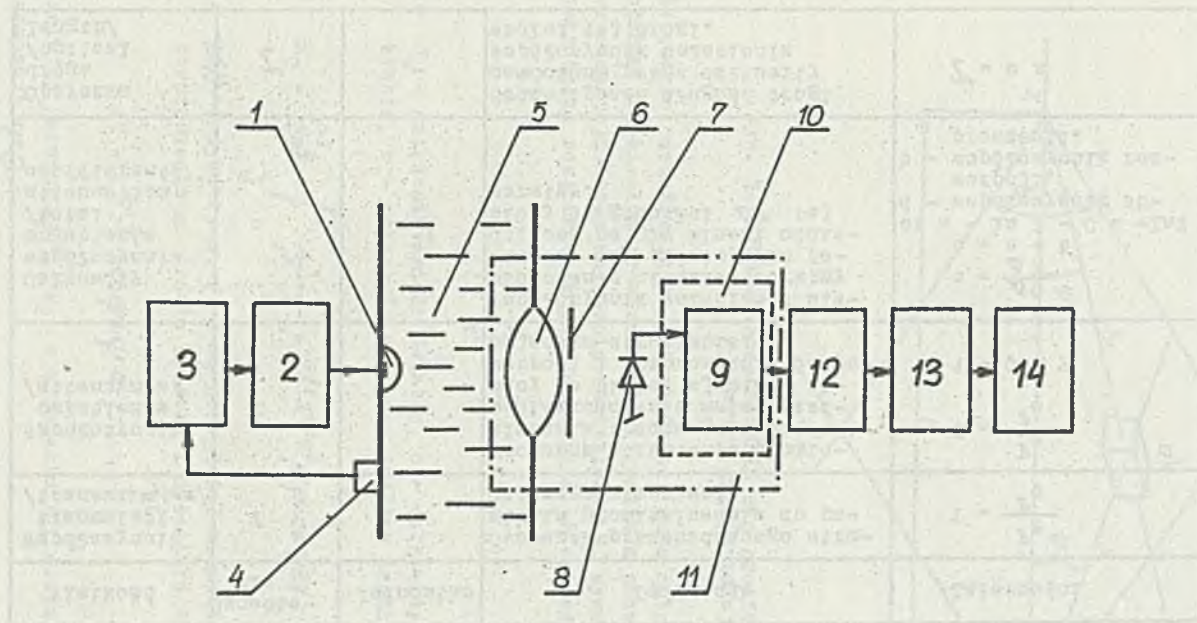
W modelu turbidymetru przepływowego wykorzystano sposób pomiaru całkowitego współczynnika osłabienia, polegający na oświetlaniu quasi-punktowym źródłem promieniowania badane medium w kącie bryłowym nie większym niż 2π oraz pomiarze światła rozproszonego w bardzo małym kącie bryłowym, wyznaczonym przez powierzchnię otworu przysłony i ogniskową użytej soczewki [5].

3. MODEL MATEMATYCZNY GŁOWICY PRZEPŁYWOWEJ

Podstawowym elementem turbidymetru przepływowego jest głowica przepływowa. Wielkością fizyczną mierzoną za pomocą głowicy jest całkowity współczynnik osłabienia. Wzorcowanie dokonywane jest przy użyciu wzorców transmisji. W tabeli I podano podstawowe wielkości fizyczne oraz ich definicje wykorzystywane w pomiarze turbidymetrem przepływowym.

Całkowity współczynnik osłabienia w praktyce wyznaczany jest z pomiaru transmisji cylindrycznie ograniczonej wiązki promieniowania i równania wykładniczego, analogicznego do prawa absorpcji. Wykorzystanie takiego sposobu pomiaru całkowitego współczynnika osłabienia pociąga za sobą konieczność stosowania skolimowanych wiązek laserowych pozwalających na minimalizację błędu pomiaru [1].

W ochronie środowiska prosta konstrukcja urządzenia jest podstawowym czynnikiem decydującym o jej zastosowaniu. Stąd też w prezentowanym turbidymetrze przepływowym skonstruowano głowicę umożliwiającą pomiar całkowitego współczynnika osłabienia według sposobu przedstawionego w literaturze [5]. W sposobie tym całkowity współczynnik osłabienia obarczony jest błędem wynikającym z faktu rejestrowania przez fotodiode strumienia promieniowania rozproszonego pod małym kątem. Ilość energii docierającej do detektora na skutek rozproszenia jest zależna od geometrii układu optycznego, drogi optycznej oraz indykatrysy [1]. Do ilościowego określenia tych zjawisk posłużono się schematem rozchodzenia się promieniowania w ośrodkach rozpraszających (rys. 2.)



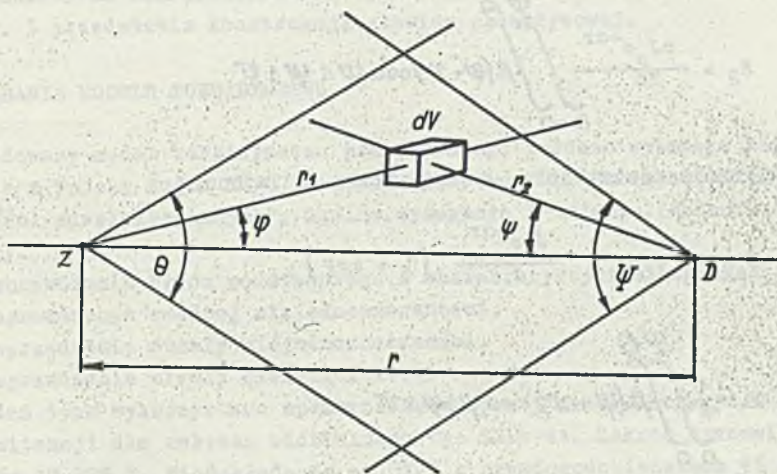
Rys. 1. Schemat funkcjonalny turbidymetru przepływowego:

1 - źródło promieniowania, 2 - źródło prądowe, 3 - kompensator wpływu temperatury, 4 - czujnik temperatury, 5 - badane medium, 6 - soczewka, 7 - przesłona, 8 - fotodioda, 9 - wzmacniacz wstępny, 10 - termostat, 11 - detektor, 12 - wzmacniacz dopasowujący, 13 - przetwornik napięcie-prąd, 14 - miernik wyjściowy

Tabela I.

Mierzone wielkości.

Wielkość	Oznaczenie	Jednostka	Definicja	Zależności
Współczynnik transmisji /transmittance/	T	-	Stosunek przechodzącego strumienia promieniowania do padającego strumienia	$T = \frac{F_T}{F_0}$
Współczynnik osłabienia /attenuance/	T	-	Stosunek strumienia promieniowania traconego z wiązki o nieskończenie małej średnicy na skutek zjawiska absorpcji i rozproszenia do padającego strumienia.	$C = \frac{F_c}{F_0}$ $1 - C = T$
Całkowity współczynnik osłabienia /total attenuation coefficient/	c	m ⁻¹	Współczynnik osłabienia nieskończenie cienkiej warstwy ośrodka dla prostopadle padającej na nią wiązki odniesiony do grubości Δr tej warstwy.	$c = \frac{\Delta C}{\Delta r}$ $c = a + b$ $cr = -\ln 1 - C = -\ln T$ a - współczynnik absorpcji, b - współczynnik rozproszenia.
Optyczna droga /optical length/	τ	-	Geometryczna długość drogi pomnożona przez całkowity współczynnik osłabienia wzdłuż tej drogi.	$\tau = c r$



Rys. 2. Schemat rozchodzenia się promieniowania w głowicy przepływowej

Natężenie oświetlenia w punkcie D jest sumą natężenia oświetlenia E_1 wywołanego osłabieniem promieniowania zgodnie z prawem analogicznym do prawa absorpcji, oraz natężenia oświetlenia E_2 wywołanego zjawiskiem jednokrotnego rozproszenia promieniowania przez medium:

$$E_1 = \frac{J_0}{r^2} e^{-cr} \quad /1/$$

gdzie J_0 - natężenie źródła światła, c - całkowity współczynnik osłabienia, r - odległość pomiędzy źródłem promieniowania a detektorem,

$$E_2 = \frac{cJ_0}{4\pi} \int_V \frac{1}{r_1^2 r_2^2} e^{-c(r_1+r_2)} \beta(\psi) \cos \psi dV \quad /2/$$

gdzie $\beta(\psi)$ - indykatorysa, r_1 i r_2 odległości elementarnej objętości dV rozproszenia od źródła światła i detektora

$$dV = 2\pi r_2^2 \sin \psi d\psi dr_2 \quad /3/$$

Zamieniając zmienne ψ i r_2 w wyrażeniu /1/ drugą parą zmiennych ψ i ν otrzymujemy:

$$E_2 = \frac{cJ_0}{2r} \int_0^\theta \int_0^\nu e^{-c\nu} \frac{\sin \psi + \sin \nu}{\sin(\psi+\nu)} \beta(\psi+\nu) \cos \psi d\psi d\nu \quad /4/$$

Dla małych wartości kąta widzenia detektora Ψ otrzymujemy:

$$E_2 = \frac{cJ_0 e^{-cr}}{2r} \int_0^{\Psi} \int_0^{\Theta} \beta(\psi + \nu) \cos \psi \, d\psi \, d\nu \quad /5/$$

Stąd natężenie oświetlenia E w punkcie D wynosi:

$$E = E_1 + E_2 = \frac{J_0 e^{-cr}}{r} (1 + crP) \quad /6/$$

gdzie

$$P = \frac{1}{2} \int_0^{\Psi} \int_0^{\Theta} \beta(\psi + \nu) \cos \psi \, d\psi \, d\nu \quad /7/$$

Jak stąd wynika, wielkość P zależy od kształtu indyktrisy jak również od kąta Ψ i Θ . Kształt indyktrisy zależy od parametru $\rho = \frac{2\pi a}{\lambda}$ /parametr Mie/ gdzie a - promień cząstek fazy rozproszonej, λ - długość fali światła. Przeprowadzone rozważania teoretyczne umożliwiają ocenę błędu pomiaru całkowitego współczynnika osłabienia dla roztworów rozpraszających.

Przeprowadzone obliczenia wielkości P przedstawione w literaturze [6] dla różnych wartości ρ , Θ , Ψ umożliwiają dokonanie liczbowej oceny wpływu jednokrotnego rozproszenia w badanym medium, a tym samym wyznaczenie błędu metody pomiaru całkowitego współczynnika osłabienia dla ośrodków rozpraszających.

4. KONSTRUKCJA GŁOWICY PRZEPLYWOWEJ

Głowica przepływowa składa się z korpusu w kształcie prostopadkościana z wydrążoną wewnątrz walcową komorą zaopatrzoną w przepływowy kanał, którym przepływa badane medium. W drugim kanale umieszczone są tuleje mocowane do korpusu za pomocą śrub i uszczelnione gumowymi pierścieniami. W jednej tulei znajduje się źródło promieniowania w postaci diody elektroluminescencyjnej. W drugiej znajduje się detektor promieniowania. Osie symetrii kanałów są do siebie prostopadłe i przecinają się. Otwór walcowatej komory usytuowany od dołu korpusu zamknięty jest krążkiem uszczelnionym z korpusem za pomocą uszczelki i dociskającego nagwintowanego pierścienia. W głowicy przepływowej bezpośredni kontakt z przepływającym roztworem ma wypukła część soczewki oraz źródło promieniowania. Wypukła część soczewki pokryta jest cienką warstwą przezroczystego tworzywa o właściwościach optycznych zbliżonych do badanego roztworu. W tak skonstruowanej głowicy następuje obmywanie źródła promieniowania i soczew-

ki przez strumień przepływającego roztworu, co zapobiega występowaniu zanieczyszczeń na ich powierzchni.

Rys. 3 przedstawia konstrukcję głowicy przepływowej.

5. BADANIA MODELU TURBIDYMETRU

Zbudowany model turbidymetru przepływowego poddano wybranym badaniom zgodnie z Polską Normą PN-77/M-42057 "Przetworniki pomiarowe analogowe wielkości nieselektrycznych", Ogólne wymagania i badania. Badania te obejmowały:

- sprawdzenie błędu podstawowego i charakterystyki statycznej,
- sprawdzenie rzędnej niejednoznaczności,
- sprawdzenie strefy niejednoznaczności,
- sprawdzenie strefy nieczułości.

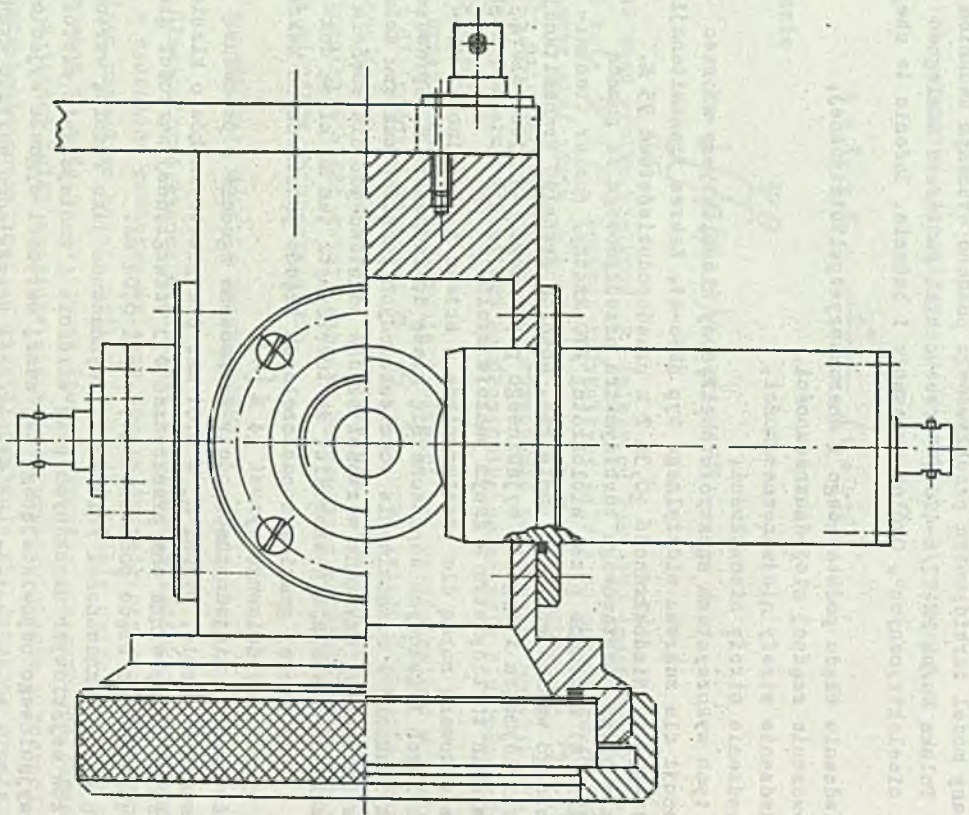
Do badań tych wykorzystano spektrofotometryczny nieselektywny wzorzec transmitancji dla zakresu widzialnego typ SNWc-41. Zakres transmitancji wzorców 10-92% T. Niedokładność $\pm 0,3\%$ T z prawdopodobieństwem 95 %. Sprawdzenie błędu podstawowego turbidymetru przepływowego za pomocą wzorców SNWc 41 wykonano przez wielokrotny /10-krotny/ pomiar transmitancji każdego wzorca względem powietrza. Różnica średniej transmitancji wskazań turbidymetru i sygnału wyjściowego poprawnego [4] jest miarą błędów wskazań turbidymetru w danym punkcie skali.

Zgodnie z cytowaną normą dla przetworników - składu i właściwości mieszanin ciekłych i gazowych dopuszcza się klasę dokładności 4. Sprawdzenia należy dokonać w równomiernie rozmieszczonych punktach zakresu zmian sygnału wyjściowego. Uzyskane wartości błędów podstawowych dla sześciu punktów zakresu pozwalają stwierdzić, że turbidymetr ten ma klasę dokładności 4, dla której granica dopuszczalnych błędów podstawowych zakresu zmian sygnału wyjściowego wynosi $\pm 4\%$ [4].

Wartość rzędnej niejednoznaczności, wyznaczona zgodnie z procedurą przedstawioną w normie, wynosi $R_n = 0,01$ mA. Dla przetworników o klasie dokładności 4 nie powinna ona przekraczać 0,5 bezwzględnej wartości granicy dopuszczalnego błędu podstawowego, czyli 0,04 mA.

Strefę niejednoznaczności /histerezy/ wyznaczono jako różnicę wartości sygnałów wejściowych uzyskanych przy wzroście i zmniejszaniu wartości sygnału wyjściowego odpowiadającego tej samej wartości sygnału wyjściowego. Wartość jej nie powinna być większa niż bezwzględna wartość granicy dopuszczalnego błędu podstawowego. Wyniki badań wykazały w najgorszym przypadku 1,4 % zmiany wartości sygnału wejściowego.

Strefa nieczułości nie powinna przekroczyć 0,25 bezwzględnej wartości granicy dopuszczalnego błędu podstawowego, czyli 1 %. Wyniki sprawdzenia strefy nieczułości w trzech punktach zakresu /10%, 50%, 90%/ uznano za dodatnie, ponieważ następowały zauważalne zmiany sygnału wyjściowego w kierunku zgodnym z kierunkiem zmian sygnału wejściowego.



Rys. 3. Głowica przepływowa

W przeprowadzonych wstępnych badaniach zmianę sygnału wejściowego uzyskiwano przez zmianę prądu źródła prądowego zasilającego diodę elektroluminescencyjną.

6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony model turbidymetru przepływowego opracowano z myślą o zastosowaniu go w pomiarach optycznych właściwości wód w ochronie środowiska, a także innych właściwości wód naturalnych wykorzystując fakt, że wielkością mierzoną jest tutaj całkowity współczynnik osłabienia. Przeprowadzone wstępne badania miały na celu sprawdzenie słuszności opracowanego sposobu pomiaru, według którego pracuje turbidymetr przepływowy. Nie mogą one służyć do pełnej oceny właściwości metrologicznych urządzenia. Pełna ocena praktycznej przydatności turbidymetru przepływowego uwarunkowana jest weryfikacją doświadczalną w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Prace w tym kierunku obecnie wykonywane są w Instytucie Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej w ramach Programu Rządowego PR-7.

LITERATURA

- [1] Mroccka J., Błąd metody pomiaru całkowitego współczynnika osłabienia roztworów rozpraszających. XVII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów, Poznań 1984, Materiały konferencyjne Tom I, ss. 213-219.
- [2] Mroccka J., Głowica przepływowa do pomiaru optycznych właściwości roztworów. Zgłoszenie patentowe P-247358.
- [3] Mroccka J., Metrological Aspects of Turbidity Measurement in Water Monitoring System. IMEKO 9th WORLD CONGRESS 24-28 May 1982 Berlin West Vol V/V pp 219-228.
- [4] Mroccka J., Moron Z., Model turbidymetru przepływowego do pomiaru optycznych właściwości środowiska wodnego. Etap II Raport serii SPR nr 115 Instytut Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1984.
- [5] Mroccka J., Sposób i układ do pomiaru całkowitego współczynnika osłabienia roztworów rozpraszających. Zgłoszenie patentowe P-247598.
- [6] Mroccka J., Urządzenie do pomiaru optycznych właściwości wody Etap I. Raport serii SPR nr 92 Instytut Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1983.
- [7] Mroccka J., Wybrane zagadnienia pomiaru mętności wody. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Automatyka z. 69, 1983, ss. 139-149.

FLOWABLE TURBIDIMETER

Summary

The model of the flowable turbidimeter for the measurement of optical properties of water is presented in the paper. The physical fundamentals of the total attenuation coefficient measurement and the mathematical model of the flowable head are given.

ПРОТОЧНЫЙ ТУРБИДИМЕТР

Резюме

В работе представлена модель проточного турбидиметра для измерения оптических свойств водной среды. Даны физические основы измерения полного коэффициента ослабления а также приведена математическая модель проточной измерительной головки.