

Pomiar mętności—mętnościomierz fotoelektryczny

Pojęcie mętności cieczy wiąże się z optycznymi właściwościami drobnych zawiesin, które powodują rozproszenie światła [Hermanowicz 1976]. Mętność wody w środowisku naturalnym (cieki, zbiorniki) jest powodowana przede wszystkim cząstkami substancji ilastej. Wzrost mętności może być również powodowany wytrącającymi się związkami żelaza, manganu i glinu, rozdrobnionymi substancjami organicznymi, kwasami humusowymi, planktonem i wyższymi mikroorganizmami.

Pod względem fizycznym zawiesiny można podzielić na łatwo i trudno opadające, jak również na tzw. mineralne, składające się głównie ze związków nieorganicznych, i zawiesiny lotne, w skład których wchodzi przeważnie zawiesiny organiczne. Zawiesiny łatwo i trudno opadające zarówno nieorganiczne (mineralne) jak i lotne organiczne stanowią tzw. zawiesiny ogólne.

Znajomość transportu zawiesiny w rzekach ma duże znaczenie przy projektowaniu ujęć wodnych, zbiorników i stopni piętrzących [Brański 1966]. Zjawiska transportu materiału unoszonego (zawiesiny) nie można pomijać przy badaniach zanieczyszczenia rzek i projektach ochrony wód przed zanieczyszczeniem. Wszystkie zbiorniki zaporowe budowane na naturalnych ciekach wodnych są narażone na zamulanie materiałem

wyrodowanym z terenu zlewni. Tempo i charakter zamulenia zbiorników przebiega odmiennie w przypadkach poszczególnych zbiorników w zależności od charakteru zlewni i samego zbiornika oraz charakterystyki hydrologicznej cieków [Chomiak 1960, Chomiak 1963, Onoszko 1964, Wiśniewski 1967, Wiśniewski 1969].

Określenie ilości materiału osadzonego w zbiorniku uwidacznia straty objętości zbiornika (rocznie 1-2%) a zatem straty, jakie ponosi gospodarka wodna [Wiśniewski 1966]. O całkowitej ilości transportu materiału decyduje wielkość transportu unoszonego. Udział materiału wleczonego jest w całkowitym transporcie niewielki; według dotychczasowego rozoznania wynosi on zaledwie kilka procent [Mikulski 1961, Cyberski 1970]. Dlatego też główna uwaga w problemie badań transportu rumowiska zwrócona jest na pomiar materiału unoszonego.

METODY OZNACZANIA ZAWIESIN

Znane metody oznaczania zawiesin można podzielić na dwie grupy: bezpośrednie i pośrednie. Podział ten przedstawiono poniżej.

I. Metody b e z p o ś r e d n i e

1. wagowa

a/ sączkowa

b/ filtracyjna wysokociénieniowa

c/ suchej pozostałości

d/ suchej pozostałości z odwirowaniem

2. objętościowa

a/ leje Imhoffa

II. Metody pośrednie

1. krążka Secchiiego
2. optyczna /wizualna/
 - a/ porównanie z wzorcem
 - b/ Jacksona
 - c/ Baylisa
3. fotometryczna
 - a/ fotometr Pulfricha
4. fotoelektryczna
 - a/ nefelometryczna
 - b/ turbidymetryczna.

Metody bezpośrednie

Metoda sączkowa. Oznaczanie zawiesin ogólnych metodą sączkową polega na odsączeniu ich z określonej objętości pobranej próby wody, wysuszeniu w temperaturze 105°C i zważeniu [Hermanowicz 1976, PN - 72/C-04559]. Do sączenia mogą być stosowane twarde sączki bezpopiołowe lub filtry membranowe. Stosowanie tej metody przy oznaczeniu zawiesin jest bardzo czasochłonne, ale obecnie często stosowane w laboratoriach ze względu na prostotę wykonania i niski koszt użytych materiałów.

Metoda filtracyjna wysokociśnieniowa. Metoda filtracyjna na wysokociśnieniowa zastosowana przez Müllera /1976/ jest udoskonaleniem metody sączkowej. Pobraną próbę wody umieszcza się w cylindrze z nierdzewnej stali. W dolnej części cylindra znajduje się filtr o odpowiednio dobranych porach np. $0,45\mu$. Następnie na ciecz wywiera się ciśnienie /max. do 40 at./ . Przy dużych mętnościach np. $150-180\text{ mg/dm}^3$, 1 dm^3 wody może być przefiltrowany w ciągu 10 min. Przy jakościowych badaniach zawiesiny (rentgenograficznych) stosuje się filtry srebrne.

Metoda suchej pozostałości. Suchą pozostałością przyjęto nazywać pozostałość po odparowaniu wody, wysuszoną w temperaturze 105°C i przeliczoną na 1 dm^3 wody [Hermanowicz 1976, PN - 72/C - 04559]. Zależność między zawiesinami, substancjami rozpuszczonymi a suchą pozostałością przedstawia schemat na rysunku 1. Często przy badaniach wody oprócz oznaczania ilości zawiesin ogólnych (metodą sączkową) wykonuje się:

1. oznaczanie zawiesin nielotnych, mineralnych, pochodzenia nieorganicznego;
2. oznaczanie zawiesin lotnych, pochodzenia organicznego.

Metoda suchej pozostałości z odwirowaniem. Metoda suchej pozostałości z odwirowaniem polega na odwirowaniu zawiesiny z określonej objętości wody w specjalnym pojemniku, który umieszczony jest w wirówce [Denbusch 1964]. Pojemnik składa się z dwu części metalowych. Dolna część, która jest dokręcona do części górnej zawiera dopasowane do jej wnętrza naczynia szklane o pojemności $2,5\text{ cm}^3$. Naczynie szklane przed rozpoczęciem analizy musi być dokładnie zważone. Po odwirowaniu 100 cm^3 badanej próby, osad zebrany w naczyniu szklanym suszy się do stałej wagi w temperaturze 105°C dla oznaczenia ogólnej ilości substancji stałych. Metodę tę sprawdzono w Polsce w 1973 r. [Wójcik-Sajdak 1973] oraz dostosowano budowę pojemników do wirówek produkcji krajowej.

Metoda lejów Imhoffa. Metodę oznaczania zawiesin za pomocą lejów Imhoffa zaliczamy do tzw. metody objętościowej oznaczania zawiesin, ponieważ ilość zawiesiny podajemy w jednostkach objętości [Hermanowicz 1976]. Metodę tę stosujemy w przypadku zawiesin łatwo opadających, [PN-72/C-04559]. Stożkowy lej Imhoffa o pojemności 1 dm^3 jest w dolnej zwężającej się części wycechowany w cm^3 . Po nalaniu próby mierzy się czas rozpoczęcia obserwacji. Następnie odczytuje się

objętość osadu w leju po określonym czasie. Wynik podaje się w cm^3 osadu na 1 dm^3 pobranej próby. Metoda ta posiada duże znaczenie, zwłaszcza przy projektowaniu osadników w oczyszczalniach.

Metody pośrednie

Metody pośrednie polegają na pomiarze wielkości fizycznych, których wartość zależy od ilości zawiesiny. W większości stosowanych metod tą wielkością fizyczną jest mętność oznaczająca optyczne właściwości drobnych zawiesin w próbce wody, które powodują rozpraszanie światła. Absorpcja światła przy przejściu przez ciecz zależy od stężenia roztworu, jak również od grubości warstwy. Zależność tę wyraża prawo Lamberta-Beera:

$$\varphi = \varphi_0 e^{-a\tau l}$$

gdzie: φ_0 - strumień światła padający na roztwór

φ - strumień światła przechodzący przez roztwór

τ - mętność

a - współczynnik niezależny od grubości i stężenia

l - grubość warstwy roztworu.

Mierząc stosunek $\frac{\varphi}{\varphi_0}$ dla roztworu SiO_2 /krzemionki/ o znanym stężeniu τ /dla wzorca mętności/ i grubości l można obliczyć z powyższego wzoru współczynnik a . Dokonując pomiaru $\frac{\varphi}{\varphi_0}$ dla roztworu badanego z równania /1/ wylicza się mętność τ .

Metoda krążka Secchiego. Najstarszym urządzeniem do pomiaru mętności jest tzw. krążek Secchiego [Rutchninson 1957]. Po raz pierwszy użył go Włoch, A. Secchi w 1865 r. Jest to biały krążek o średnicy 20 cm, który spuszcza się z powierzchni wody na głębokość, na której staje się niewidoczny. Następnie z tablic odczytujemy wartość zawiesiny. Krążek Secchiego jest nadal często używany np. na Stacji Uzdatniania Wody - Rudawa w Krakowie. Stosowanie tej metody dopuszcza PN-71/C 4583.

Metoda porównania z wzorcem. Metoda porównania z wzorcem jest bardzo subiektywna i daje przybliżony wynik pomiaru. Polega ona na porównaniu z szeregiem cylindrów, które zawierają odpowiednio rozcieńczony wzorzec mętności skali krzemowej [PN-71/C-04583]. Badana próba musi się znajdować w takim samym cylindrze. Niedogodnością tej metody jest fakt, że trwałość rozcieńczonych wzorców wynosi od 2 do 3 dni.

Metoda Jacksona. Zasada pomiaru polega na odmierzeniu do wykalibrowanego cylindra w kształcie walca taką ilość pobranej próby wody, przy której znika widoczność płomienia standardowej świecy, patrząc od góry przez słup cieczy. Cylinder znajduje się w metalowej czarnej osłonie. Z wykresu przedstawiającego zależność wysokości słupa cieczy w cylindrze od zawartości zawiesiny odczytujemy wynik, który podajemy w mg/dm^3 wg skali krzemowej.

Metoda Baylisa. Urządzenie do pomiaru mętności składa się z czarnej skrzynki, w której znajdują się dwa długie cylindry umieszczone pionowo. Cylindry od góry nieznacznie wystają za obudowę. Na dole opierają się o półkę z białego matowego szkła. Cylindry są oświetlone wiązką promieni wysłanych przez żarówkę, na drodze których umieszczono niebieskie szkło kobaltowe. Do jednego cylindra daje się badaną próbę wody, a drugi zawiera wzorzec mętności, który należy tak dobrać, aby światło obserwowane w dół przez oba cylindry dawało takie samo błękitne tło [PN-71/C-04583 ark.2, Hermanowicz 1976].

Metoda fotometryczna. Metoda fotometryczna polega na mierzeniu absorpcji badanej próby na fotometrze wyposażonym w filtr niebiesko-fioletowy o max. przepuszczalności przy długości fali $\lambda = 420 \text{ nm}$. Krzywe wzorcowe należy wykreślić podając na osi rzędnych wartość absorpcji, a na osi odciętych odpowiadające im mętności w mg/dm^3 wg skali krze-

mowej, [PN-71/C-04583, Hermanowicz 1976] .Barwa badanej próby w tej metodzie nie powinna przekroczyć 30° wg skali platynowo -kobaltowej [PN-74/C-04558] .Urządzeniem, które można stosować do tej metody jest np. fotometr Pulfricha [Zawadzki 1964].

Metoda fotoelektryczna. Fotoelektryczny pomiar mętności jest dalszym udoskonaleniem metody fotometrycznej przez zastosowanie fotoelementów w rejestracji wiązki światła. Metodę tę w chwili obecnej można uważać za najdoskonalszą ze względu na:

- dokładność pomiaru,
- możliwość szerokiego zastosowania np. stacje uzdatniania, oczyszczalnie, instytuty naukowe, punkty kontroli na stacjach IMGW,
- eliminowanie subiektywności w odczycie pomiaru,
- miniaturyzację elementów elektronicznych, co daje możliwość konstruowania przenośnych urządzeń z możliwością stosowania ich w terenie.

Przy fotoelektrycznych pomiarach mętności rozróżniamy dwie metody:

- metoda nefelometryczna,
- metoda turbidymetryczna.

Metoda nefelometryczna. W metodzie nefelometrycznej światło ulega rozproszeniu na zawieszinie w badanej próbce, natomiast fotoelementem mierzymy natężenie światła rozproszonego w kierunku prostopadłym do pierwotnego kierunku [Tarasow 1968, Hach ... 1973, Dohnalik 1975, Wniosek Pat. 1977, Merlab...].

Metoda turbidymetryczna. W metodzie turbidymetrycznej mierzy się strumień światła, który przeszedł przez zawieszinę. Mierząc sygnał z fotoelementu wyznacza się w jakim stopniu zawiesina osłabia padające światło, dzięki czemu z równania /1/ można obliczyć mętność. W metodzie fotoelektrycz-

nej można wyróżnić kilka przyczyn zakłócających pomiar [Kamler 1966, Dohnalik 1975, Wójcik-Sajdak 1976] :

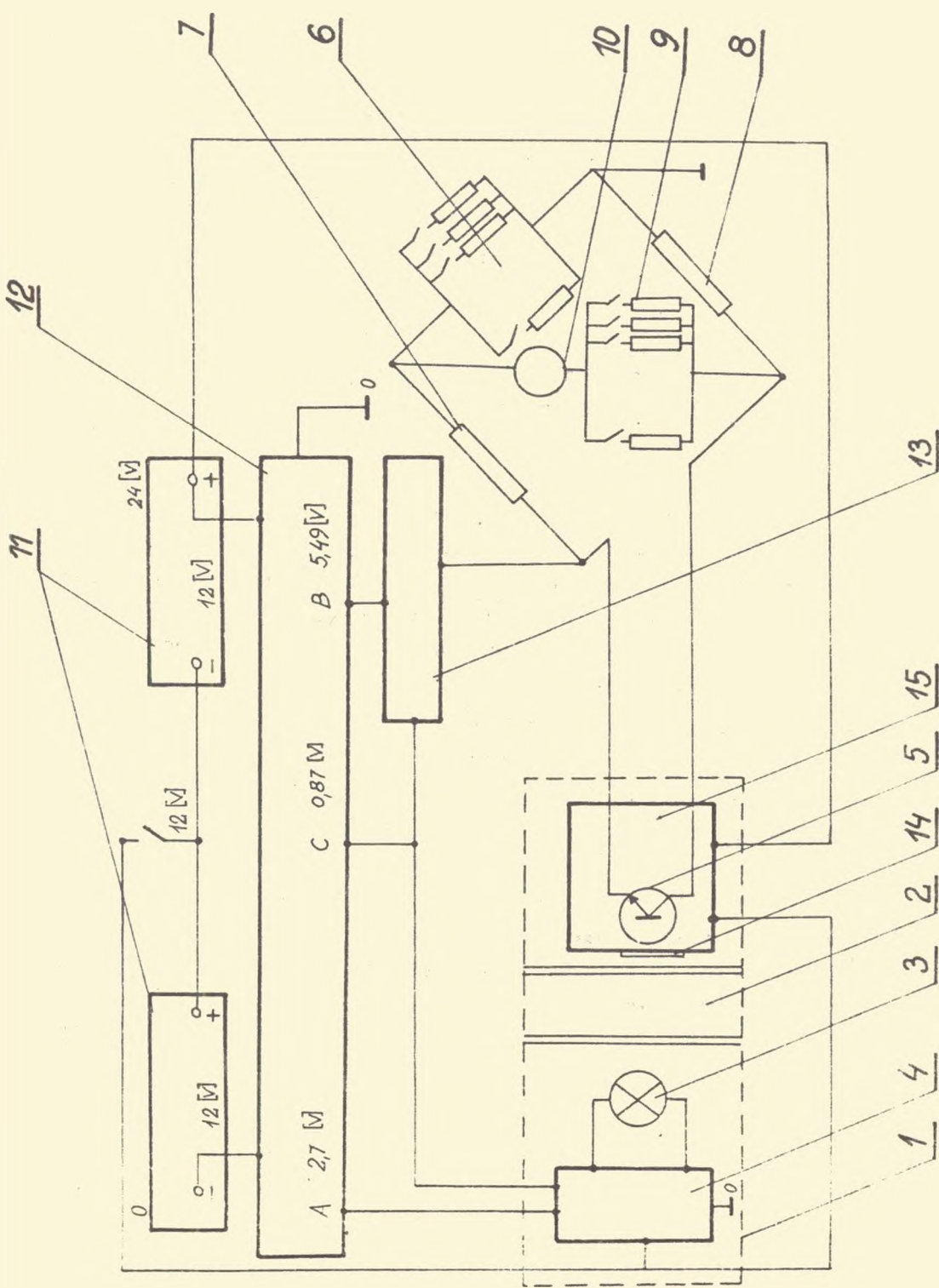
- niestałość strumienia światła padającego na próbę, spowodowana niedokładną stabilizacją napięcia zasilającego żarówkę.
- starzenie się włókna żarówki,
- wpływ temperatury na czułość fotoelementów.

ZASADA DZIAŁANIA WYKONANEGO MĘTNOŚCIOMIERZA FOTOELEKTRYCZNEGO

Przystępując do projektowania mętnościomierza fotoelektrycznego zwrócono uwagę na następujące źródła błędów, występujące przy pomiarach fotoelektrycznych:

- zmienność strumienia wysyłanego przez żarówkę w zależności od wahan napięcia zasilającego,
- osłabienie strumienia w wyniku starzenia się żarówki,
- zanieczyszczenie szkiełek na drodze strumienia świetlnego,
- zmniejszenie się czułości fotoelementów w wyniku ich starzenia się,
- zależność czułości fotoelementów od zmian temperatury.

Zasada działania wykonanego w Zakładzie Fizyki WSP prototypu mętnościomierza fotoelektrycznego przedstawiono na rys.1. Mętnościomierz fotoelektryczny składa się z sondy 1 oraz układu pomiarowego. Sonda w kształcie walca, hermetycznie zamkniętego, zawiera przezroczysty przewód szklany 2, przez który przepływa badana ciecz. Z jednej strony szklanej rury jest umieszczone źródło światła - żarówka 3, zasilane ze stabilizatora 4. Z drugiej strony przewodu naprzeciw źródła światła jest umieszczony fototranzystor 5, tworzący jedno z ramion mostka Wheatstone'a. Przeciwnie re-



mię stanowi dekada rezystorów 6. Pomiar niezrównoważenia mostka Wheatstone'a prowadzono bądź metodą prądową /w przekątną mostka włączono mikroamperomierz 10 i dekadę rezystorową 9/ w terenowych warunkach lub metodą napięciową - miliwoltomierzem cyfrowym - w warunkach laboratoryjnych.

W praktyce zmiana rezystancji fotorezystora 5 pod wpływem zmian natężenia strumienia świetlnego wywołanego zmianą mętności cieczy o pewną wartość prowadzi do wychylenia wskazówki mikroamperomierza o wartość I zgodnie ze wzorem:

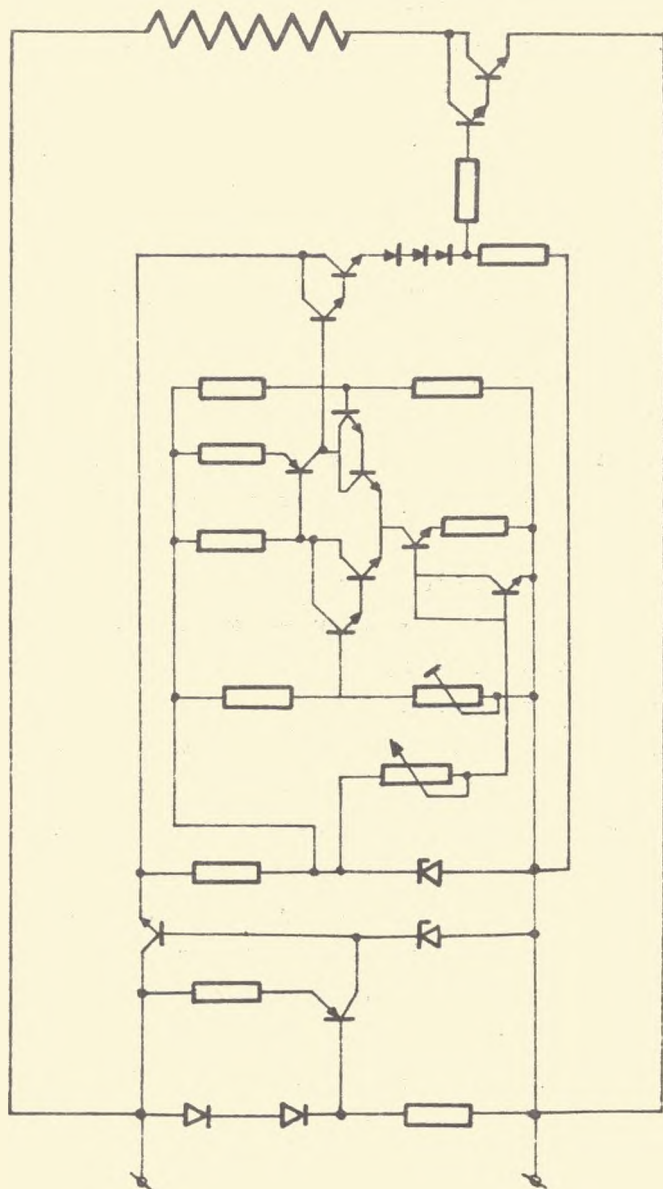
$$I = U_s \cdot R_{10} \frac{\frac{R_7}{R_7 + R_6} - \frac{R_5 + R_5}{R_5 + R_5 + R_8}}{\frac{R_8 \cdot (R_5 + R_5)}{R_8 + R_5 + R_5} + \frac{R_6 \cdot R_7}{R_6 + R_7}}$$

U_s - napięcie stabilizatora fototranzystora 13 - indeksy przy rezystorach odpowiadają oznaczeniom na rys.1.

Celem zwiększenia dokładności pomiaru oraz linearyzacji skali miernika /powyższa zależność nie jest liniowa/ ustalono następujące zakresy pomiarowe:

0-50, 50 - 100, 100 - 200, 200 - 400, 400 - 600 mg/dm³ wg skali krzemowej /SiO₂/. Wzorce do cechowania mętnościomierza wykonano zgodnie z PN-71/C-04583.

Celem zmniejszenia wpływu temperatury na rezystancję przede wszystkim fotoelementu oraz pozostałych elementów układu pomiarowego, które umieszczone w jednej obudowie razem z sondą pracują w zmiennych warunkach temperaturowych od 4°C do ok.25°C, cały układ pomiarowy umieszczono w termostacie elektronicznym 15. Zasadę działania elektronicznego termoregulatora, w którym jako czujnika temperatury użyto termistora, pokazano na rys.2.



Rys. 2. SCHEMAT IDEOWY TERMOSTATU

W naczyniu termostatu wykonanego z metalu i otoczonego izolacją cieplną umieszczono grzejnik, termistor oraz człon wykonawczy i sterujący termoregulatora. Proponowane rozwiązanie jest przykładem termoregulatora o ciągłej regulacji mocy grzejnej, tzn. w okresie nagrzewania termostatu grzejnik jest zasilany mocą maksymalną, a po dogrzaniu przy zbliżaniu się do stanu ustalonego moc grzejna maleje stopniowo w sposób ciągły, aż do momentu osiągnięcia ustalonego stanu. Temperaturę termostatu ustalono na kilka stopni powyżej średniej temperatury otoczenia, co zapewnia mały pobór mocy ze źródła.

Opisany mętnościomierz fotoelektryczny posiada kilka istotnych zalet:

- posiada kilka podzakresów, dzięki czemu wzrasta dokładność pomiaru. Nieliniowość poszczególnych podzakresów jest mniejsza od 2%;
- praca źródła światła - żarówki, przy obniżonym napięciu zasilającym oraz możliwość regulacji prądu zasilającego umożliwia eliminację wpływu zmienności strumienia świetlnego na wynik pomiaru mętności;
- umieszczenie fotoelementu w czułym termostacie elektronicznym zapewniającym stabilizację temperatury z dokładnością $0,2^{\circ}\text{C}$ wpływa na stabilizację parametrów fotoelementu w czasie;
- zaproponowana konstrukcja sondy zapewnia łatwość czyszczenia szybek na drodze strumienia świetlnego. Sonda jest wodoszczelna, co chroni elementy elektroniczne znajdujące się wewnątrz od zawilgocenia;
- sonda umożliwia pracę, praktycznie do głębokości 20 m.
- całkowity pobór mocy ze źródła - akumulator 12 V jest niewielki i wynosi ok. 2 W, co ma istotne znaczenie przy pracy w terenie;
- całkowity ciężar prototypowego mętnościomierza foto-

elektrycznego wynosi ok.3 kg /bez akumulatora/;

- czas przygotowania mętnościomierza do pracy wynosi ok.3 min.

BIBLIOGRAFIA

1. B r a ń s k i J., Pomiar transportu rumowiska unoszonego jako ważnego elementu przy projektowaniu budowli wodnych. "Gospodarka wodna", 1966, nr 10, s.375-377.
2. C y b e r s k i J., Badania akumulacji rumowiska w zbiornikach retencyjnych w Polsce. "Gospodarka Wodna" 1970, nr 2.
3. C h o m i a k T., Badania PIHM nad załadowaniem zbiornika Czchowskiego. "Gospodarka Wodna" 1960, nr 12. Biuletyn PIHM, nr 12, s.533.
4. C h o m i a k T., M i k u l s k i Z., Akumulacja rumowiska rzecznego w zbiorniku pilichowickim. "Gospodarka Wodna" 1963, nr 12.
5. D e r n b u s c h W., Mengentmessige Bestimmung von Schwebstoffen mit einer Zentrifuge. "Wasserwirtschaft-Wassertechnik", 1964, nr 4.
6. D a h n a l i k K., D a h n a l i k P., R a d z i s z o w s k a I., Ocena przydatności produkowanej wybranej aparatury pomiarowej i przystosowanie jej do warunków pracy w zakładach wodociągowych i oczyszczalniach ścieków. Instytut Kształtowania Środowiska - Oddział Kraków 1975.
7. G o r d o n M. B a r r o w , Chemia fizyczna. Warszawa 1971 PWN.
8. H e r m a n o w i c z W., D o ż a ń s k a W., D o j l i d o J., K o z i a r o w s k i B., Fizyczno-chemiczne badania wody i ścieków. Warszawa 1976, Arkady.

9. H u t c h i n s o n G.E., A treatise in limnology. Geography, Physics and Chemistry, 1957, Vol. I, New York, 1015 pp, s.399.
10. K a m l e r J., M a n k A., Odbiorniki fotoelektryczne i ich zastosowanie. Warszawa 1966, WNT.
11. D i k u l s k i Z., Transport zawiesiny mineralnej w rzekach polskich. "Gospodarka Wodna" 1961, nr 10, s.461-462.
12. M ü l l e r J., K r e t z l e r W., H i r n e r A., Zur Methodik von Schwebstoffuntersuchungen an Flusswassern. GWf - Wasser /Abwasser 1976. T.117, nr 5, s.220-223.
13. O n o s z k o J., Zamulanie zbiornika rożnowskiego w 10-lecie jego eksploatacji. Prace IBW, PAN. Gdańsk 1964.
14. T a r a s o w K.I., Spektralnyje pribory. Leningrad 1950, Izdatelstwo "Maszynostrojenie", s.166-190.
15. W i ś n i e w s k i B., Badania odkładania się rumowiska w zbiornikach wodnych. Materiały Badawcze IGW, 1966, II, nr 1.
16. W i ś n i e w s k i B., Zamulanie zbiorników wodnych w Polsce oraz próba jego prognozy na podstawie intensywności denudacji. Archiwum Hydrotechniki 1969, T. XVI, z.4, s.481-504.
17. Wniosek Patentowy Nr zgł. P-196840: Urządzenie do oznaczania zawartości zawiesin ogólnych. 1977.
18. W ó j c i k - S a j d a k W., G e i s s l e r A., Przebadanie i ocena prototypowego mętnościomierza nefelometrycznego wykonanego przez OBR - Powogaz. Instytut Kształtowania Środowiska, Oddział Kraków 1976.
19. Hach Chemical Company 1973, Laboratory Turbidimeter Model 2100A.
20. Merlab Zentral Laboratorium für Messtechnische Farschung Nephelom II.

21. PN-71/C-04583- Woda i ścieki. Badania mętności i przezroczystości.
- Arkusz 01 postanowienia ogólne i zakres normy
 - " 02 oznaczanie mętności metodą nefelometryczną
 - " 03 oznaczanie mętności metodą fotometryczną
 - " 09 oznaczanie przezroczystości metodą Snellena
 - " 10 oznaczanie przezroczystości metodą płytki wzorcowej.
22. PN-72/C-04559 - Woda i ścieki. Badania zawartości zawiesin.
- Arkusz 01 Postanowienia ogólne i zakres normy
 - " 02 Oznaczanie zawiesin ogólnych, mineralnych i lotnych metodą wagową
 - " 03 Oznaczanie zawiesin łatwo opadających metodą objętościową.
23. PN-74/C-04558 - Woda i ścieki. Oznaczanie barwy /odnośnie barwy wg skali platynowo-kobaltowej/.
24. Z a w a d z k i A., H o f m o k l H., Laboratorium fizyczne. Warszawa 1964, PWN.

Janusz Chmura, Zygmunt Wróbel, Jan Lalek

METHODS OF TURBIDITY MEASUREMENT - A TURBIDIMETER

Methods of turbidity measurement are discussed and a prototype of a turbidimeter, its design and parameters are described.

Януш Хмура, Зигмунт Врубелъ, Ян Лялек

ИЗМЕРЕНИЕ МУТНОСТИ - ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИБОР

Оговорены методы измерения мутности воды, принцип действия фотоэлектрического прибора по измерению мутности. Даны главные конструкционные данные изготовленного опытного образца и его параметры