

Anita CHEŁMICKA, Lidia KIEDRYŃSKA

Katedra Budownictwa i Geodezji SGGW
Department of Civil Engineering and Geodesy WAU

Ocena związku między wybranymi jednostkami mętności **Estimation of relation between turbidity units**

Słowa kluczowe: mętność wody, jednostki mętności

Key words: turbidity of water, turbidity units

Wprowadzenie

Mętność jest jednym z podstawowych wskaźników oceny jakości wody. Uwarunkowana jest obecnością zawieszin o różnym stopniu dyspersji oraz koloidów pochodzenia organicznego i mineralnego (Hermanowicz i in. 1999, Uzdatanianie wody 2000), które pogarszają estetykę wody, co ma odzwierciedlenie w tzw. estetycznym wskaźniku jakości wody. Wskaźnik ten charakteryzuje wpływ organoleptycznych parametrów wody, takich jak: mętność, barwa, smak i zapach, na zmysły człowieka. Udział mętności w estetycznym wskaźniku jakości wody jest znaczny – wynosi 15% (Reczek i in. 2002). Dotyczy przypadków, w których mętność wywoływana mało szkodliwymi zanieczyszczeniami bardziej pogarsza estetykę wody do picia niż wpływa na zdrowie ludzi.

Mętność wody jest znacznie ważniejszym parametrem, niż się to dotychczas utrzymywało. Przepisy polskie, rozporządzeniem z dnia 04.05.1990 roku w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, dopuszczały mętność wody przeznaczonej do picia i na potrzeby gospodarcze na poziomie nieprzekraczalnym 5 mg/l. Przepisy obowiązujące we Wspólnocie Europejskiej oraz zalecenia WHO były bardziej rygorystyczne i ustaliły mętność na poziomie 1 NTU, w USA mętność wody nie powinna przekraczać wartości 0,5 NTU (NTU – Nephelometric Turbidity Unit, jednostka uważana w Polsce za równą mg/dm^3). Wraz z aspiracjami wejścia Polski do Unii Europejskiej nasze przepisy prawne zaczęto dostosowywać do norm europejskich. I tak rozporządzeniem z dnia 04.09.2000 roku w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, wskaźnik jakości wody, jakim jest mętność, ustalono na granicy nie więcej niż $1 \text{ mg/dm}^3 \text{ SiO}_2$, a rozporządzeniem z dnia 19.11.2002 roku utrzymano granicę 1, ale z jed-

nostką NTU 9Wytyczne WHO 1998, PN-79 C-04583/03, PN-EN ISO 7027).

Materiały i metody

Impulsem do podjęcia niniejszych badań była duża liczba dopuszczalnych jednostek mętności, przyjęte stwierdzenia o istniejących zależnościach czy wręcz utożsamianie ich ze sobą, oraz niewiele prób podjęcia wyjaśnienia tego problemu (Reczek i in. 2001, 2002).

Zakres pracy obejmował zbadanie zależności między następującymi jednostkami mętności:

- mg/dm^3 , SiO_2
- NTU – nefelometryczne jednostki mętności (Nephelometric Turbidity Units),
- FAU – formazynowe jednostki osłabienia (Formazin Attenuation Units) w zakresie od 0 do 25 mg/dm^3 .

Badania eksperymentalne polegały na zebraniu próbek wody o różnej mętności z zakresu od 0 do 25 $\text{mg SiO}_2/\text{dm}^3$ i wykonaniu pomiarów mętności każdej próbki w różnych jednostkach. Próbki wody o małej mętności pochodziły w większości przypadków z instalacji wodociągowej (domowe przybory czerpalne) oraz ujęcia wód podziemnych (źródła oligoceńskie). Źródło większych wartości stanowiły zasoby wód powierzchniowych: rzeki, jeziora, stawy, oraz wody pochodzące z płukania odżelaziaczy i odmanganiaczy. Pośrednie wartości mętności uzyskano przez rozcieńczenie wodą destylowaną próbek wód bardziej mętnych. W ten sposób uzyskano serię pomiarową 193 próbek o różnej mętności. Dla każdej próbki

wykonany został pomiar mętności w jednostkach NTU, FAU oraz $\text{mgSiO}_2/\text{dm}^3$ i mg/dm^3 na podstawie wzorca formazynowego.

Do wykonania pomiarów zostały wykorzystane dwa urządzenia: mętnościomierz laboratoryjny – model 2100N IS firmy HACH, oraz spektrofotometr – DR/4000 firmy HACH.

Do wyznaczenia funkcji aproksymacyjnej zastosowano metodę najmniejszych kwadratów (Dahlquist i Björk 1987), wyznaczając współczynnik determinacji R^2 , który może przyjmować wartości od 0 do 1. W pracy założono, że odpowiednie dopasowanie regresji do danych empirycznych zostanie uzyskane przy $R \geq 0,9$. Zatem wartości powyżej $R^2 = 0,81$ świadczą o dobrym dopasowaniu funkcji do wyników eksperymentalnych.

Zgodnie z dyrektywą Unii Europejskiej nr 98/83/EC, określono precyzję definiowaną przez błąd przypadkowy, wyrażający się jako odchylenie standardowe rozrzutu wyników względem średniej. Możliwa do przyjęcia precyzja stanowi dwukrotność odchylenia standardowego.

Narzędziem do obróbki statystycznej i poszukiwania zależności między wybranymi jednostkami mętności był program Microsoft Excel 2000 (9.0.2812) w pakiecie Microsoft Office 2000.

Wyniki i wnioski

W efekcie badań eksperymentalnych uzyskano serię pomiarową obejmującą 193 próbki wody. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Liniowe funkcje aproksymacyjne wzajemnych zależności badanych jednostek mętności
TABLE 1. Straight-line approximation of examine units of turbidity

Badane jednostki/Units	Postać funkcji/Function	R ²
NTU i FAU	FAU = 1,18 · NTU + 1,00	0,83
	NTU = 0,70 · FAU - 0,09	
NTU i mg (formazyny)/dm ³ λ = 860 nm	NTU = 1,38 · mg (formazyny)/dm ³ + 0,40	0,85
	mg (formazyny)/dm ³ = 0,62 · NTU + 0,08	
mg (formazyny)/dm ³ i NTU λ = 420 nm	mg (formazyny)/dm ³ = 0,35 · NTU + 1,95	0,49
	NTU = 1,38 · mg (formazyny)/dm ³ - 0,88	
NTU i mg SiO ₂ /dm ³	mg SiO ₂ /dm ³ = 1,24 · NTU + 6,33	0,48
	NTU = 0,39 · mg SiO ₂ /dm ³ - 0,61	
FAU i mg (formazyny)/dm ³ (λ = 860 nm)	mg (formazyny)/dm ³ = 0,49 · FAU - 0,27	0,91
	FAU = 1,86 · mg (formazyny)/dm ³ + 0,98	
FAU i mg (formazyny)/dm ³ (λ = 420 nm)	mg (formazyny)/dm ³ = 0,31 · FAU + 1,60	0,63
	FAU = 2,05 · mg (formazyny)/dm ³ - 1,36	
FAU i mg SiO ₂ /dm ³	mg SiO ₂ /dm ³ = 1,08 · FAU + 5,10	0,62
	FAU = 0,57 · mg SiO ₂ /dm ³ - 0,95	
mg (formazyny)/dm ³ (λ = 860 nm) i mg (formazyny)/dm ³ (λ = 420 nm)	mg/dm ³ (λ = 420 nm) = 0,56 · mg/dm ³ (λ = 860 nm) + 1,93	0,55
	mg/dm ³ (λ = 860 nm) = 0,98 · mg/dm ³ (λ = 420 nm) - 0,87	
mg (formazyny)/dm ³ (λ = 860 nm) i mg SiO ₂ /dm ³	mg SiO ₂ /dm ³ = 1,96 · mg (formazyny)/dm ³ + 6,26	0,54
	mg (formazyny)/dm ³ = 0,27 · mg SiO ₂ /dm ³ - 0,67	
mg (formazyny)/dm ³ = 0,27 * mg SiO ₂ /dm ³ - 0,67	mg SiO ₂ /dm ³ = 3,53 · mg (formazyny)/dm ³ - 0,57	0,99
	mg (formazyny)/dm ³ = 0,28 · mg SiO ₂ /dm ³ + 0,19	

Na podstawie wykonanych obliczeń stwierdzono, że taką wymaganą wartość uzyskały zależności między jednostkami:

- FAU i NTU (R² = 0,83),
- NTU i mg (formazyny λ = 860 nm)/dm³ (R² = 0,85),
- FAU i mg (formazyny λ = 860 nm)/dm³ (R² = 0,91),
- mg SiO₂ /dm³ i mg (formazyny λ = 420 nm)/dm³ (R² = 0,99).

Pozostałe zależności uzyskały znacznie mniejsze wartości współczynnika R²:

- NTU i mg (formazyny λ = 420 nm)/dm³ (R² = 0,49),
- mg SiO₂/dm³ i NTU (R² = 0,48),
- FAU i mg (formazyny λ = 420 nm)/dm³ (R² = 0,63),

- mg SiO₂ /dm³ i FAU (R² = 0,62),
- mg (formazyny λ = 420 nm)/dm³ i mg (formazyny λ = 860 nm)/dm³ (R² = 0,55),
- mg SiO₂ /dm³ i mg (formazyny λ = 860 nm)/dm³ (R² = 0,54).

Z powyższych danych wynika, że R² = 0,81 nie osiągnęły te zależności, których próbki były badane przy różnych długościach fal świetlnych. Pomiar przy λ = 860 nm pokazuje niższe natężenie rozproszonego promieniowania w porównaniu z pomiarem przy krótszych długościach fali (tu 420 nm) (Greenberg i in. 1992). Z tego względu jednostki mętności nie powinny być porównywane przy różnych wartościach λ.

Podjęto też próbę znalezienia innych nieliniowych typów wzorów

aproksymacyjnych. Efekty tego działania były niezadowalające. Mimo podniesienia wartości współczynnika R^2 , w niektórych przypadkach nawet prawie 0,19, to i tak założona wartość 0,81 nie została osiągnięta. Najbliższa wymaganej wartości była wartość $R^2 = 0,73$, wówczas jednostki FAU i $\text{mg SiO}_2/\text{dm}^3$ aproksymowała funkcja wielomianowa.

Zaniechano więc poszukiwań innego typu wzorów aproksymacyjnych w postaci funkcji wielomianowych i potęgowych ze względu na ich złożoną formę i co z tego wynika – problemu z późniejszym ich wykorzystaniem.

Dokładniej analizując funkcje liniowe zestawione w tabeli 1, zauważono, że w przypadku przeliczania niektórych jednostek uzyskuje się błędne wyniki, szczególnie przy bardzo małych mętnościach. Przykładowo funkcja aproksymacyjna zamieszczona w tabeli 1 pod numerem 14 przy jednostce $\text{mg SiO}_2/\text{dm}^3$ równej zero wykazuje ujemną wartość jednostki FAU. Podobnie ma się w przypadku wzoru pod pozycją 7, gdzie dla NTU równego zero jednostka $\text{mg SiO}_2/\text{dm}^3$ przyjmuje wartość 6,33. Wy tłumaczeniem tych niezbyt sensownych wskazań jest różna dokładność urządzeń pomiarowych, tj. mętnościomierza 2100N IS oraz Spectrofotometru DR/4000, jak również zastosowanej metodyki. Spektrofotometr podawał wyniki w formie cyfrowej z dokładnością do 1 FAU lub $0,01 \text{ mg}/\text{dm}^3$, natomiast mętnościomierz pokazywał wyniki również w formie cyfrowej, ale z dokładnością nawet do 0,001 NTU przy małych zakresach mętności. Wynika stąd, że dla mętności np. 0,4 FAU na wyświetlaczu można odczytać war-

tość 0 FAU, a dla 0,6 FAU – 1 FAU. Takie odczyty, przy dokładniejszym podaniu wyników pozostałych jednostek, mogły spowodować znaczne odchylenia.

W załącznikach do dyrektywy Unii Europejskiej nr 98/83/EC, dotyczącej jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, określono specyfikacje dotyczące analizy parametrów. W ich ramach podano parametry, dla których określono metodę analizy i charakterystykę dokładności metody analitycznej oraz parametry, dla których nie określono metody analizy. Oprócz barwy, zapachu, smaku, ogólnego węgla organicznego i innych, dla których to parametrów nie podano metody analizy, znalazła się też mętność. W odnośnikach sprecyzowano, jak należy interpretować pojęcia procentowej poprawności, precyzji oraz granicy wartości parametrycznych dla tych parametrów. Ze względu na to, że badania eksperymentalne obejmowały pojedynczą serię pomiarową, określono tu precyzję definiowaną przez błąd przypadkowy, wyrażający się jako odchylenie standardowe rozrzutu wyników względem średniej. Możliwa do przyjęcia precyzja stanowi dwukrotność odchylenia standardowego (Zięba 1999). Obliczono precyzję dla wszystkich punktów pomiarowych dla zależności, które uzyskały największą i najmniejszą wartość współczynnika R^2 , czyli dla jednostek $\text{mg SiO}_2/\text{dm}^3$ i $\text{mg (formazyny)}/\text{dm}^3$ oraz $\text{mg SiO}_2/\text{dm}^3$ i NTU. W obu przypadkach podane powyżej ograniczenie, dotyczące dopuszczalnej precyzji, zostało spełnione.

Dyskusja wyników i podsumowanie

Na podstawie wykonanych badań i uzyskanych wykresów oraz tabel stwierdzono, że nie zachodzi równość między poszczególnymi jednostkami mętności. Porównując wartości liczbowe mętności pojedynczej próbki, okazuje się, że największe liczby uzyskuje się w jednostkach $\text{mg SiO}_2/\text{dm}^3$, co potwierdza tezę wysnutą przez Reczek i inni (2001, 2002). Najmniejsze wartości uzyskano dla jednostek $\text{mg (formazyny)}/\text{dm}^3$ przy długości fali świetlnej $\lambda = 860 \text{ nm}$. Nie znalazły w tej pracy potwierdzenia często spotykane, potoczne sformułowania o równości jednostek NTU i FAU. Dla tych samych próbek, w przeważającej większości, mniejsze wartości osiągają jednostki NTU, podobnie jak w pracach Reczek i innych (2001, 2002). W dolnym zakresie mętności, tj. od 0 do 1 NTU średnia bezwzględna różnica między NTU a FAU wyniosła 0,77, a dla pozostałych 2,92.

Ustalenie odpowiednich funkcji aproksymacyjnych wzajemnych zależności badanych jednostek mętności jest sprawą wysokiej wagi dla Polski jako członka Unii Europejskiej. Nasze przepisy prawne, regulujące parametry jakościowe wody, szczególnie tej przeznaczonej do picia i na potrzeby gospodarcze, muszą być odpowiednio dostosowane do norm unijnych. Dotychczas ze względu na brak odpowiednich danych zakłada się, że stosowana w Polsce jednostka mg/dm^3 (zarówno w przypadku wzorców sporządzanych z zawiesiny krzemionki, jak i z formazyny) jest równoważna NTU. Z uzyskanych wyników na podstawie funkcji powiązują-

cych jednostki NTU i $\text{mg (formazyny)}/\text{dm}^3$ przy $\lambda = 860 \text{ nm}$ widać, że wartość 1 NTU w przeliczeniu na mg/dm^3 daje wartość około 0,7.

Z przeprowadzonych badań eksperymentalnych wynika, że nie należy porównywać jednostek mętności przy zastosowaniu różnych metod pomiarowych, tj. przy różnych wartościach długości fal świetlnych λ . Pomiar przy $\lambda = 860 \text{ nm}$ pokazuje niższe natężenie rozproszonego promieniowania w porównaniu z pomiarem przy krótszych długościach fali (Greengerg i in. 1992). Stosując funkcję aproksymującą typu liniowego, stwierdzono, że dla zależności o zbliżonych wartościach λ współczynnik determinacji R^2 osiągał wartości powyżej 0,81, co świadczy o dobrym dopasowaniu funkcji do wyników eksperymentalnych. Natomiast dla zależności, dla których stosowano różne długości fali świetlnej, współczynnik R^2 nie uzyskiwał wymaganego poziomu, nawet przy zastosowaniu innego typu funkcji aproksymującej.

Ewentualne błędy pomiarowe, przy bardzo precyzyjnym układzie elektronicznym, mogły być spowodowane różnym kształtem, wielkością i niejednorodnym stanem cząstek zawieszonych w wodzie, występowaniem barwy, nagłej zmiany warunków atmosferycznych, a także obecnością pęcherzyków powietrza, wytworzonych podczas mieszania próbek oraz szeregiem innych zakłóceń. Z tego i powyższych powodów badania tego typu powinny być kontynuowane, aby zgromadzić możliwie dużą liczbę analiz, dzięki którym uzyska się równania aproksymacyjne jak najlepiej odzwierciedlające zależności między poszczególnymi jednostkami.

Literatura

- DAHLQUIST G., BJÖRK Å. 1987: Metody numeryczne. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
- Dyrektywa Rady Unii Europejskiej 98/83/EC z dnia 3 listopada 1998 r., dotycząca jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi
- GREENGERG A., CLESCERI L.S., EATON A.D. 1992: Standard methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association Washington DC.20005.
- HERMANOWICZ W., DOJLIDO J., DOŻAŃSKA W. 1999: Fizykochemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa.
- PN-79 C-04583/03 Woda i ścieki. Badania mętności i przezroczystości. Oznaczenie mętności metodą fotometryczną. Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości., Wyd. Normalizacyjne „ALFA”1988.
- PN-EN ISO 7027 „Jakość wody – Oznaczenie mętności”, PKN, Warszawa
- RECZEK L., SKIBA I., SIWIEC T. 2001: Badanie związku między wybranymi jednostkami mętności. *Lab.* 6: 14–18.
- RECZEK L., SIWIEC T., SKIBA I. 2002: Ocena korelacji wzajemnej podstawowych jednostek mętności. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 6: 211–215.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 04.05.1990 r. w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, DzU nr 35, poz. 205.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 04.09.2000 r. w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, DzU nr 82, poz. 936 i 937.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19.11.2002 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, DzU nr 203, poz. 1718.
- Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne, 2002 (red.) J. Nawrocki, S. Biłozora Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Poznań.
- Wytyczne WHO dotyczące jakości wody do picia T. 1, Zalecenia, PZITS, Warszawa 1998
- ZIĘBA L. 1999: Wpływ nowej dyrektywy Unii Europejskiej w sprawie jakości wody do picia na działalność przedsiębiorstw wodociągowych w Polsce, *Ochrona Środowiska* 4 (75): 4.

Summary

Estimation of relation between turbidity units. Due to Poland became a member of The European Union our laws were supposed to be accommodate to the regulations of the EU. This paper verify the different units of turbidity are equal and try to find out any relations between most popular ones. This paper contains a check test of the following turbidity units: mg/dm^3 , NTU – Nephelometric Turbidity Units, FAU – Formazin Attenuation Units (range 0–25 mg/dm^3).

On the grounds of examinations it was found that the equal between that units does not exist. It was also discovered that value of 1 NTU unit respond to 0.7 mg/dm^3 ($\lambda = 860 \text{ nm}$).

It is not recommended using units of turbidity from different method of measurement (different length of the lights wave). Relations of this both units measured in similar length light wave is high enough to accept this function (Person's coefficient R^2 is bigger than 0.81).

Authors' address:

Anita Chełmicka, Lidia Kiedryńska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Budownictwa i Geodezji
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland