

Jan Pawełek

## Mętność wód rzek i potoków górskich w aspekcie ich oczyszczania do celów wodociągowych

Korzystanie z rzek i potoków górskich jako źródła wód do celów wodociągowych zmusza do stosowania technologii umożliwiających oczyszczanie wody w bardzo szerokim zakresie zmienności jej cech. Dotyczy to szczególnie mętności, która może przyjmować wartości od kilku do nawet kilku tysięcy  $\text{g/m}^3$ . Stwarza to potrzebę budowy i eksploatacji urządzeń, które w wielu przypadkach są wykorzystywane tylko przez kilka dni w roku. Przegląd mniejszych zakładów uzdatniania wody na terenie kilku województw Polski południowej, korzystających z wód rzek i potoków górskich wskazuje, iż technologia uzdatniania wody oparta jest głównie na koagulacji, sedymentacji, filtracji pospiesznej i chlorowaniu, co przy dzisiejszych wymaganiach i poziomie technologii należy uznać za nie w pełni zadowalające. Wiele z tych zakładów wymaga udoskonalenia stosowanej technologii dla uzyskania wody o dobrej jakości i wysokim stopniu stałości, niezależnie od jakości wody surowej [1–4]. Wymagania te są szczególnie trudne do spełnienia w okresach, kiedy jakość wody surowej ulega krótkotrwałemu ale bardzo znacznemu pogorszeniu [5]. Stosowanie wówczas koagulacji komplikuje proces uzdatniania i jest uzasadnione w zakładach o dobowej produkcji wody powyżej kilkuset metrów sześciennych [6].

Jednym z możliwych rozwiązań stosowanych w takich sytuacjach jest zabezpieczenie ujęcia za pomocą magazynowania wody, co pozwala na wyłączenie ujęcia i korzystanie w tych okresach z wody o lepszej jakości, zgromadzonej wcześniej w zbiorniku zapasowym [7–11]. Zbiorniki zapasowe dają w tych przypadkach większe możliwości stosowania filtrów powolnych [12, 13]. Filtry te mogą być wtedy podstawowym urządzeniem do oczyszczania wody, gwarantując wodę o lepszej jakości. Szczególnie w przypadku małych wodociągów korzystających z wód powierzchniowych powinno się stosować rozwiązania z filtrami powolnymi. Rozwiązania takie niestety mają miejsce sporadycznie, np. w miejscowościach Szczepańcowa k. Krosna, Raba Wyżna, częściowo Wysowa.

W niniejszej pracy dokonano analizy występowania w wybranych rzekach i potokach górskich wód o podwyższonej mętności oraz podano sugestie dotyczące technologii ich oczyszczania.

### Metodyka

Przedstawione w pracy zagadnienie opracowano na przykładzie charakterystyki mętności wody surowej ujmowanej na potrzeby kilku wodociągów. O ich wyborze zdecydowała loka-

lizacja w terenach górskich, wielkość powierzchni zlewni oraz wykonywanie przez laboratoria zakładowe oznaczeń mętności wody z częstotliwością conajmniej raz na dobę. Ostatecznie do analizy przyjęto osiem przypadków, dla których okres obserwacji mętności wody wynosił od 1.743 dób w Szaflarach dla Białego Dunajca do 4.881 dób dla Wisłoka w Iskrzyni. Przeprowadzone obliczenia polegały na ustaleniu liczby przypadków i czasu trwania mętności wody wyższych od założonych. Przyjęto następujące wartości graniczne:

- mętność  $5 \text{ g/m}^3$ , decydująca o konieczności klarowania wody bądź jej konsumpcji bez potrzeby stosowania tego zabiegu,
- mętność  $15 \text{ g/m}^3$ , umożliwiająca oczyszczanie wody na filtrach powolnych,
- mętność  $50 \text{ g/m}^3$ , umożliwiająca oczyszczanie wody na filtrach pospiesznych.

Przyjęte mętności graniczne 15 i  $50 \text{ g/m}^3$  odpowiadają dopuszczalnym mętnościom wody doprowadzanej do urządzeń oczyszczających przy ich normalnej eksploatacji. W ramach opracowywanego tematu podjęto próbę matematycznego opisu zależności liczby przypadków wystąpienia podwyższonych mętności od czasu ich trwania. Obliczenia przeprowadzono wykorzystując program Statgraphics.

### Analiza wyników

#### Występowanie podwyższonych mętności

Prawdopodobieństwo pojawienia się w ujęciu wody o mętności wyższej od granicznej przedstawiono w tabeli 1. Wynika z niej, że prawdopodobieństwo wystąpienia mętności wody większej od  $5 \text{ g/m}^3$  jest najmniejsze dla ujęcia w Czarnem (Wisła) – 13,1 %, ponad dwukrotnie wyższe dla Żywca (Koszarawa) – 27,5 %, a najwyższe dla zakładu w Strumieniu (Wisła) – 92,7 %. Dla pozostałych zakładów wodociągowych prawdopodobieństwo to kształtuje się w zakresie od 35,2 % do 75,4 %. Przedstawione prawdopodobieństwa dla mętności  $15 \text{ g/m}^3$  informują, na ile w przypadku zastosowania filtrów powolnych mogłyby one spełniać rolę zasadniczych urządzeń do oczyszczania wody i dla jakiego czasu pracy zakładu niezbędne są urządzenia mogące oczyszczać wodę o mętności wyższej od  $15 \text{ g/m}^3$ . W tym przypadku również najkorzystniejsza sytuacja jest w Czarnem, natomiast najbardziej niekorzystna w Suchoj Beskidzkiej. Ostatnia kolumna tabeli 1 informuje o prawdopodobieństwie konieczności korzystania z procesu koagulacji, zakładając jego stosowanie przy mętności wody powyżej  $50 \text{ g/m}^3$ .

Tabela 1. Empryczne prawdopodobieństwo wystąpienia podwyższonych mętności wody w wybranych zakładach wodociągowych

Rzeka (SUW)	Pow. zlewni do przekroju ujęcia km <sup>2</sup>	Okres obserwacji d	Mętność średnia g/m <sup>3</sup>	Prawdopodobieństwo wystąpienia mętności		
				> 5 g/m <sup>3</sup>	>15 g/m <sup>3</sup>	>50 g/m <sup>3</sup>
Wisła (Czarne)	30,0	3.682	4,13	13,15	2,00	0,24
Skawa (Jordanów)	80,0	2.579	15,44	27,49	9,81	2,09
Stryżawka (Sucha Beskidzka)	140,0	3.226	20,74	35,25	13,94	3,63
Biały Dunajec (Szafłary)	210,0	1.743	19,12	57,49	19,16	4,47
Koszarawa (Żywiec)	242,0	3.651	16,49	63,34	23,22	5,03
Ropa (Gorlice)	256,7	3.358	34,87	70,85	24,17	7,06
Wisła (Strumień)	441,2	2.237	15,01	75,42	24,48	7,22
Wisłok (Iskrzynia)	443,9	4.881	17,98	92,71	25,29	8,71

Tabela 2. Liczba zdarzeń (n) i czas trwania (t<sub>r</sub>, t<sub>max</sub>) mętności większych od granicznych

Rzeka (SUW)	Okres obserwacji d	> 5 g/m <sup>3</sup>			>15 g/m <sup>3</sup>			>50 g/m <sup>3</sup>		
		n	t <sub>r</sub>	t <sub>max</sub>	n	t <sub>r</sub>	t <sub>max</sub>	n	t <sub>r</sub>	t <sub>max</sub>
Wisła (Czarne)	3.682	68	7,12	53,7	11	7,62	13,0	4	2,25	4,0
Skawa (Jordanów)	2.579	150	6,06	42,0	124	3,98	21,0	73	2,49	11,0
Stryżawka (Sucha Beskidzka)	3.226	171	14,23	99,0	212	3,85	21,0	109	2,15	8,0
Biały Dunajec (Szafłary)	1.743	126	8,76	23,0	106	2,29	7,0	40	1,58	5,0
Koszarawa (Żywiec)	3.651	332	2,36	13,0	235	1,53	11,0	144	1,13	4,0
Ropa (Gorlice)	3.358	189	9,88	117,0	134	6,81	41,0	84	3,48	13,0
Wisła (Strumień)	2.237	171	12,11	309,0	340	1,50	51,0	73	0,64	5,0
Wisłok (Iskrzynia)	4.881	216	16,01	469,0	278	4,08	45,0	138	1,78	10,3

Tabela 3. Liczba zdarzeń (n<sub>r</sub>) i czas trwania (t<sub>r</sub>) mętności większych od granicznych w przeliczeniu na jeden rok

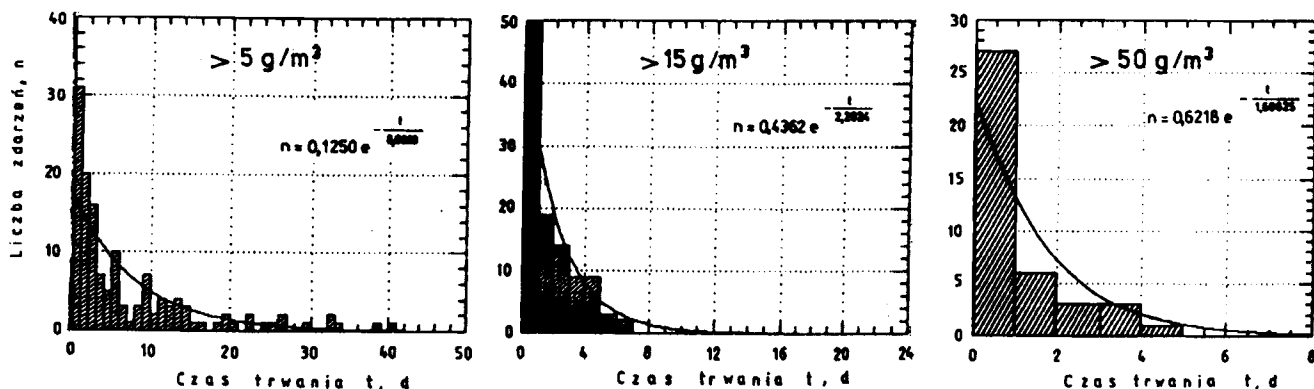
Rzeka (SUW)	>5g/m <sup>3</sup>		>15 g/m <sup>3</sup>		>50 g/m <sup>3</sup>	
	n <sub>r</sub>	t <sub>r</sub> ,d	n <sub>r</sub>	t <sub>r</sub> ,d	n <sub>r</sub>	t <sub>r</sub> ,d
Wisła (Czarne)	6,74	47,98	1,09	7,33	0,40	0,89
Skawa (Jordanów)	21,23	128,65	17,55	69,91	10,33	25,75
Stryżawka (Sucha Beskidzka)	19,35	275,28	23,99	92,32	12,33	26,47
Biały Dunajec (Szafłary)	26,38	231,19	22,20	50,89	8,38	13,19
Koszarawa (Żywiec)	33,19	78,38	23,49	35,89	14,40	16,29
Ropa (Gorlice)	20,54	203,04	14,56	99,13	9,13	37,74
Wisła (Strumień)	27,90	337,91	55,48	83,05	11,91	7,68
Wisłok (Iskrzynia)	16,15	258,66	20,79	84,80	10,32	18,40

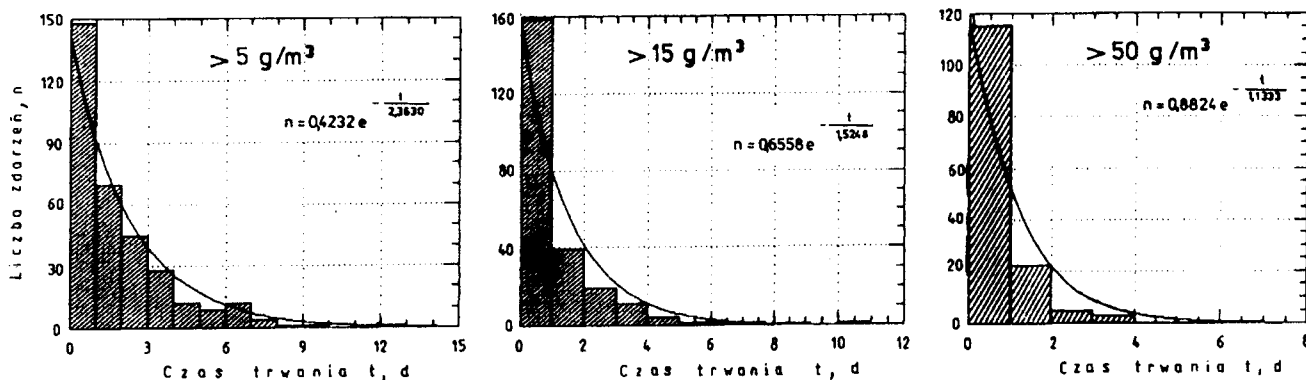
### Rozkład podwyższonych mętności

Z punktu widzenia projektowania technologii oczyszczania wody, a następnie eksploatacji urządzeń, istotna jest liczba przypadków wystąpienia podwyższonych mętności wody oraz czas ich trwania. Szczególnie czas trwania wysokich mętności może decydować o możliwości pełnego pokrycia zapotrzebowania na wodę o odpowiedniej jakości. Dla określenia powyższych uwa-

runkowań w analizowanych zakładach wodociągowych przeprowadzono obliczenia, których wyniki przedstawiono w tabeli 2, natomiast w tabeli 3 zestawiono liczbę przypadków wystąpienia podwyższonych mętności i czas ich trwania w przeliczeniu na jeden rok.

Istotnym elementem dla pełnej charakterystyki mętności wody surowej w analizowanych zakładach wodociągowych jest znajo-

Rys. 1. Częstość występowania wody o mętnościach wyższych od 5, 15 i 50 g/m<sup>3</sup> w Białym Dunajcu (Szafłary) w zależności od czasu ich trwania



Rys. 2. Częstość występowania wody o mętnościach wyższych od 5, 15 i 50 g/m<sup>3</sup> w Koszarawie (Żywiec) w zależności od czasu ich trwania

mość czasów trwania poszczególnych przypadków, a szczególnie tych o najdłuższym czasie występowania. One bowiem decydują np. o możliwościach magazynowania wody, stosowaniu filtrów powolnych lub innych urządzeń oczyszczających, których działanie może być uzależnione od powyższych uwarunkowań. W tym celu posegregowano przypadki występowania poszczególnych mętności wody w zależności od czasu ich trwania, a wyniki opracowano graficznie zamieszczając przykładowo w niniejszej pracy zależności dla Białego Dunajca w Szaflarach i Koszarawy w Żywcu (rys. 1 i 2).

Przeprowadzona próba matematycznego opisu zależności częstości występowania mętności od czasu ich trwania daje najlepsze wyniki dla funkcji wykładniczej, której przebieg i opis podano na rysunkach.

### Wpływ mętności wody na technologię jej klarowania

Przeprowadzona w omówiony sposób analiza pojawiania się podwyższonych mętności ujmowanej wody pozwala nieco szerzej spojrzeć na możliwości jej przygotowania do celów pitnych. Może ona być podstawą np. do zaproponowania magazynowania przybrzeżnego wody i obliczenia pojemności odpowiedniego zbiornika zapasowego wody surowej lub zbiornika wody oczyszczonej współpracującego np. z filtrami powolnymi lub innymi urządzeniami oczyszczającymi, bez konieczności obciążania ich wodą o wysokiej mętności.

W przypadku analizowanych ujęć, podane wyżej możliwości mogą być brane pod uwagę szczególnie dla zakładów wodociągowych w Wiśle, Żywcu czy Szaflarach. Nieco gorsze warunki dla realizacji takich koncepcji są w Jordanowie i Gorlicach, a w przypadku Suchej Beskidzkiej, Strumienia i Iskrzyni ewentualność ich wdrożenia jest niecelowa.

Przy wyborze ostatecznej wersji rozwiązania należy problem rozpatrywać wielowariantowo uwzględniając wszystkie czynniki, np. decydujące o pojemności zbiornika zapasowego [9]. Możliwości stosowania wymienionych wyżej rozwiązań rosną wraz ze zmniejszaniem zlewni rzeki, a dla zlewni o powierzchni kilku lub kilkunastu kilometrów kwadratowych mają zastosowanie prawie w każdym przypadku. Brak odpowiednich badań mętności wody w zakładach bazujących na ujęciach z bardzo małych rzek górskich nie pozwolił włączyć ich do przeprowadzonej analizy. Jednak zebrane informacje wskazują, że takie możliwości mają niektóre miejscowości, np. Wyśowa, Sułkowiec, Białe Ciche, Raba Wyżna itp.

Z przeprowadzonych badań wynika jeszcze jedno spostrzeżenie. Dotyczy ono budowy lub powiększania objętości już istniejących zbiorników ujęciowych na małych rzekach lub potokach górskich. Rozwiązania takie posiadają szereg uzasadnień, niemniej nie należy zapominać, iż zbiorniki tego typu zmniejszając mętność wody, szczególnie w czasie jej najwyższych wartości, równocześnie wydłużają okres poboru wody o podwyższonej mętności, ze względu na czas potrzebny do wymiany gorszej wody na lepszą, co następuje dopiero po poprawieniu się jakości wody w rzece.

Przykładem tego może być ujęcie wody dla Sułkowic, oparte na wodzie potoku Gościbia o powierzchni zlewni 4,3 km<sup>2</sup>. Woda o krótkotrwale wysokiej mętności wprowadzona do zbiornika powyżej jazu piętrzącego (pojemność 4 tys. m<sup>3</sup>) powoduje, iż czas poboru mętnej wody w ujęciu jest znacznie dłuższy niż rzeczywisty czas trwania podwyższonej mętności wody w potoku. Wskazuje to między innymi na znaczną przewagę przybrzeżnego magazynowania wody w stosunku do zaporowego.

### Wnioski

Przeprowadzona analiza pojawiania się podwyższonych mętności wody w kilku ujęciach wody powierzchniowej w terenach górskich pozwala na następujące uogólnienia:

1. Częstość i czas trwania podwyższonych mętności wody w rzekach i potokach górskich wskazują, iż należy powszechniej stosować magazynowanie przybrzeżne wody surowej. Rozwiązanie takie umożliwia ochronę zakładu wodociągowego przed okresowo pojawiającymi się wysokimi mętnościami wody. Jest ono w stosunku do małych zbiorników rzecznych (ujęciowych) bardziej racjonalne, gdyż daje większą możliwość, szczególnie w przypadku małych zlewni, oparcia technologii oczyszczania wody na filtrach powolnych jako urządzeniach dających bardzo dobre efekty i szczególnie zalecanych dla małych zakładów wodociągowych.

2. Przeprowadzenie podobnej analizy w wielu zakładach wodociągowych, bazujących na wodach rzek i potoków górskich i wdrożenie jej wyników poprawiłoby jakość wody oczyszczonej i mogłoby w części przypadków spowodować obniżenie kosztów eksploatacji małych wodociągów.

## LITERATURA

1. K. HABERER: Aufbereitung von Wasser aus Fließgewässern. DVGW-Schriftenreihe, Wasser, 206, 1980, s. (24-1)-(24-19).
2. E. G. HÖTTER et.al.: Eine technische Konzeption der Flockenfiltration zur Aufbereitung von Bachwässern mit stark schwankender Wasserbeschaffenheit und Abflusscharakteristik. DVGW-Schriftenreihe, Wasser, 7, 1976, s. 72-92.
3. H. OVERATH: Verfahrenskombinationen für belastete Rohwässer. DVG-Schriftenreihe, Wasser, 206, 1980, s. (25-1) - (25-25).
4. P. GROMBACH, K. HABERER, G. MERKL, E. TRÜEB: Handbuch der Wasserversorgungstechnik. R. Oldenbourg Verlag, München-Wien 1993.
5. M. BŁAŻEJEWSKI: Zabezpieczenie produkcji wody do picia w przypadkach awaryjnego zanieczyszczenia ujęć. GWiTS, 1977, nr 6, ss. 167-169.
6. A. L. KOWAL: Małe zakłady uzdatniania wody. Mat. konf. "Gospodarowanie wodą w małych jednostkach", Politechnika Białostocka, 1990, ss. 7-12.
7. H. JANCZEWSKI: Zabezpieczenie rzecznych ujęć zaopatrzenia w wodę za pomocą magazynowania przybrzeżnego. GWiTS 1975, nr 10, ss. 308-311.
8. J. PAWEŁEK: Czynniki kształtujące pojemność zbiorników zapasowych współpracujących z wodociągami ujmującymi wodę z rzek i potoków górskich. Zeszyty Naukowe AR, Kraków (w druku).
9. J. PAWEŁEK, W. TYLEK: Zapas wody jako możliwość uproszczenia procesu oczyszczania wód ujmowanych z rzek i potoków górskich dla wodociągów wiejskich. Mat. konf. "Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi", tom V "Technika sanitarna wsi", PZITS, Poznań 1988, ss. 144-158.
10. A. L. KOWAL: Filtracja powolna - teoria i praktyka (recenzja). Ochrona Środowiska, 1991, nr 1(42), s. 61.
11. G. MICHALSKA, M. BŁAŻEJEWSKI: Zagrożenie ujęć wód powierzchniowych falowymi zanieczyszczeniami oraz problemy związane z ich wykrywaniem. Mat. konf. "Zaopatrzenie miast i wsi w wodę" t. III, PZITS, Poznań 1986, ss. 337-353.
12. J. PAWEŁEK, W. TYLEK: Możliwości stosowania filtrów powolnych do oczyszczania wód z rzek i potoków górskich. Ochrona Środowiska, 1991, nr 2(43), ss. 37-40.
13. J. PAWEŁEK, W. TYLEK: Technologia oczyszczania wód ujmowanych z rzek i potoków górskich dla wodociągów wiejskich współpracujących ze zbiornikami zapasowymi. Mat. konf. "Gospodarowanie wodą w małych jednostkach", Białystok 1989, ss. 35-48.

**TURBIDITY OF MOUNTAIN RIVERS AND STREAMS: THEIR TREATMENT  
FOR THE PURPOSE OF WATER SUPPLY**

*Episodes of increased turbidity, their frequency of occurrence, magnitude, and length of duration in mountain rivers and streams are of paramount importance to the selection of the treatment technology when such streams are to be used for the needs of water supply. The objects under study were eight intakes of mountain rivers in the south of Poland. The calculated probability of increased turbidity episodes includes turbidities*

*greater than 5, 15 and 50 gm<sup>3</sup>, their frequency of occurrence and lengths of duration. The results obtained may be of utility in decision-making about relevant improvements of the technology applied, such as the use of slow filters, storage of water, or water cutoff. The results can be equally useful in predicting the turbidity loads that might be received by the intake.*