

Wojciech Balcerzak, Wiesław Zymon

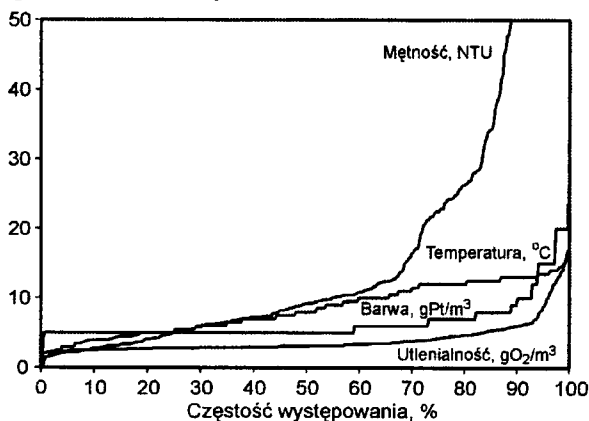
## Badania technologiczne nad doбором złoża filtracyjnego do uzdatniania wód powierzchniowych

Projektowanie i modernizację zakładów uzdatniania wody przeprowadza się najczęściej w oparciu o wyniki badań doświadczalnych, dane uzyskane z eksploatacji oraz informacje zawarte w literaturze technicznej. Ocena realności technologicznej uzdatniania coraz bardziej zanieczyszczonych wód, jak i celowości ekonomicznej stosowania wysokoefektywnych procesów jednostkowych, wymaga prowadzenia kompleksowych i wieloetapowych prac badawczych.

W niniejszej pracy omówiono wyniki badań wykonanych w skali ułamkowo-technicznej w zakładzie uzdatniania wody powierzchniowej, w którym zastosowano klasyczny układ procesów jednostkowych, tj. koagulację, sedymentację, filtrację pospieszną i dezynfekcję. W celu zmodernizowania tego układu zaprojektowano i wykonano pilotową stację doświadczalną tak, aby w miarę możliwości wiernie odwzorować istniejący układ technologiczny i jednocześnie zapewnić możliwość jego dalszej rozbudowy.

### Charakterystyka wody

Przed przystąpieniem do badań przeanalizowano zmiany temperatury, mętności, barwy i utlenialności wody. Charakterystykę częstości występowania tych wskaźników jakości wody przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Krzywa sumowa temperatury, barwy, mętności i utlenialności wody surowej

W oparciu o przeanalizowane dane stwierdzono, że mętności wody do 30 NTU stanowiły około 83% czasu występowania wszystkich wartości mętności. Odpowiada to w przybliżeniu pracy stacji w tych warunkach przez około 303 doby w roku. W tym czasie barwa wody wynosiła około 8 gPt/m<sup>3</sup>, zaś utlenialność około 6 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Ponadto stwierdzono, że

badana woda powierzchniowa przez około pół roku odznaczała się stosunkowo niskimi wartościami analizowanych wskaźników.

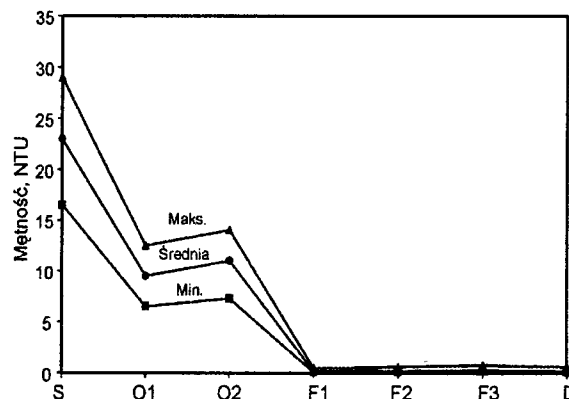
### Opis badań

Badania przeprowadzono na stacji pilotowej, w skład której wchodziły następujące urządzenia:

- ujęcie i doprowadzenie wody surowej do układu,
- komory szybkiego mieszania,
- osadniki zespolone z komorami wolnego mieszania,
- filtry pospieszne,
- zbiornik kontaktowy do dezynfekcji.

Do koagulacji zastosowano siarczan glinu w dawkach uzależnionych od pory roku i mętności wody surowej, przy czym zakres dawek koagulantu w okresie zimowym był około 2-krotnie mniejszy niż w okresie letnim. Modele filtrów miały średnicę 0,14 m i wysokość całkowitą 3,5 m. Wysokość zwirowej warstwy podtrzymującej wynosiła 0,3 m, a wysokość warstwy filtracyjnej 1,0 m. Złoża filtracyjne były płukane wodą wodociągową. W trakcie badań zastosowano różne złoża filtracyjne, których charakterystykę zawiera tabela 1.

Wykonano 4 serie badawcze, przy różnej charakterystyce złóż. Trzy serie badań wykonano przy stałej prędkości filtracji około 5 m/h dla złóż o różnych uziarnieniach. W czwartej serii zastosowano wybrane złożo zmieniając prędkość filtracji w granicach 5,0+7,0 m/h. Efektywność procesu kontrolowano poprzez ciągły pomiar mętności wody przed i po filtrach. Na rysunku 2 przedstawiono przykłady zmian mętności wody w ciągu technologicznym. Stopień uzdatnienia wody określono poprzez oznaczenie mętności, barwy, absorbancji ( $\lambda=254$  nm), ogólnego węgla organicznego i utlenialności wody (tab.2).



Rys. 2. Zmiany mętności wody w ciągu technologicznym (S – woda surowa, O1, O2 – woda po sedymentacji, F1, F2, F3 – woda po filtracji, D – woda po dezynfekcji)

Tabela 1. Charakterystyka badanych złóż filtracyjnych

Materiał	Parametr	Numer filtru								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Piasek	wysokość warstwy, m	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7
	d <sub>10</sub> , mm	0,70	0,65	0,90	0,81	0,71	0,48	0,81	0,71	0,48
	d <sub>50</sub> , mm	1,10	1,05	1,50	1,00	0,85	0,68	1,00	0,85	0,68
	WR	1,57	1,61	1,65	1,24	1,20	1,41	1,20	1,20	1,41
Antracyt	wysokość warstwy, m	–	–	–	–	–	–	0,3	0,3	0,3
	d <sub>min</sub> , mm	–	–	–	–	–	–	1,2	1,2	1,2
	d <sub>max</sub> , mm	–	–	–	–	–	–	2,0	2,0	2,0

Tabela 2. Efektywność usuwania wybranych wskaźników jakości wody przy mętności poniżej 0,45 NTU

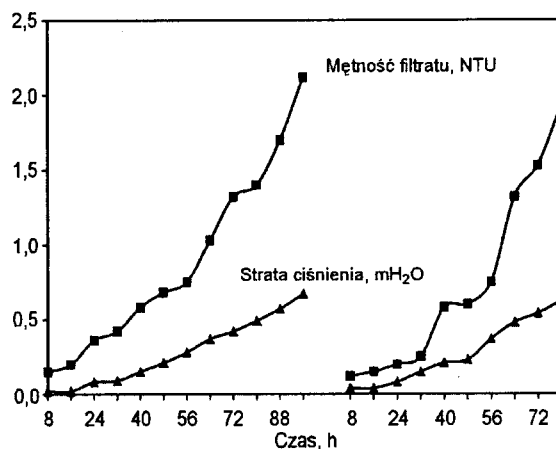
Parametr jednostka	Woda				Usuwanie %
	surowa		uzdatniona		
	śr.	odch. st.	śr.	odch. st.	
Mętność, NTU	35,2	20,9	0,27	0,18	99,4
Barwa, gPt/m <sup>3</sup>	7,3	2,5	1,5	0,5	79,4
Absorbancja, 1/m	6,14	1,37	2,60	0,47	57,6
OWO, gC/m <sup>3</sup>	4,25	1,29	1,47	0,47	65,4
Utlenialność, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	4,7	1,4	1,7	0,3	63,8

W badaniach starano się nawiązać do możliwego do zastosowania w istniejącym zakładzie uzdatniania wody układu wysokościowego. W związku z tym maksymalna wysokość wody nad złożem filtracyjnym wynosiła 1,2 m. W początkowej fazie badań technologicznych wysokość słupa wody nad filtrem uzależniona była od stopnia otwarcia zaworu nad filtrem, przy stałym natężeniu dopływającej wody. Regulacja tego układu była utrudniona i prowadziła często do zapowietrzania górnych warstw złoża, co znacznie obniżyło efektywność jego działania, gdyż prowadziło do wzrostu mętności wody w odpływie i do skrócenia cyklu filtracji. Aby wyeliminować to zjawisko wykonano odprowadzenie wody poprzez układ przelewowy znajdujący się na wysokości górnej warstwy złoża filtracyjnego. Wprowadzenie tego rozwiązania pozwoliło na stabilną pracę filtrów.

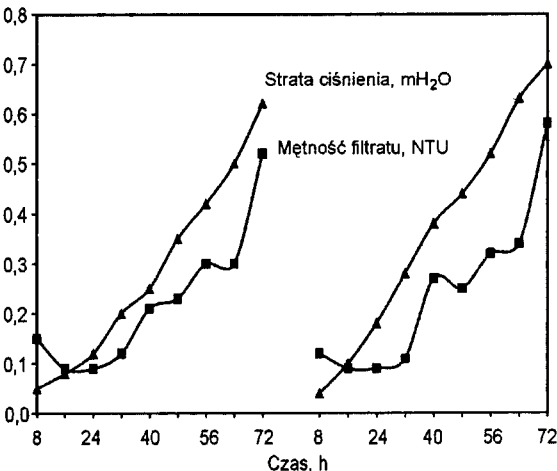
W poszczególnych seriach badawczych wykorzystano zależności pomiędzy mętnością wody po filtracji oraz wysokością strat ciśnienia i czasem pracy filtru. Analizy te wykonano dla filtrów o różnych charakterystykach uziarnienia. Maksymalny przyrost strat ciśnienia wynosił około 0,7 mH<sub>2</sub>O. Szczególną uwagę zwrócono na uzyskanie maksymalnych strat przy mętnościach końcowych poniżej 0,45 NTU (ok. 1 g/m<sup>3</sup>). Na tej podstawie określono średni czas cyklu filtracji. Przykładowe zależności pomiędzy mętnością wody po filtracji i przyrostem strat ciśnienia przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

## Wyniki badań

W pierwszej serii badań, w której zastosowano złoża piaskowe o zróżnicowanym uziarnieniu (tab.1) wykazano, że osiągnięcie strat na poziomie 0,8 mH<sub>2</sub>O na filtrach nr 1 i nr 2 uzyskano przy cyklu filtracji trwającym średnio 24 godz. Mętność wody po filtracji okresowo przekraczała przyjętą – graniczną – wartość 0,45 NTU. Długość cyklu filtracji dla filtru nr 3 wynosiła średnio 36+40 godz. Praktycznie po 24 godz. mętność wody przekroczyła 0,45 NTU.



Rys. 3. Zmiany mętności wody i wysokości strat ciśnienia podczas cyklu filtracji (filtr nr 3, średnia mętność wody przed filtracją 9 NTU)



Rys. 4. Zmiany mętności wody i wysokości strat ciśnienia podczas cyklu filtracji (filtr nr 9, średnia mętność wody przed filtracją 10 NTU)

Obserwacje pracy filtrów nr 1 i nr 2 wykazały silną kolmatację powierzchni złoża, co w konsekwencji spowodowało szybki przyrost oporów filtracji.

W drugiej serii badań zastosowano nowe złoża piaskowe o zróżnicowanym uziarnieniu (tab.1). Zmienione wypełnienie złoża charakteryzowało się stosunkowo wysoką wartością współczynnika równomierności uziarnienia 1,2+1,4 (filtry nr 4–6). Analiza pracy tych filtrów wykazała, że średni cykl filtracji trwał 16+30 godz. ze względu na występujące straty ciśnienia. Stwierdzono silną kolmatację powierzchni złoża, prowadzącą do szybkiego wzrostu oporów przepływu w trakcie cyklu filtracji.

W trzeciej serii badań zastosowano złoża antracytowo-piaskowe o zróżnicowanym uziarnieniu (tab.1). W serii tej zmniejszono warstwę piasku do 0,7 m i uzupełniono 0,3 m warstwą antracytu. Analiza pracy tak przygotowanych filtrów

wykazała, że filtry nr 7 i nr 8 dały gorsze efekty od filtru nr 9. Dla filtrów nr 7 i nr 8 po czasie około 1 doby mętność wody przekroczyła 0,45 NTU, natomiast dla filtru nr 9 mętność wody powyżej 0,45 NTU wystąpiła po czasie powyżej dwóch dób. Osiągnięcie wysokości strat ciśnienia na poziomie 0,9 mH<sub>2</sub>O dla filtrów nr 7 i nr 8 nastąpiło po czasie około 3,5 doby, zaś dla filtru nr 9 po czasie około 2,3 doby.

W czwartej serii badań zastosowano złoża antracytowo-piaskowe, o takim samym uziarnieniu jak złożo filtru nr 9 (tab.1), pracujące ze zróżnicowanymi prędkościami wynoszącymi odpowiednio 5,0 m/h, 6,2 m/h i 7,5 m/h. Praca tych filtrów wykazała, że około 1,5-krotne podniesienie prędkości filtracji spowodowało 2-krotne skrócenie cyklu filtracji, przy założeniu mętności filtratu poniżej 0,45 NTU.

## Wnioski

◆ Przeprowadzone badania wykazały, że niezależnie od mętności wody surowej uzyskanie mętności filtratu poniżej 0,45 NTU (ok. 1 g/m<sup>3</sup>) wymagało zastosowania ciągłej koagulacji.

◆ Dobór złoża filtracyjnego powinien być poprzedzony badaniami w skali ułamkowo-technicznej, uwzględniającymi istniejący lub projektowany układ technologiczny uzdatniania wody.

◆ Złoża filtrów pospiesznych powinny być tak dobrane, aby długość cyklu filtracji z uwagi na wysokość strat ciśnienia na złożu była zbliżona do długości cyklu filtracji ze względu na wymaganą mętność filtratu.

---

## Technological Investigations into the Choice of a Filter Bed for Effective Surface Water Treatment

*Pilot-plant technological investigations were carried out with the aim to retrofit the existing treatment train for surface water. The treatment train under study involved continuous coagulation, sedimentation and filtration on single-layer sand beds or double-layer anthracite-sand beds of varying grain size distribution, particular consideration being given to the problem of how to obtain high-quality water after filtration. The investiga-*

*tions covered a time span which allowed the seasonal pattern of water quality variations to be examined. Turbidity (kept below 0.45 NTU) was adopted as the parameter that best characterized the quality of treated water. For the anticipated turbidity value which could not be exceeded an average duration of the filter cycle was established.*