

Marian Błażejowski
Agata Dąbrowska
Tomasz Mrugański

WŁAŚCIWOŚCI TECHNOLOGICZNE PYLISTEGO WĘGLA AKTYWNEGO PREPAROWANEGO CHLORKIEM WAPNIOWYM

W kilkunastu krajowych wodociągach zachodzi konieczność okresowego dawkowania pylistego węgla aktywowanego (PWA), jednak nawet w sytuacjach awaryjnych zanieczyszczeń wody nie jest on stosowany na szerszą skalę. Jedną z przyczyn tego stanu jest brak typowych, a zarazem prostych i niezawodnych urządzeń do dawkowania PWA. Problem ten można rozwiązać poprzez zastosowanie węgla preparowanego chlorkiem wapniowym. PWA Carbopol Z-4 preparowany w skali laboratoryjnej CaCl_2 , w porównaniu z tym samym węglem w postaci handlowej, wykazywał znacznie niższe zdolności do pylenia, łatwo ulegał hydratacji i posiadał podobne właściwości adsorpcyjne [1].

Do określenia właściwości technologicznych PWA w skali technicznej użyto próbnej partii węgla Carbopol Z-4 preparowanego CaCl_2 , wyprodukowanej w Zakładzie Elektrod Węglowych w Raciborzu. Celem badań było określenie intensywności mieszania, koniecznej do homogenizacji zawiesiny wodnej węgla oraz wyznaczenia minimalnej prędkości przepływu zabezpieczającej przed jego sedymentacją w przewodach [4], a także określenie zdolności powietrznie suchego PWA preparowanego CaCl_2 do pylenia oraz związanej z nią dolnej granicy wybuchowości (DGW) [5]. Ponadto określono sprawność instalacji do hydratacji PWA oraz możliwość zastosowania krajowej pompy nurnikowej ND do dawkowania jego zawiesiny wodnej (badania te wykonano na stacji wodociągowej w Bolechowie k. Poznania).

Metodyka badań

Określenie intensywności mieszania PWA

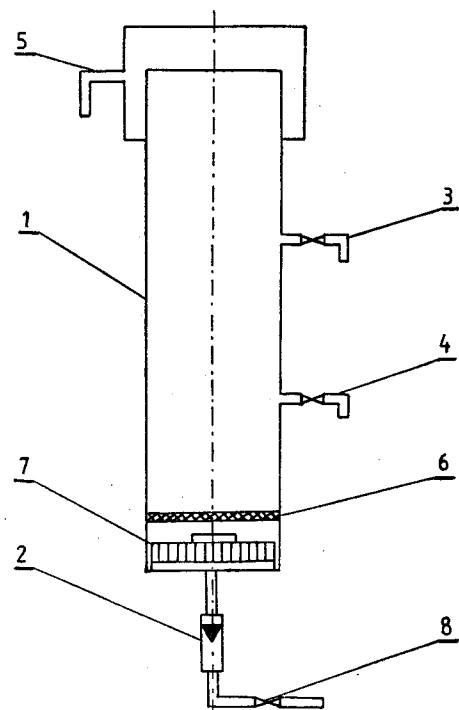
Intensywność mieszania określano na podstawie wartości gradientu prędkości, koniecznego do utrzymania w warstwie zawieszonyj jednorodnej zawiesiny węgla. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1. Dla uzyskania równomiernego strumienia wody zasilającej zainstalowano nad dopływem siatkę z tworzywa sztucznego. Po wypełnieniu kolumny i zamknięciu dopływu wody, wprowadzono do niej 20% zawiesinę wodną PWA w ilości zapewniającej 1% stężenie w całej objętości kolumny. Po około 40 minutach sedymentacji, kiedy cały węgiel osiadł na siatce, otwierano dopływ wo-

dy i ustalano założoną intensywność przepływu. Wprowadzony węgiel wówczas tworzył warstwę zawieszoną, której wysokość była zależna od intensywności przepływu wody. Po ustaleniu się wysokości warstwy zawieszonyj PWA pobierano z obu króćców próbki wody z zawiesiną węgla i oznaczano ich gęstość za pomocą piknometru [2]. Zawiesinę węgla przyjęto uważać za homogeniczną, gdy warstwa węgla osadzonego na siatce uległa całkowitemu rozmyciu, a różnice gęstości pobranych próbek z obu wysokości nie przekraczały 35%. Na podstawie wyznaczonych gęstości obliczano gradient prędkości z następującej zależności [3]:

$$G = \sqrt{\frac{g(\rho_s - \rho)l}{\mu t}}$$

gdzie:

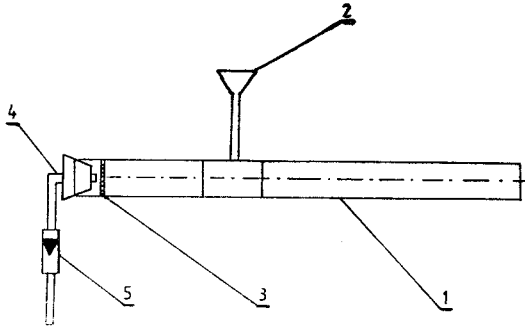
- g — przyspieszenie ziemskie, m/s^2
- l — wysokość warstwy zawiesiny, m
- ρ_s — gęstość zawiesiny, kg/m^3
- ρ — gęstość wody, kg/m^3
- t — czas przepływu, s
- μ — lepkość dynamiczna, Ns/m^2



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do określania intensywności mieszania zawiesiny wodnej PWA (1 — kolumna $\Phi = 7 \text{ cm}$ i $h = 150 \text{ cm}$, 2 — rotametr, 3 — króciec do poboru próbki na wysokości 100 cm, 4 — króciec do poboru próbki na wysokości 50 cm, 5 — przelew, 6 — siatka, 7 — grzybek, 8 — zawór na dopływie wody)

Określenie minimalnej prędkości przepływu zabezpieczającej przed sedymentacją węgla w przewodach

Schemat stanowiska do prowadzenia badania przedstawiono na rysunku 2. Preparowany chlorkiem wapniowym PWA dawковано w postaci 1% zawiesiny co 5, 10 minut. Na metrowym odcinku rury za krótcem dawkującym obserwowano zachowanie się węgla w przewodzie dla różnych prędkości przepływu.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego do wyznaczania minimalnej prędkości przepływu, przy której PWA nie sedymentuje w przewodach (1 — rura szklana $\Phi = 2,7$ cm i $l = 200$ cm, 2 — miejsce dawkowania węgla, 3 — przełotnica perforowana, 4 — dopływ wody, 5 — rotametr)

Badania urządzeń dawkujących w skali technicznej

Woda surowa dla stacji wodociągowej w Bolechowie ujmowana jest bezpośrednio z Warty. Stosowane tam przez cały rok dawki węgla pylistego Carbopol Z-4 wahają się w granicach od 40 do 80 g/m³. Przygotowanie zawiesiny węgla z wodą odbywa się w 2 roztwarzalnikach o objętości 2,4 m³ każdy. Węgiel podawany jest do roztwarzalników przez dwa zsypaniki, w których następuje rozcinanie worków z węglem i grawitacyjne zsypanie go do roztwarzalnika. W roztwarzalniku przy pomocy centrycznie zainstalowanego mieszadła elektrycznego następuje wymieszanie węgla z wodą. Moc silnika wynosi 1,5 kW, a prędkość obrotowa 1400 obr./min. Mieszanie jest wspomagane dodatkowo poprzez układ recyrkulacyjny z pompą 50Z2K. Część zawiesiny z przewodu tłocznego układu recyrkulacyjnego zasysana jest przez pompę ND i tłoczona do komory szybkiego mieszania przed akcelatorem.

W celu dokonania oceny efektywności działania dawkownika przeprowadzono pomiar stężeń objętościowych zawiesiny PWA w trzech punktach instalacji, przyjmując, że przy niezakłóconej pracy dawkownika powinny one być takie same lub zbliżone do siebie. Badania wykonano dla 2,6‰ i 5,2‰ zawiesiny PWA przy wydajności pompy zmienianej od 50 dm³/h do 400 dm³/h. Próbki zawiesiny wodnej węgla pobierano do lejów Imhoffa i po 24 godzinach sedymentacji określano objętość osadu.

W celu oceny wpływu zawiesiny wodnej PWA na zużycie poszczególnych elementów pompy ND porównano stan techniczny dwu urządzeń: pierwszego, które było używane przez ok. jeden rok, podczas którego zużyto około 50 ton PWA, oraz drugiego, fabrycznie nowego. Porównano wymiary i stan

elementów, które mogły ulec zużyciu w wyniku ścierania, tj. tłoków, gniazd zaworowych i pierścieni uszczelniających. Wykonano z modeliny odciski gniazd zaworu ssącego i tłocznego i porównano je z odciskami wykonanymi w dawkowniku nie eksploataowanym.

Ocena zmian zawartości wody w próbkach PWA preparowanego CaCl₂ w zależności od wilgotności powietrza

Ocenie poddano trzy wysuszone w temperaturze 105°C próbki preparowanego węgla, z których pierwszą umieszczono w eksykatorze nad warstwą wody w warunkach 100% nasylenia powietrza parą wodną, drugą pozostawiono w nieogrzewanym pomieszczeniu, a trzecią przechowywano w pomieszczeniu ogrzewanym przez instalację centralnego ogrzewania. Raz na dobę próbki ważono i operację tę powtarzano aż do uzyskania stałej masy. Prócz tego w pomieszczeniach codziennie oznaczano temperaturę, ciśnienie i wilgotność powietrza.

Ocena wybuchowości węgla

Do badań wybuchowości wytypowano węgiel przechowywany w ekstremalnych warunkach, tj. takich, które w magazynach stacji wodociągowej prawdopodobnie nigdy nie będą miały miejsca. Przygotowano próbkę węgla Carbopol Z-4 o masie 150 g, wysuszone ją w temperaturze 105°C, a następnie pozostawiono w temperaturze pokojowej w pomieszczeniu ogrzewanym przez instalację centralnego ogrzewania. Powietrze miało temperaturę ok. 20°C i wilgotność 55%. Po trzech dniach ekspozycji węgiel wchłonął 24% wody z powietrza i osiągnął stałą masę. Oznaczenia dolnej granicy wybuchowości dokonano w aparacie Hartmana zgodnie z normą PN-84/C-01200/08 [5].

Wyniki badań

Badania nad określeniem intensywności mieszania koniecznej do utrzymania jednorodnej zawiesiny wodnej PWA przeprowadzono w 4 seriach z różnymi prędkościami wznoszenia wody. Wyznaczone gęstości zawiesiny wodnej węgla oraz wyliczone gradienty prędkości przedstawia tabela 1. Całkowite rozmycie warstwy węgla oraz najbardziej zbliżone gęstości jego zawiesiny wodnej w przekroju pionowym kolumny stwierdzono przy prędkościach wznoszenia równych 0,22 cm/s oraz 0,25 cm/s. Oznaczonym gęstościom odpowiadały średnie gradienty równe odpowiednio 8,3 s⁻¹ oraz 8,4 s⁻¹. Wyższa prędkość wznoszenia (0,36 cm/s) powodowała wynoszenie najdrobniejszych frakcji węgla wraz z wypływającą wodą. Natomiast przy najniższej badanej prędkości ziarna węgla o większych rozmiarach w części pozostawały na siatce, a reszta nie osiągała dolnego punktu poboru próbek.

Na podstawie otrzymanych wyników można więc stwierdzić, że do utrzymania jednorodnego stężenia

Tabela 1

Zależność gęstości zawiesiny wodnej PWA oraz gradientu prędkości od prędkości wznoszenia słupa wody

Prędkość wznoszenia [cm/s]		Gęstość zawiesiny [kg/m ³]	Gradient prędkości [s ⁻¹]
0,18	A	1000,6	6,6
	B	1001,4	7,6
0,22	A	1001,2	7,9
	B	1001,8	8,7
0,25	A	1000,8	8,1
	B	1001,2	8,7
0,36	A	1000,6	9,1
	B	1002,1	11,7

A — pobór próbek na wysokości 100 cm

B — pobór próbek na wysokości 50 cm

nia zawiesiny wodnej badanego PWA konieczna jest intensywność mieszania zapewniająca gradient prędkości nie niższy od 8,5 s⁻¹. Należy zauważyć, że oznaczona wartość gradientu prędkości mieści się poniżej zakresu gradientów zalecanych dla komór flokulacji [6]. Pozwala to założyć, że produkowany w Raciborzu PWA Carbopol Z-4 (również preparowany CaCl₂) dodany podczas szybkiego mieszania nie będzie osadzał się w komorach flokulacji, a konsekwencją tego będzie przedłużenie czasu jego efektywnego działania.

Określenie minimalnej prędkości przepływu wody zabezpieczającej przed sedymentacją węgla w przewodach przeprowadzono przy trzech różnych wartościach przepływu: 200, 400 oraz 600 dm³/h, odpowiadających następującym prędkościom poziomego przepływu wody: 0,1; 0,2 oraz 0,3 m/s. Przy prędkości 0,1 m/s zaobserwowano na dnie szklanego przewodu odkładającą się warstwę węgla, która przy dodawaniu kolejnych dawek węgla stopniowo narastała. Po zwiększeniu prędkości do 0,2 m/s nadal obserwowano w przewodzie warstwę sedymentującego węgla. Dopiero zwiększenie prędkości przepływu do wartości 0,3 m/s eliminowało sedymentację węgla. Prędkość tę można więc uznać za wartość minimalną, zabezpieczającą przed odkładaniem się węgla w przewodach, którymi transportowana będzie zawiesina wodna PWA Carbopol Z-4.

Badania stanu technicznego pompy ND po jednorocznej eksploatacji nie wykazały widocznych śladów zużycia. Średnica nurnika wynosiła 63 mm, analogicznie, jak w pompie nie używanej. Modelinowe odciski gniazd zaworowych można było dopasować do obu pomp, co świadczyło, że mimo rocznej eksploatacji rozmiary ich nie uległy zmianom. Wysokości uszczelki teflonowych tłoków w obu pompach były również takie same. Z przeprowadzonych badań wynika, że trwałość elementów polskiej pompy ND najbardziej narażonych na ścieranie jest wystarczająca, aby pompa ta mogła być stosowana do dawkowania zawiesiny wodnej PWA.

Sprawność instalacji do hydratacji oraz dawkowania PWA przebadano dla dwóch różnych stężeń zawiesiny wodnej węgla. Wyniki badań przy różnych wydajnościach pompy i odpowiadających im prędkościach przepływu w rurociągach przedstawiono w tabeli 2. Analiza wyników wskazuje, że najbardziej zbliżone stężenia objętościowe węgla otrzymano przy najwyższych wydajnościach pompy (400 dm³/h) i związanych z tym najwyższych prędkościach przepływu zawiesiny wodnej węgla w rurociągach. W przypadku 5,2‰ zawiesiny węgla prawidłowe stężenia stwierdzono również dla wydajności 200 dm³/h. Przedstawione w tabeli 2 prędkości przepływu są kilkakrotnie niższe od prędkości uznanej za minimalną w badaniach prowadzonych w warunkach laboratoryjnych. Sprawne mimo to działanie instalacji w Bolechowie prawdopodobnie było związane z korzystnym wpływem pulsacji pompy, która utrudniała sedymentację węgla. Podczas prowadzenia badań, jak również przez rok eksploatacji instalacja do dawkowania PWA działała niezawodnie. Niekiedy należało przepłukiwać przewody, co związane było jednak z zatykaniem ich przez zanieczyszczenia występujące w dostarczonym węglu.

Przy ocenie zmian zawartości wody w próbkach preparowanego węgla stwierdzono, że największe ilości wody wchłonęły próbki umieszczone w eksykatorze w atmosferze 100% nasycenia parą wodną. Już po trzech dniach ekspozycji wilgotność próbki wynosiła ponad 30%. Po sześciu dniach osiągnęła 41%. Próbki węgla umieszczone w pomieszczeniu nieogrzewanym, w którym temperatura wahała się w granicach 16÷23°C, a zmiany wilgotności wynosiły 61÷83% przy ciśnieniu 746÷766 mm Hg, po trzech dniach osiągnęły wilgotność ok. 26%, a po 6 dniach ustaliła się ona w granicach 28÷30%. Również próbki umieszczone w pomieszczeniu ogrzewanym w temperaturze 20÷21°C o wilgotności 54÷55% i ciśnieniu 755÷760 mm Hg wchłaniały

Tabela 2

Objętość węgla w lejach Imhoffa dla różnych wydajności pomp oraz odpowiadających im prędkości przepływu (pod kreską)

Średnica nurnika pompy [mm]	Stężenie zawiesiny węgla [%]		Wydajność pomp [dm ³ /h]				
			50	100	200	270	400
40	2,6	1	—	104	104	104	—
		2	—	160	145	168	—
			—	1,5	2,8	3,8	—
		3	—	64	60	54	—
			3,5	6,9	9,4		
63	2,6	1	—	120	120	—	115
		2	—	90	70	—	100
			—	1,5	2,8	—	5,7
		3	—	30	55	—	94
			3,5	6,9		13,9	
63	5,2	1	150	150	150	—	150
		2	120	90	140	—	180
			0,7	1,5	2,8	—	5,7
		3	80	110	130	—	170
1,7	3,5		6,9		13,9		

1 — spust za roztwarzalnikiem

2 — przewód ssawny pompy ND

3 — przewód tłoczny pompy ND

wodę. Po trzech dniach ekspozycji ich wilgotność ustaliła się na poziomie $23 \div 24\%$. Badania węgla preparowanego CaCl_2 zmierzające do określenia jego dolnej granicy wybuchowości wykazały, że w stanie powietrznie suchym tworzy on z powietrzem mieszaninę niewybuchową [5].

Podsumowanie

Po przeprowadzeniu badań z PWA preparowanym CaCl_2 w warunkach laboratoryjnych, określeniu jego właściwości i sprawdzeniu go w skali technicznej można stwierdzić, że węgiel ten nadaje się do stosowania przy użyciu krajowych urządzeń roztwarzających i dawkujących (pompa ND). Węgiel ten dostarczany i magazynowany w postaci mokrej nawet po wysuszeniu do stanu powietrznie suchego nie ma właściwości wybuchowych, co ułatwia jego eksploatację bez specjalnego zabezpieczenia urządzeń i pomieszczeń w instalację przeciwpożarową. Stosowanie preparowanego węgla w procesie uzdatniania wody według opinii PZH nie budzi również zastrzeżeń pod względem sanitarnym.

LITERATURA

1. M. BŁAŻEJEWSKI, G. MICHALSKA, D. BARAŁKIEWICZ: Koncepcja przygotowania pylistego węgla aktywnego w stacjach uzdatniania wody. *Ochrona Środowiska*, nr 2—3 (32—33), 1987, s. 95—98.
2. W. HERMANOWICZ i inni: Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa 1976.
3. I. TESARIK: *La Tribune de Cebedeau*, nr 8—9, 1969, s. 369—373.
4. M. BŁAŻEJEWSKI, A. DĄBROWSKA: Raport z badań właściwości technologicznych pylistego węgla aktywowanego preparowanego chlorkiem wapniowym. Inst. Gosp. Przestrz. i Kom., Poznań 1989 (maszynopis).
5. T. MRUGALSKI: Określenie dolnej granicy wybuchowości pylistego węgla aktywowanego preparowanego chlorkiem wapniowym. Inst. Krajowych Włókien Naturalnych, Poznań 1989 (maszynopis).
6. Z. HEIDRICH: Urządzenia do uzdatniania wody. Zasady projektowania i przykłady obliczeń. Arkady, Warszawa 1987.

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF PULVERIZED ACTIVATED CARBON TREATED WITH CALCIUM CHLORIDE

The experiments were run with Carbopol Z-4 (a pulverized activated carbon) treated with CaCl_2 . The carbon under study was found to be resistant to pulverization and fairly prone to hydration. To produce aqueous suspensions it suffices to make use of standard tanks with recirculation. At

concentrations below 5%, the suspension can be dosed, using ND-type pumps. Homogenization of the carbon in the aqueous solution is achieved with a velocity gradient of 8.5 s^{-1} , which enables dosing immediately before passage to the flocculation tank. Supplied and stored in liquid form, the carbon under study displays no explosive properties, even if dried to the air moisture free state, thus eliminating the need of special safety measures.