

Waldemar Sawiniak, Maria Sobczyk, Tadeusz Wranik

Doświadczalne ustalenie technologii uzdatniania wody ze zbiornika zaporowego

W latach pięćdziesiątych przy zbiorniku zaporowym w Kozłowej Górze wybudowano stację wodociągową, w której podstawowymi procesami uzdatniania były filtracja pospieszna i dezynfekcja chlorem. Taki sposób uzdatniania wynikał z ówczesnej jakości wody w zbiorniku. Obecnie woda w zbiorniku wykazuje znacznie większe zanieczyszczenie: barwa wynosi od 20 do 50 gPt/m³, mętność od 5 do 30 g/m³ oraz okresowo występuje zakwit, podczas którego wzrasta zapach, nawet do natężenia z5S, oraz utlenialność wody do 23,6 gO₂/m³ (tab.1). Stosując chlor i filtrację pospieszną nie można uzdatnić takiej wody do wymaganej jakości, lecz konieczne jest zastosowanie innych, bardziej efektywnych procesów technologicznych, a przede wszystkim koagulacji.

Tabela 1. Wyniki skróconej analizy wody surowej w okresie badań

Parametr	Jednostka	Zakres wartości
Temperatura	°C	2+ 20
Zapach	—	0 +z5S
Barwa	gPt/m ³	20 + 50
Mętność	g/m ³	5+ 30
pH	—	7,2+ 8,9
Kwasowość	val/m ³	0+0,7
Zasadowość M	val/m ³	2,4+3,3
Zasadowość F	val/m ³	0+0,2
CO ₂ agresywny	g/m ³	0+2,9
Utlenialność	gO ₂ /m ³	5,3+23,6
Plankton	org/cm ³	1.240 +42.300

W celu określenia warunków technologicznych uzdatniania wody metodą koagulacji przeprowadzono badania technologiczne zakładając, że w wyniku koagulacji i filtracji barwa powinna być usunięta do 5 gPt/m³, a mętność do 2 g/m³. Taka efektywność usuwania zanieczyszczeń pozwoli na ewentualne doczyszczanie wody na węglu aktywnym.

Metodyka badań

Ustalenie optymalnego sposobu uzdatniania wody metodą koagulacji prowadzono na istniejącej stacji wodociągowej w skali laboratoryjnej oraz ułamkowo-technicznej. W badaniach stosowano siarczan glinu oraz chlorowany siarczan żelaza (II), który wytwarzano przed każdą serią doświadczeń przez dodatek wody chlorowej do roztworu siarczanu żelaza (II), zachowując 15 % nadmiar chloru w stosunku do ilości stechiometrycznej.

W skali laboratoryjnej określono optymalne dawki koagulantów, czas flokulacji oraz optymalny odczyn wody. Każda seria doświadczalna obejmowała obserwacje wizualne procesu flokulacji i skrócone analizy fizyczno-chemiczne uzdatnionej wody [1]. W skali ułamkowo-technicznej uzdatnianie wody prowadzono metodą koagulacji konwencjonalnej i kontaktowej. Pierwszy układ technologiczny składał się z komory szybkiego mieszania, komory flokulacji, osadnika pionowego i filtru pospiesznego, a drugi z klarownika i filtru pospiesznego.

Zastosowana w badaniach dynamicznych wielkość modeli pozwalała na określenie parametrów technologicznych, mających bezpośrednie przeniesienie do projektowania urządzeń technicznych. Wysokość klarownika wynosiła 4 m, średnica 288 mm; średnica osadnika pionowego wynosiła 480 mm, a jego wysokość 2,7 m. Filtry pospieszne miały średnicę 92 mm i wysokość 2,5 m. Wszystkie urządzenia stacji ułamkowo-technicznej były wykonane ze szkła organicznego, co pozwalało na obserwację zjawisk zachodzących podczas uzdatniania wody [2, 3]. W każdym cyklu doświadczalnym najpierw ustalano optymalną dawkę koagulantu w skali laboratoryjnej, a następnie ustaloną ilość koagulantu stosowano w skali ułamkowo-technicznej. Efekty uzdatniania wody przy założonych parametrach technologicznych oceniano na podstawie analiz prób wody pobieranych z poszczególnych urządzeń oraz strat ciśnienia filtracyjnego.

Wyniki badań

Skala laboratoryjna

Przyjęta w założeniach do badań konieczność uzyskania wysokiej jakości wody uzdatnionej spowodowała, że woda surowa wymagała koagulacji w ciągu całego roku. Po przeprowadzeniu wstępnych doświadczeń nad wyborem koagulantu do zasadniczych badań koagulacji przyjęto siarczan glinu i chlorowany siarczan żelaza (II).

Wykonywane testy koagulacji w skali laboratoryjnej przy użyciu technicznego siarczanu glinu wykazały, że możliwe jest usunięcie barwy, mętności i całkowite lub częściowe usunięcie zapachu wody. Stopień usuwania zapachu zależał od jego intensywności. Jeżeli zapach wody surowej nie przekraczał wartości z3S, to był on całkowicie usuwany, natomiast przy wyższych wartościach pozostawał w wodzie po koagulacji zapach w zakresie z1S+z2S, pomimo stosowania optymalnych parametrów oczyszczania.

Zakres optymalnych dawek technicznego siarczanu glinu kształtował się w granicach 60+100 g/m³ w ciągu całego roku,

Tabela 2. Wyniki koagulacji domieszek wody w skali laboratoryjnej przy optymalnych parametrach procesu

Reagent		Barwa	Mętność	Zapach	pH	Kwasowość	Zasadowość		CO ₂ agresywny	Utleniaeln.	Glin
Rodzaj	Dawka g/m ³	gPt/m ³	g/m ³	–	–	val/m ³	M val/m ³	F val/m ³	g/m ³	gO ₂ /m ³	Żelazo g/m ³
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18 H ₂ O	90	2	3	śl.	6,8	0,4	1,9	0,0	13,0	3,2	1,02
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18 H ₂ O	60	5	2	0	6,5	0,45	1,6	0,0	16,4	4,8	0,02
H ₂ SO ₄	27										
FeClSO ₄	80	0	3	śl.	6,6	0,5	1,5	0,0	18,4	4,2	–
											2,4
Woda surowa		20	15	z3(rybi)	8,9	0	2,6	0,2	0,0	6,3	

w zależności od jakości wody surowej i temperatury. Dla optymalnych dawek siarczanu glinu w procesie flokulacji powstawały dosyć duże kłaczkę; czas flokulacji wynosił 30 min w okresie zimowym i 20 min w okresie letnim. Podczas badań wykonano próby zmniejszenia dawek koagulantu poprzez korektę odczynu wody. Dobre wyniki usuwania zanieczyszczeń mniejszymi dawkami koagulantu uzyskano przy korekcie odczynu do pH=6,5. Obniżka dawek optymalnych wynosiła przeciętnie 40 %. Koagulacja wody wysokimi dawkami siarczanu glinu (lub mniejszymi przy korekcie odczynu kwasem siarkowym) powodowała powstawanie agresywnego dwutlenku węgla nawet wtedy, kiedy pH wody surowej było powyżej 8,5.

Chlorowany siarczan żelaza (II) również umożliwiał usuwanie zanieczyszczeń w testach laboratoryjnych. Jego wymagane dawki, w przeliczeniu na techniczny siarczan żelaza (II) wynosiły 60/90 g/m³. Wprowadzenie do wody optymalnych ilości koagulantu żelazowego powodowało obniżenie odczynu i skuteczne usuwanie zanieczyszczeń (tab. 2). Podczas flokulacji powstawały bardzo duże kłaczkę, które często tworzyły duże aglomeraty w postaci kuli pod środkową częścią mieszadeł. Duże kłaczkę wodorotlenku żelaza (III) powstawały w całym zakresie temperatur wody 2+20 °C oraz szybko sedymentowały. Wymagany czas flokulacji wynosił 25 min w okresie niskich temperatur oraz 15 min w okresie wysokich temperatur. Po koagulacji woda zawierała agresywny dwutlenek węgla. Efekty usuwania zanieczyszczeń z wody koagulantem żelazowym były podobne do stopnia usuwania barwy, mętności, utleniaelności i zapachu podczas stosowania siarczanu glinu.

Uwzględniając koszty reagentów w okresie badań okazało się, że korzystniejszym koagulantem do uzdatniania wody był chlorowany siarczan żelaza (II). Wyniki uzyskane w skali laboratoryjnej nie były jednak wystarczające do zaprojektowania procesu technologicznego oraz urządzeń technicznych. Należało doświadczać, aby określić sposób koagulacji i niezbędne parametry technologiczne dla warunków dynamicznych.

Koagulacja konwencjonalna

Przyjęto, że wyniki badań są pozytywne, jeżeli czas trwania cyklu filtracyjnego przy maksymalnych stratach ciśnienia do 3 m wynosi 24 h oraz uzyska się wymaganą jakość wody. Wykonane doświadczenia w kilkunastu cyklach doświadczalnych wykazały, że uzdatnianie wody w warunkach dynamicznych nie zachodzi tak dobrze jak w skali laboratoryjnej. Podczas stosowania siarczanu glinu stale wymagany był 30 min czas flokulacji. Istotnym czynnikiem wpływającym na prawidłowe uzdatnianie wody było obciążenie hydrauliczne osadnika pionowego. Stosując prędkość przepływu 0,3+0,35 mm/s oraz optymalne dawki koagulantu otrzymano maksymalnie 18-godzinny czas trwania cyklu filtracyjnego. Odpiływ z osadnika zawierał drobne kłaczkę osadu oraz cząstki koloidalne wywołujące mętność wody. Zmniejszenie prędkości przepływu w osadniku do 0,2 mm/s pozwoliło na otrzymanie 24-godzinnego cyklu filtracji (tab. 3).

Stwierdzono także, że decydujący wpływ na efekty uzdatniania wody wywierała wielkość dawki siarczanu glinu, a nie korekta pH. Korekta odczynu wody surowej kwasem siarkowym nie przyczyniła się do obniżenia dawki koagulantu, jak to miało miejsce w testach laboratoryjnych. Utrzymując ustalone parametry procesu flokulacji (czas 30 min i prędkość przepływu w osadniku 0,2 mm/s), wymagany 24-godzinny cykl filtracyjny otrzymano dla prędkości 6 m/h. Zwiększanie prędkości filtracji powodowało skracanie cyklu filtracyjnego.

Zastosowanie chlorowanego siarczanu żelaza (II) w układzie koagulacji konwencjonalnej nie wywołało istotnych zmian w efektach uzdatniania wody. Przy optymalnych dawkach koagulantu w komorze flokulacji powstawały duże kłaczkę. Jeżeli prędkość przepływu w osadniku była wyższa niż 0,2 mm/s, to uzyskanie 24-godzinnego cyklu filtracyjnego nie było możliwe. Nawet duże i pozornie trwałe kłaczkę wodorotlenku żelaza (III) ulegały rozbiłaniu podczas przepływu z komory flokulacji do osadnika. Ponadto

Tabela 3. Wyniki uzdatniania wody metodą koagulacji konwencjonalnej (czas flokulacji 30 min, prędkość przepływu wody w osadniku 0,2 mm/s, prędkość filtracji 6 m/h, czas trwania cyklu filtracyjnego 24 h, straty ciśnienia filtracyjnego 2,8 m)

Parametr	Jednostka	80 gAl ₂ (SO ₄) ₃ · 18 H ₂ O/m ³			80 gFeClSO ₄ /m ³		
		Woda					
		surowa	po osadniku	po filtrze	surowa	po osadniku	po filtrze
Temperatura	°C	8+10	8+10	8+10	8+10	8+10	8+10
Barwa	g/m ³	20+40	10+12	5	20+40	10+30	5
Mętność	g/m ³	15+20	4+5	0	15+20	3+4	0+1
Zapach	–	z3R (rybi)	0+ z1R	0	z3R	0	0
pH	–	8,8+8,9	7,0+7,2	7,1+7,2	8,8+8,9	7,3+7,4	7,5+7,7
Kwasowość	val/m ³	0	0,3+0,4	0,3	0	0,1+0,15	0,05+0,1
Zasadowość	val/m ³	2,5+2,6	1,9+2,1	1,9+2,1	2,5+2,6	2,4+2,5	2,5+2,6
Utleniaelnosc	gO ₂ /m ³	7,5+8,4	3,4+3,8	2,8+3,2	7,5+8,4	3,4+4,2	2,4+3,9
Glin	gAl/m ³	0,002	0,74+0,96	0,04+0,06	–	–	–
Żelazo	gFe/m ³	–	–	–	0,15+0,18	1,6+1,8	0+0,1
Plankton	org/cm ³	3.280+4.320	820+860	32+40	3.280+4.320	67+92	28+37
CO ₂ agresywny	g/m ³	0	9,8+11,9	8,6+9,8	0	0,4+1,5	0

Tabela 4. Wyniki uzdatniania wody metodą koagulacji kontaktowej w klarowniku (dawka koagulantu 100 gFeClSO₄/m³, prędkość przepływu wody w klarowniku 0,6 mm/s, dawka wapna 20 gCaO/m³, prędkość filtracji 5,5 m/h, czas trwania cyklu filtracyjnego 24 h, straty ciśnienia filtracyjnego 2,2 m)

Parametr	Jedn.	Woda		
		surowa	po klarowniku	po filtrze
Temperatura	°C	9+10	9+10	9+10
Barwa	gPt/m ³	25+30	5+ 8	2+ 5
Mętność	g/m ³	10+15	4+ 6	0+ 1
Zapach	—	z3R (rybi)	0 + z1R (rybi)	0
pH	—	8,6+ 8,7	6,8+ 6,9	7,2+ 7,3
Kwasowość	val/m ³	0	0,3+ 0,4	0,1+ 0,5
Zasadowość M	val/m ³	2,5+ 2,6	1,8+1,9	2,0+ 2,2
Zasadowość F	val/m ³	0,1+ 0,5	0	0
Utlenialność	gO ₂ /m ³	8,8+ 9,4	4,2+ 4,4	3,6+ 3,7
Żelazo	gFe/m ³	0,2+ 0,3	2,7+ 2,9	0
Plankton	org/cm ³	1,500+ 1,800	14+ 2,0	3 +12
CO ₂ agresywny	g/m ³	0	9,7+ 13,6	1,4+ 4,0

to przy niskim pH wody (6,5+7,0) już po 8 godzinach filtracji stwierdzono podwyższoną zawartość żelaza w filtracie. Wykonane różne warianty uzdatniania w badanym układzie wykazały, że przed procesem filtracji woda musi być alkalizowana wapnem lub wodorotlenkiem sodu. Związanie agresywnego dwutlenku węgla, a tym samym podwyższenie pH wody do wartości około 7,5 umożliwiło uzyskanie wymaganego cyklu filtracji. Zawartość żelaza po filtrach utrzymywała się w ilościach mniejszych od 0,3gFe/m³, barwa nie przekraczała 5 gPt/m³, a mętność wynosiła maksymalnie 1 g/m³ (tab. 3). Uznano jednak, że ustalona w badaniach maksymalna prędkość przepływu wody w osadniku wynosząca 0,2 mm/s jest zbyt mała, aby metodą koagulacji konwencjonalnej proponować do zastosowania w skali technicznej dla uzdatniania badanej wody.

Koagulacja kontaktowa

Na podstawie badań w skali laboratoryjnej stwierdzono, że po rozbiciu kłaczków wodorotlenku żelaza (III) nie zachodzi ich wtórna flokulacja. Stąd też wytworzone kłaczkiki nie powinny być poddawane transportowi hydraulicznemu, nawet z prędkościami przepływu wody uznanymi za dopuszczalne dla zawiesin pokoagulacyjnych. Dlatego do badań w skali ułamkowo-technicznej zastosowano klarownik, który eliminował transport wytwarzanych kłaczków. Uzdatnianie wody w klarowniku i na filtrach pospiesznych prowadzono przy użyciu optymalnych dawek chlorowanego siarczanu żelaza (II). W klarowniku powstawały duże kłaczkiki wodorotlenku żelaza (III), które tworzyły warstwę osadu zawieszzonego. Pomimo to, nawet przy prędkości przepły-

wu wody w klarowniku 0,6 mm/s, warstwa osadu nadmiernie zagęszczała się, tworząc charakterystyczne kanały.

Analizy wody odprowadzanej z klarownika wykazały, że proces uzdatniania zachodził prawidłowo. Równocześnie z obniżeniem barwy i mętności wody stwierdzono znaczne zmniejszenie zawartości planktonu (tab.4). Aby utrzymać 24-godzinny cykl filtracji konieczne było dawkowanie wody wapiennej lub wodorotlenku sodowego przed filtrem. Związanie agresywnego dwutlenku węgla i podwyższenie pH wody do 7,3+7,5 wydłużyło czas trwania cyklu filtracyjnego. Przy niższym odczynie, pomimo takiej samej jakości wody odprowadzanej z klarownika, straty ciśnienia filtracyjnego zwiększały się szybciej.

Otrzymane wyniki pozwalają uznać koagulację kontaktową i filtrację pospieszną za realny sposób oczyszczania wody ze zbiornika w Kozłowej Górze.

Wnioski

1. Przeprowadzone badania potwierdziły konieczność doświadczalnego określania metody uzdatniania wody powierzchniowej w skali ułamkowo-technicznej.
2. Podczas stosowania do koagulacji chlorowanego siarczanu żelaza (II), alkalizacja wody przed procesem filtracji powoduje wydłużenie cyklu filtracyjnego.
3. Wyniki badań wykazały, że metoda koagulacji kontaktowej w klarowniku jest w tym wypadku lepszym rozwiązaniem technologicznym niż koagulacja konwencjonalna.

LITERATURA

1. J. PIEGSA, W. SAWINIĄK, M. SOBCZYK: Uwagi dotyczące metody ustalania wytycznych technologicznych dla procesów uzdatniania wody. Mat.konf. "Problemy ochrony wód i oczyszczania ścieków". PZITS, Katowice, 1973, ss. 143-158.
2. W. SAWINIĄK, J. PIEGSA, M. SOBCZYK: Badania technologiczne uzdatniania wody powierzchniowej dla potrzeb ROW-u. Mat.konf. "Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi". PZITS, Poznań, 1976, ss. 150-159.
3. J. PIEGSA, W. SAWINIĄK, M. SOBCZYK: Zastosowanie klarowników do odżelaziania i odmanganiania wód podziemnych. Mat.konf. "Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej". PZITS, Częstochowa, 1981, ss 66-71.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE WATER TREATMENT TECHNOLOGY FOR A DAM RESERVOIR

Technological investigations were carried out to find an efficient method for the treatment of a dam reservoir with the aim of making its water fit for drinking purposes. In the past few years the water quality in the reservoir has deteriorated noticeably. There have been episodes with increased colour and turbidity (50 gPt/m³ and 30 g/m³, respectively), intensive blooming and concomitant malodour (up to z5S in terms of Polish Standards), and high permanganate COD (up to 24 gO₂/m³). For the purpose of design, and also for the development of the existing Water Treatment Plant, Technological investigations were carried out for the choice of an

effective treatment method. Laboratory and pilot-scale experiments were run direct at the water intake. Coagulation (with alum or chlorinated ferrous sulphate) was carried out in a conventional and in a sludge blanket system. The investigations led to the following findings: Chlorinated ferrous sulphate was a better coagulant than alum; the optimum coagulant dose varied from 60 to 100 gFeClSO₄/m³; the sludge blanket system was more effective than the conventional one; prior to the filtration process, the water under treatment should be alkalized with lime, thus providing 24-hour filtration cycles.