

Henryk Dera

DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACYJNE W UZDATNIANIU WÓD PODZIEMNYCH O DUŻEJ ZAWARTOŚCI ZWIĄZKÓW ŻELAZA I MANGANU

Z doświadczeń eksploatacyjnych zakładów wodociągowych wynika, że w wodzie uzdatnionej najczęściej przekraczane są dopuszczalne stężenia żelaza i manganu. Przyczyną tego stanu jest stosowanie niewłaściwych metod i urządzeń do odżelaziania i odmanganiania wody. Projektanci często dopasowują urządzenia technologiczne do procesów odżelaziania i odmanganiania wody, poprzez analogię do istniejących zakładów wodociągowych, rezygnując z indywidualnych badań technologicznych.

Konsekwencje długo-rwałego i znacznego przekraczania stężenia żelaza i manganu w wodzie uzdatnionej, są bardzo poważne, szczególnie dla sieci wodociągowej.

Na przykładzie długoletnich doświadczeń eksploatacyjnych dwóch stacji wodociągowych w Oświęcimiu omówiono efekty uzdatniania wód podziemnych (silnie zanieczyszczonych związkami żelaza i manganu) w urządzeniach technologicznych typu otwartego.

Charakterystyka ogólna stacji wodociągowych

Oświęcim zaopatrywany jest w wodę do picia z dwóch stacji wodociągowych, których budowę rozpoczęto w okresie okupacji. Jedna ze stacji przeznaczona była dla potrzeb Kombinatu Chemicznego natomiast druga, której budowy nie dokończono, przeznaczona była dla byłego obozu koncentracyjnego. Ujęcia obu stacji oparte są na studniach wierconych, bazujących na jednym poziomie wodonośnym, związanym z utworami czwartorzędowymi. Warstwę wodonośną stanowią żwiry piaszczyste z otoczkami, które zalegają na nieprzepuszczalnej warstwie iłów miocenkich. Poziom wodonośny ujęć jest zasilany wodami powierzchniowymi Soły i Wisły na drodze infiltracji, zwłaszcza przy wysokich stanach wody. Ujmowane wody charakteryzują się dużą zawartością związków żelaza i manganu oraz agresywnego CO_2 .

W latach 60, stacje zostały rozbudowane i przystosowane dla potrzeb rozbudowującego się miasta i przemysłu. Stacjom nadano umowne nazwy eksploatacyjne; „Zasole” i „Zaborze”,

które pochodzą od nazw dzielnic, w których są zlokalizowane. Łączna wydajność stacji wynosi obecnie około 22 tys. m^3/d .

Stacja wodociągowa „Zaborze”

Ujęcie składa się z 13 studni wierconych o głębokości od 10 do 27 m, o łącznej wydajności średnio 8 tys. m^3/d . Warstwę wodonośną stanowią żwiry piaszczyste o miąższości od 4 do 14 m, średnio 8,80 m. Zwierciadło wody ma charakter napięty, a tylko lokalnie swobodny. Napięcie zwierciadła wody powoduje, zalegający w stropie warstwy wodonośnej, ciągły kompleks utworów słabo przepuszczalnych, złożony z iłów, glin i mułków o miąższości od 3 do 20 m. Warstwa ta w sposób zasadniczy chroni wody podziemne w rejonie ujęcia od zanieczyszczeń zewnętrznych.

Skład bakteriologiczny ujmowanej wody nie budził i nadal nie budzi zastrzeżeń. Woda nadaje się do picia bez dezynfekcji. Pod względem fizyczno-chemicznym, wody te charakteryzują się nadmierną ilością związków żelaza i manganu oraz agresywnego CO_2 i siarkowodoru. Maksymalne ilości stwierdzone w niektórych studniach wynoszą: 18 mg Fe/dm^3 , 14 mg Mn/dm^3 i 80 mg CO_2/dm^3 .

Studnie wiercono w latach 1942—44 (6 sztuk) oraz w latach 1957—61 (7 sztuk). Studnie z okresu okupacji posiadają rury filtrowe, pod- i nadfiltrów z rur kamionkowych $\varnothing$ 500 mm, natomiast pozostałe studnie z rur stalowych $\varnothing$ 300 i $\varnothing$ 500 mm.

Woda z poszczególnych studni tłoczona jest do stacji uzdatniania podwodnymi agregatami pompowymi typu G80IVB, o wydajności $Q = 250—800 \text{ dm}^3/\text{min}$ i wysokości podnoszenia do 60 m sł. w.

W ostatnich latach stwierdzono spadek wydajności ujęcia, głównie z powodu kolmatacji studni oraz korozji rurociągów żeliwnych. W związku z tym, w latach 1982—84 przeprowadzono chemiczną renowację studni oraz rozpoczęto wymianę skorodowanych rur żeliwnych na rury PCW.

Usuwanie z wody żelaza, manganu, dwutlenku węgla i siarkowodoru odbywa się w procesach napowietrzania, sedimentacji i filtracji na urządzeniach typu otwartego. Proces odżelaziania i odmanganiania wody sprowadza się do przeprowadzenia związków żelaza i manganu dwu-

wartościowego do wodorotlenków żelazowego i manganowego, które wytrącają się w postaci nierozpuszczalnych osadów. Związki manganu w wodzie są bardziej trwałe i nie ulegają tak łatwo hydrolizie, jak sole żelazowe. Zasadnicze usuwanie manganu, odbywa się dopiero w procesie filtracji. Napowietrzanie wody w stacji „Zaborze” odbywa się w wolnostojącym odżelaziaczu otwartym, który składa się z części nadziemnej i podziemnej. Część nadziemną stanowią 4 komory napowietrzania o łącznej powierzchni 72 m², z systemem rur i dysz rozbryzgowych. W każdej komorze znajduje się 25 dysz. Obciążenie hydrauliczne dysz jest równomierne i wynosi około 1,0 dm³/s=3,6 m³/h, przy wysokości rozbryzgu od 2,0 do 2,2 m. Napowietrzona woda spada na podwójny ruszt ociekowy, wykonany z belek żelbetowych, a następnie spływa do czterech osadników sedymentacyjnych, znajdujących się w części podziemnej odżelaziacza. Łączna objętość czynna osadników wynosi 400 m³, co zapewnia czas przetrzymania wody około 1,0 godziny. Odżelaziacz wyposażony jest w system żaluzji stałych, usytuowanych w dolnej i górnej części budynku. Odpływ wody z komór sedymentacyjnych na filtry odbywa się grawitacyjnie, dwoma rurociągami żeliwnymi ϕ 300 mm. Spust osadu, z osadników do odstojnika wód popłucznych z płukania filtrów, odbywa się dwa razy w roku. Ilość uwodnionego osadu szacuje się na około 100 m³/a. Podkreślić należy, że w okresie zimy (przy ujemnych temperaturach) urządzenie do napowietrzania wody typu otwartego pracuje normalnie i nie sprawia większych kłopotów eksploatacyjnych.

Woda po napowietrzaniu i sedymentacji zawiera jeszcze związki żelaza i manganu, znaczną ilość zawieszin, dużą mętność i barwę. Usuwanie tych wskaźników odbywa się na filtrach pospiesznych typu otwartego. Budynek filtrów jest obiektem wolnostojącym, zblokowanym i wielofunkcyjnym. Składa się z hali filtrów, zbiornika wody czystej pod filtrami, pompowni II stopnia i pompowni do płukania filtrów. Filtry pospieszne składają się z czterech komór o wymiarach 13,0×3,0 m każda, co daje łączną powierzchnię 155 m². Warstwę filtracyjną stanowi piasek kwarcowy o wymiarach od 0,50 do 1,50 mm, przy wymiarze czynnym $d_{10}=0,7$ mm. Grubość warstwy filtracyjnej wynosi 1,20 m. Warstwa wody nad złożem wynosi od 0,20 do 0,25 m. Eksploatacyjna szybkość filtracji utrzymywana jest w granicach od 2,5 do 3,0 m/h. Złoże filtracyjne ułożone jest na drenażu składającym się z dysz porcelanowych, wkręcanych do elementów płyty dennej. Płukanie filtrów odbywa się co 4 dni przy użyciu wody i powietrza. Zużycie wody do płukania wynosi około 200 m³, co odpowiada intensywności płukania około 8 dm³/m²s.

Efekty uzdatniania wody w stacji wodociągowej, w procesach napowietrzania, sedymentacji i filtracji przedstawiono w tabeli 1. Na szczególną uwagę zasługuje dobre usuwanie żelaza i manganu, które przez wiele lat eksploatacji „Zaborza” było zawsze skuteczne.

Tabela 1

EFEKTYWNOŚĆ UZDATNIANIA WODY Z UJĘCIA „ZABORZE”
(wartość min i max z lat 1965—1984)

Wskaźnik	Woda surowa zmieszana z 13 stud. wierconych		Uzdatnianie wody			
			Wowa po na- powietrz. i se- dymentacji		Wowa po na- powietrzaniu, sedymentacji i filtracji	
	min	max	min	max	min	max
Mętność mg/dm ³	5	10	20	25	1	2
Barwa mgPt/dm ³	25	10	90	100	5	15
pH	6,7	7,3	7,2	7,5	7,2	7,5
Amoniak mgN/dm ³	09	1,3	0,60	1,0	0,02	0,04
Żelazo ogólne mgFe/dm ³	7,0	10,5	5,20	7,0	0,05	0,30
Mangan mgMn/dm ³	0,55	0,80	0,40	0,50	0,00	0,05
Twardość ogólna mval/dm ³	3,30	5,10	3,20	5,00	3,00	4,30
Zasadowość mval/dm ³	4,00	4,30	3,50	4,10	3,50	4,00
Siarkowodor mgH ₂ S/dm ³	1,0	1,3	0,07	0,10	0,00	0,00
CO ₂ wolny mgCO ₂ /dm ³	44,0	48,0	13,2	15,0	8,8	10,0
CO ₂ agresywny mgCO ₂ /dm ³	35,0	39,0	10,0	12,0	3,5	5,0

Stacja wodociągowa „Zasole”

Ujęcie tzw. „stare” układa się z 10 studni wierconych, o głębokości 9—13 m. Warstwę wodonośną stanowią drobne i grube piaski zapyłone oraz żwiry z otoczakami, w różnym stopniu zaglinione i silnie zażelazone i zamanganiane. Miąższość warstwy wodonośnej wynosi około 6,0 m. Na poziom wód gruntowych mają wyraźny wpływ Soła i Wisła. Pod względem chemicznym, wody ujęcia charakteryzują się również nadmierną ilością związków żelaza, manganu i agresywnego CO₂. Ujęcie i stacja uzdatniania zaprojektowane były na wydajność 100 dm³/s. Na uwagę zasługuje fakt, że w okresie okupacji wodę z ujęcia o tak złym składzie chemicznym i właściwościach organoleptycznych tłoczono bez uzdatniania do obozu koncentracyjnego z przeznaczeniem do picia i potrzeb socjalnych.

W roku 1955 uruchomiono tylko 4 studnie o największej wydajności oraz ukończono budowę stacji uzdatniania. W okresie 1955—62 wydajność ujęcia wynosiła 30 dm³/s=2500 m³/d. Po wybudowaniu nowego ujęcia opartego na wodach infiltracyjnych Soły, eksploatację „starego ujęcia” zaniechano w roku 1965, z powodu złej jakości wody i spadku wydajności. Przez okres 3 lat od uruchomienia tzw. „Starego ujęcia” z czterema studniami wierconymi, uzdatnianie wody polegało na: napowietrzaniu, sedymentacji i filtracji na urządzeniach typu otwartego. Efekty uzdatniania w tym okresie były niezadowalające, szczególnie we wskaźnikach: żelazo, mangan i CO₂ agresywny. Właściwe efekty uzdatniania uzyskano dopiero po wprowadzeniu procesu alkalizacji wody przy użyciu tlenku wapnia. W tabeli 2 przedstawiono wyniki analiz wody po poszczególnych etapach jej uzdatniania.

Tabela 2
EFEKTYWNOŚĆ UZDATNIANIA WODY Z UJĘCIA „ZASOLE”
(wartości średnie z lat 1956—1966)

Wskaźnik	Woda surowa zmięszana z 4 studni wierconych	Uzdatnianie wody		
		woda po napow. i se- dym. i fil- tracji	woda po napow. se- dym. i fil- tracji	woda po alkalizacji, napow., se- dym. i fil- tracji
Mętność mg/dm ³	10	80	15	2
Barwa mgPt/l	10	30	15	5
pH	6,4	6,6	6,5	7,1
Utlenialność mgO ₂ /dm ³	4,0	2,5	1,7	1,5
Amoniak mgN/dm ³	0,20	0,10	0,08	0,05
Żelazo ogólne mgFe/dm ³	17	8,7	1,80	0,15
Mangan mgMn/dm ³	2,80	2,3	1,60	0,10
Twardość ogólna mval/dm ³	2,8	2,7	2,5	2,5
Zasadowość mval/dm ³	14,5	11,5	8,8	8,0
CO ₂ wolny mgCO ₂ /dm ³	55	29	18	0,0
CO ₂ agresywny mgCO ₂ /dm ³	48	21	14	0,0

Zakład posiadał projekt techniczny alkalizacji wody przy użyciu wapna hydratyzowanego z kompletem typowych urządzeń. Z uwagi na to, że alkalizacja miała być czynna, do czasu wybudowania nowego ujęcia, tj. na okres 5—6 lat zrezygnowano z zakupu i zabudowy typowych urządzeń. Autor zastosował uproszczone rozwiązanie, które polegało na zainstalowaniu zbiornika stalowego o objętości 1,5 m³, w którym przygotowywany był roztwór nasycony z wapna hydratyzowanego. Roztwór ten dozowano w postaci wody wapiennej iniektorem do rurociągu tłocznego z ujęcia do napowietrzacza. Dawka wapna ustalona była laboratoryjnie i wynosiła 20 mg/dm³, co odpowiadało zużyciu około 50 kg wapna hydratyzowanego na dobę. Zastosowanie CaO do alkalizacji wody wpłynęło w sposób zasadniczy na usuwanie żelaza, manganu i agresywnego CO₂ (tab. 2). Urządzenie do alkalizacji wody było proste i niekłopotliwe w eksploatacji. Czynne było przez 6 lat. Budynek napowietrzenia z osadnikami stanowił jeden wydzielony obiekt z zespoleonego budynku stacji uzdatniania wody. Napowietrznica-odżelaziacz typu otwartego wyposażony jest w system rurociągów rozdzielczych Φ 200 mm z odgałęzieniami Φ 50 mm, na których zainstalowano dysze typu „Kortinga” w ilości 40 sztuk. Wysokość rozbryzgu wody wynosiła około 2,0 m, a obciążenie hydrauliczne 1 dyszy około 2,5 m³/h. Woda po napowietrzeniu spływała do osadnika, który znajduje się pod napowietrznikiem. Osadnik posiada dwie oddzielne komory o wymiarach 5,0 m szerokości, 20 m długości i 4,5 m głębokości czynnej, co daje łączną objętość 800 m³. Dla wydajności ujęcia 30 dm³/s, czas przetrzymania w osadniku wynosił 5 godz. W okresie eksploatacji wykonywano badania efektów sedimentacji przy wyłączeniu 1 osadnika, wówczas czas przepły-

wu zmalał do 2,5 godz., lecz efekty były również dobre. Woda po alkalizacji, napowietrzeniu i sedimentacji przepływa grawitacyjnie na filtry pospieszne typu otwartego. Filtry składają się z 6 komór o wymiarach 4,0×6,5=26 m². Płyty denne komór filtra składają się z elementów żelbetowych o wymiarach 1×0,6 m. W otwory tych elementów wkręcone są dysze porcelanowe w ilości 1400 szt. w każdej komorze. Zasadniczą warstwę filtracyjną stanowi piasek kwarcowy o wymiarze od 0,50 do 1,5 mm. Grubość warstwy wynosi 1,10 m. Eksploatacyjna prędkość filtracji wynosiła 2,5 m/h. Płukanie filtrów odbywało się co 3 dni, przy użyciu wody i powietrza. Woda po filtrze odpływa korytem do zbiornika wody czystej, który jest zlokalizowany na zewnątrz budynku. Podczas eksploatacji ujęcia i stacji uzdatniania wody z zastosowaniem procesów alkalizacji, napowietrzenia, sedimentacji i filtracji, uzyskiwano zawsze dobre wyniki usuwania żelaza, manganu, agresywnego CO₂ i innych wskaźników składu wody do picia. Woda była dezynfekowana podchlorynem sodowym.

Wnioski

1. Proces odżelaziania i odmanganiania wód podziemnych w praktyce łączy się zwykle z usuwaniem innych związków występujących w wodzie, dlatego każdą ujmowaną wodę należy traktować indywidualnie i na etapie projektowania urządzeń do jej uzdatniania konieczne są badania technologiczne.
2. Na podstawie długoletnich doświadczeń eksploatacyjnych dwóch stacji wodociągowych w Oświęcimiu potwierdza się teza, że wody podziemne, zawierające nadmierne ilości związków żelaza i manganu oraz agresywnego CO₂ należy uzdatniać przez alkalizację, napowietrzenie, sedimentację i filtrację w urządzeniach typu otwartego.
3. W procesie uzdatniania wód podziemnych, zawierających nadmierne ilości żelaza i manganu, dużą rolę odgrywa sedimentacja w czasie min. 1 godz. Proces ten wpływa na wydłużenie cyklu pracy filtrów pospiesznych.
4. Urządzenia technologiczne typu otwartego do usuwania dużych ilości żelaza i manganu (tj. ≥ 10 mg Fe/dm³) dają lepsze efekty w uzdatnianiu oraz są łatwiejsze i tańsze w eksploatacji, w porównaniu z urządzeniami typu zamkniętego.
5. Wody podziemne, charakteryzujące się dużą ilością agresywnego CO₂ winny posiadać urządzenia technologiczne wykonane z materiałów odpornych na korozję (np. studnie wiercone winny posiadać rury filtrowe, nad- i podfiltrów z kamionki lub mas plastycznych, natomiast rurociągi lewarowe, tłoczne i technologiczne wewnątrz odżelaziaczy powinny być wykonane z mas plastycznych).
6. Studnie wiercone, które uległy kolmatacji na skutek wytrącenia się nadmiernych ilości związków żelaza i manganu nadają się do chemicznej renowacji, która przywraca im wydajność do 80% wydajności początkowej.

H. Dera

Experience gathered during operation of water works treating groundwater with high iron and manganese compounds concentration

Although the mechanism of iron manganese removal is well understood, engineering practice shows that

the effluent concentrations of both the compounds are in the majority of events higher than the admissible levels. In this paper, the experience gathered from many years' operation of two water works of Oświęcim is analyzed. Information is provided on how to achieve good treatment efficiencies when the groundwater to be treated contains large quantities of iron, manganese and aggressive carbon dioxide. The technological systems applied are described and the results of analyses are discussed in detail.