

Iwona Lasocka-Gomuła, Agata Maciołek, Tomasz Jankowski

Możliwość przyspieszenia procesu wpracowania złóż filtracyjnych do usuwania manganu na przykładzie stacji oczyszczania wody w Mosinie

Stacja oczyszczania wody w Mosinie jest największym zakładem produkującym wodę dla aglomeracji poznańskiej. Maksymalna przepustowość stacji została zaprojektowana na 150 tys. m³/d, natomiast jej obecna produkcja (po modernizacji filtrów pospiesznych) utrzymuje się na poziomie 70+80 tys. m³/d. W 2003 r. rozbudowano ujęcie „Mosina”, wykonując trzy stawy infiltracyjne wraz z barierą 11 studni. W ten sposób włączono do ujęcia kolejne źródło wody, które różni się od pozostałych składem chemicznym (szczególnie pod względem zawartości związków żelaza i manganu). Duży wpływ na jakość ujmowanych wód ma w sposób naturalny Warta, z której woda infiltruje do studni zlokalizowanych w obszarze tarasu zalewowego oraz studni promienistej zlokalizowanej pod dnem rzeki. Ma ona również wpływ na kształtowanie się leja depresyjnego zasobów wód podziemnych znajdujących się w tarasie nadzalewowym oraz ujęcia „Sowiniec”, co można obserwować na podstawie zawartości substancji rozpuszczonych (głównie siarczanów i chlorków) oraz twardości wody. Ujmowana woda jest trudna do oczyszczenia, głównie z uwagi na podwyższoną zawartość rozpuszczonych drobnych frakcji substancji organicznych. Charakterystykę jakości ujmowanej wody przedstawiono w tabeli 1.

Propozycja zmian w technologii oczyszczania wody

Unowocześnienie technologii oczyszczania wody oraz rozbudowa stacji w Mosinie była konieczna nie tylko z uwagi na wzrastające wymagania dotyczące jakości wody do picia, ale także ze względu na budowę autostrady A2 w Poznaniu, która wyłączyła z eksploatacji część ujęcia „Dębina”. Ograniczyło to wydajność stawów infiltracyjnych tego ujęcia, zaopatrujących w wodę surową stację „Wiśniowa” w Poznaniu. W przyszłości nowy układ technologiczny na stacji w Mosinie będzie rozpoczynał się od węzła mieszania wód ujmowanych z poszczególnych źródeł. Proporcja mieszania wód jest istotną wskazówką do wyboru technologii oczyszczania, ponieważ udział poszczególnych wód surowych w decydujący sposób wpływa na skład chemiczny wody zmieszanej poddawanej oczyszczaniu. Jako podstawowe kryterium propozycji mieszania wód autorzy badań pilotowych przyjęli te parametry, które w technologii pozostają niezmiennione. Na tej podstawie określono, że najkorzystniejszy stosunek wód infiltracyjnych do wód powierzchniowych wynosi 2:1. Docelowy układ technologiczny oczyszczania wody, który został przyjęty na podstawie przeprowadzonych kilkuletnich badań pilotowych, jest następujący:

- ujęcie,
- węzeł mieszania wód,
- napowietrzanie kaskadowe,
- komora reakcji I^o,
- dawkowanie węgla pylistego,
- komora reakcji II^o,
- filtracja przez złoża antracytowo-piaskowe,
- ozonowanie,
- komora odgazowania,
- filtracja przez złoża węgla aktywnego,
- dezynfekcja dwutlenkiem chloru na wyjściu ze stacji,
- dezynfekcja chlorem za zbiornikiem retencyjnym (na wejściu do sieci).

Prace wykonane przed modernizacją filtrów pospiesznych

Przed przebudową filtrów złożo pracowało przez wiele lat usuwając z wody duże ilości żelaza (2+5 gFe/m³) i manganu (0,5+0,8 gMn/m³). W celu sprawdzenia, czy porośnięte złożo można wykorzystać jako warstwę uaktywnioną w świeżym złożu, przeprowadzono badania w skali pilotowej, które wykazały, że ziarna złoża po długoletniej eksploatacji podczas płukania układają się na powierzchni złoża, a nie pozostają w dolnej części filtru, w której zachodzi proces usuwania związków manganu z wody. W celu zachowania bezpieczeństwa produkcji wody o dobrej jakości i przed przystąpieniem do robót wykonawczo-budowlanych stare złożo wymieniono na nowe w 10 filtrach. Nowe (wpracowane) złożo w dalszej kolejności zostało wykorzystane jako warstwa uaktywniona o miąższości 70 cm do docelowych filtrów antracytowo-piaskowych.

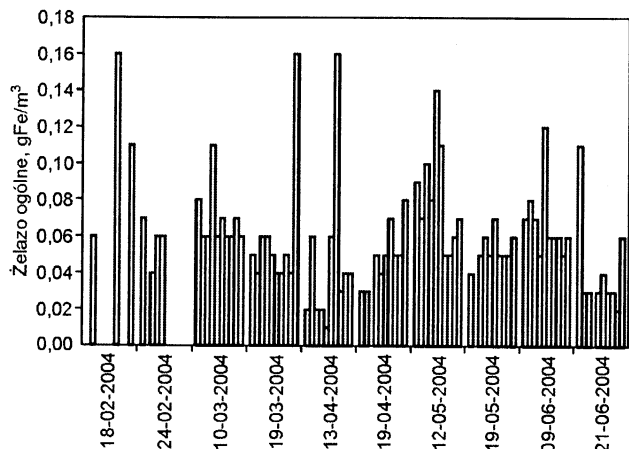
W 2004 r. realizując etapowo modernizację stacji rozpoczęto przebudowę dwóch budynków filtrów pospiesznych (każdy budynek mieści 10 filtrów o łącznej powierzchni 320 m²). Połowa filtrów (1–10) została poddana przebudowie, wymieniono w nich drenaże filtracyjne, a jednowarstwowe złoża piaskowe zastąpiono dwuwarstwowymi, antracytowo-piaskowymi. W trakcie prowadzonych prac modernizacyjnych cały ciężar produkcji wody (45+55 tys. m³/d) przejęły pozostałe filtry (10), pracujące przy zwiększonej prędkości filtracji. Charakterystykę złóż filtrów 11–20 przed przystąpieniem do modernizacji zawiera tabela 2. Założono, że zastosowanie 20 cm warstwy aktywnego złoża, bądź masy Hydrolyt Mn, zapewni całkowite usunięcie związków manganu oraz skróci czas wpracowania złóż.

Tabela 2. Charakterystyka jakości wody z poszczególnych ujęć w latach 1994–2004

Wskaźnik, jednostka	Studnia promienista		Taras zalewowy		Taras nadzalewowy		Ujęcie „Sowiniec”	
	1994–1998	1999–2004	1994–1998	1999–2004	1994–1998	1999–2004	1994–1998	1999–2004
Barwa, gPt/m ³	23,5	21,5	22,7	22,6	29,9	27,6	27,5	23
pH, –	7,68	7,57	7,70	7,59	7,49	7,37	7,46	7,34
Twardość ogólna val/m ³	4,8	4,6	5,1	5,0	8,9	9,4	7,8	7,9
Wolny dwutlenek węgla, gCO ₂ /m ³	9,6	8,8	–	–	22,2	24,2	19,68	21,70
Azot amonowy, gNH ₄ ⁺ /m ³	0,22	0,05	0,25	0,11	0,26	0,21	0,36	0,22
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,15	0,15	1,31	0,57	7,14	5,32	5,04	4,0
Mangan, gMn/m ³	0,17	0,22	0,47	0,45	0,65	0,76	0,51	0,50
Substancje rozpuszczone, g/m ³	374	367	383	384,5	649	683	553,2	561,1
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	65,6	62,2	68,1	61,9	167	195	131,2	146,5
Utlenialność, gO ₂ /m ³	6,3	5,2	5,3	5,1	4,9	4,7	4,0	3,7
Fenole, g/m ³	0,005	0,007	–	–	–	–	–	0,003
Detergenty, g/m ³	0,01	0,04	–	–	–	–	0,00	0,08
Bakterie grupy coli typu kałowego w 100 cm ³	37	3	11	4	nw.	nw.	nw.	nw.

Napowietrzanie i odżelazianie wody

Zakres modernizacji stacji, zrealizowany w 2004 r., nie obejmował zmiany procesu napowietrzania wody oraz budowy komory reakcji II^o. Obecny system zostanie docelowo zastąpiony kaskadą napowietrzającą z odgazowaniem wody. W eksploatowanych urządzeniach po napowietrzaniu i procesach zachodzących w komorze reakcji udział żelaza(II) wynosi jeszcze ponad 30%. Proces utleniania związków żelaza(II) podczas napowietrzania przebiega stosunkowo wolno i zachodzi głównie w złożu filtrów pospiesznych. Szybkość tworzenia kłaczków żelaza (Fe(OH)₃) w zbiornikach reakcji jest niewielka i dlatego powstają one dopiero głęboko w złożach filtrów. Dodatkowa obecność w wodzie dużych ilości manganu(II) powoduje intensywne obrastanie ziaren piasku tlenkami manganu(IV). W celu uzyskania w wodzie dopływającej do filtrów pospiesznych żelaza w postaci zawiesiny łatwych do odfiltrowania przeprowadzono badania pilotowe, których pożądanym efektem otrzymano dopiero w wyniku wymieszania wód surowych, zastosowania kaskadowego, wysoce efektywnego, procesu napowietrzania oraz przez wydłużenie czasu przetrzymania wody w komorach reakcji I^o i II^o. Nowe złoża filtracyjne, niezależnie od rodzaju zastosowanej warstwy aktywnej, usuwało żelazo praktycznie od chwili włączenia do eksploatacji (rys. 1). Jednakże proces tworzenia zawiesiny



Rys. 1. Zawartość żelaza w wodzie po poszczególnych filtrach (kolejne słupki w poszczególnych dniach odpowiadają filtrom 11–20)

wodorotlenku żelaza bez zmiany proponowanej technologii, czyli zmiany procesu napowietrzania i zwiększenia czasu zatrzymania wody w komorach reakcji, nadal zachodził w złożu.

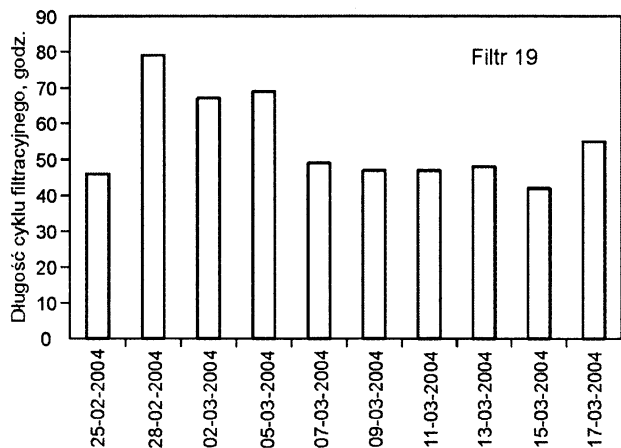
Odmanganianie wody

Związki manganu(II) występują w wodach infiltracyjnych w ilości średnio 0,5 gMn/m³, przy czym największą ich zawartością charakteryzują się wody tarasu nadzalewowego (maks. do 1,0 gMn/m³). Świeży piasek filtracyjny nie usuwa skutecznie manganu z wody, gdyż proces odmanganiania wymaga czasu na wpracowanie złoża, który najczęściej trwa 3–6 miesięcy. Skuteczność procesu odmanganiania jest uzależniona od kilku czynników, takich jak zawartość jonów Mn(II) w wodzie surowej, zawartość tlenu rozpuszczonego, pH oraz stopnia wpracowania złoża. Filtry w stacji „Mosina” charakteryzują się wysoką miąższością złoża, która wraz z warstwą podtrzymującą wynosi 2 m. Jest to podyktowane jakością wody surowej, a przede wszystkim wysoką zawartością związków manganu i żelaza. W celu skrócenia czasu potrzebnego do osiągnięcia wymaganej skuteczności usuwania manganu z wody, przed rozpoczęciem właściwych prac modernizacyjnych, w filtrach 11–15 zastosowano 20 cm warstwę Hydrolitu Mn. Dla porównania, w filtrach 16–20 również zastosowano 20 cm warstwę piasku pokrytego tlenkami żelaza i manganu, który przeniesiono z filtru doświadczalnego (filtr ten pracował 2 lata i był wypełniony piaskiem i 50 cm warstwą antracytu). W celu sprawdzenia wpływu wysokości warstwy aktywnej w filtrach 19 i 20 pozostawiono 30 cm warstwę podtrzymującą, która była w całości pokryta tlenkami żelaza i manganu.

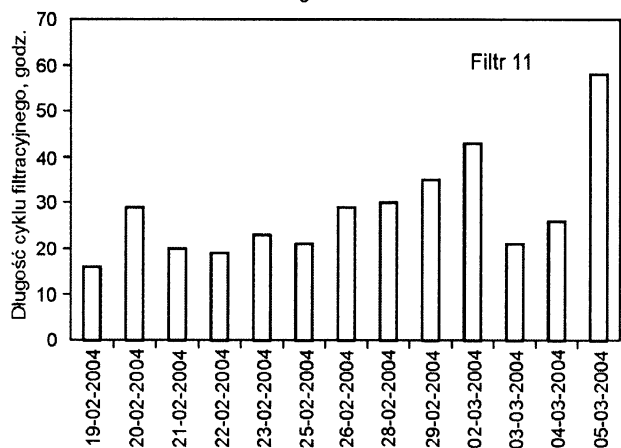
Wpływ cykli filtracyjnych na stabilność pracy filtrów

W trakcie wymiany złoża filtry pospieszne zasilane były wodą surową o niskiej zawartości związków żelaza – średnio 1,0 gFe/m³, maks. 2,7 gFe/m³. Początkowe wydajność pojedynczego filtru wynosiła 110÷130 m³/h (prędkość filtracji 3,4÷4,1 m/h), natomiast po dwóch tygodniach pracy podniesiono ją do 200÷300 m³/h (prędkość filtracji 6,2÷9,4 m/h). W filtrach, które zostały włączone do eksploatacji obserwowano krótkie cykle filtracyjne. W celu ich wydłużenia wykorzystano z filtru doświadczalnego złożo antracytu, które

ułożono w filtrach 19 i 20. Miąższość tej warstwy była niewielka, bo wynosiła zaledwie 25 cm. Wytyczne technologiczne opracowane na podstawie badań pilotowych określały, że warstwa antracytu, zapewniająca optymalną długość cyklu filtracyjnego, wynosi 40 cm. Jednakże okazało się, że nawet niewielka warstwa antracytu zwiększyła pojemność filtra na zanieczyszczenia i czas pracy złoża w filtrze 19 wynosił 47÷79 godz. (rys. 2). Dla porównania, czas pracy złóż w filtrach 11–18 bez antracytu był krótszy i wynosił 16÷58 godz. (rys 3).



Rys. 2. Długość cykli filtracyjnych uzyskanych na filtrze 19 w czasie od 25 lutego do 17 marca 2004 r.



Rys. 3. Długość cykli filtracyjnych uzyskanych na filtrze 11 w czasie od 19 lutego do 5 marca 2004 r.

Płukanie złóż filtracyjnych odbywało się powietrzem (5 min) i wodą, dla wszystkich filtrów w tych samych warunkach, po osiągnięciu strat hydraulicznych rzędu 1000 mm. Każde płukanie wodą prowadzono do czasu uzyskania klarownych popłuczyn. Intensywność płukania złóż przed wymianą wynosiła 2000 m³/h, co dla powierzchni filtracji 32 m² stanowiło 65 m³/m²h. Wysoka intensywność płukania podsytkowana była koniecznością usunięcia z głębszych warstw filtracyjnych wytrącających się wodorotlenków żelaza i manganu, które mają tendencję do silnego oklejania ziaren piasku.

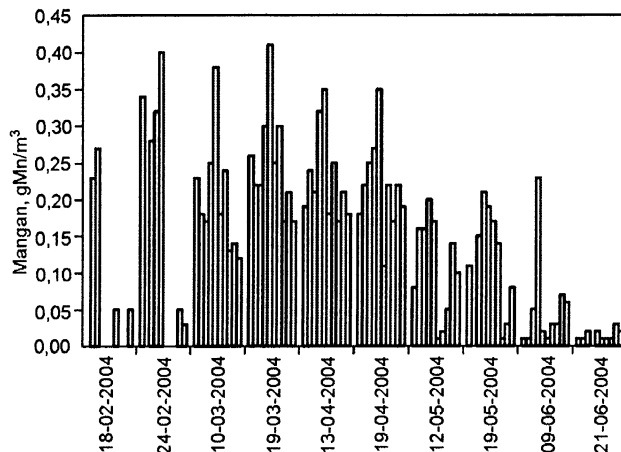
Po wymianie złóż filtracyjnych intensywność płukania wodą ograniczono do 1200÷1500 m³/h, a czas płukania powietrzem do 2 min, ze względu na prawidłowe aktywowanie ziaren piasku. Jednocześnie w czasie płukania należało usuwać z filtrów drobne frakcje piasku (ponizej 0,6 mm). W tym celu przez 2 tygodnie ręcznie usuwano z ich powierzchni warstewkę drobnego piasku o grubości 1÷2 cm.

Tabela 2. Charakterystyka złóż filtrów 11–20 przed przystąpieniem do modernizacji

Materiał filtracyjny	Filtry 11–15	Filtry 16–18	Filtry 19 i 20
Antracyt	–	–	20 cm
Świeży piasek 0,6÷1,4 mm	120 cm	120 cm	100 cm
Materiał filtracyjny Hydrolit Mn 0,7÷1,2 mm	20 cm	–	–
Piasek uaktywniony przeniesiony z filtra pracującego przez 2 lata	–	20 cm	20 cm
Świeży piasek 0,6÷1,4 mm	30 cm	30 cm	30 cm
Świeża warstwa podtrzymująca	30 cm	30 cm	–
Istniejąca warstwa podtrzymująca	–	–	30 cm

Podsumowanie wyników

W czasie od 4 lutego do 5 marca 2004 r., przed przystąpieniem do prac modernizacyjnych, w stacji „Mosina” przeprowadzono wymianę złóż filtracyjnych w 10 filtrach pospiesznych. Zróżnicowanie złóż filtracyjnych (tab. 2) miało na celu określenie możliwości przyspieszenia usuwania związków manganu z wody, natomiast zmiana warunków zasypu filtrów 19 i 20 miała na celu zwiększenie wysokości warstwy złoża uaktywnionego oraz umożliwienie dosypania do nich antracytu w przypadku konieczności wydłużenia czasu trwania cyklu filtracyjnego. Po przeprowadzeniu dezynfekcji wody podchlorynem sodu przez 24 godz. i użyciu wymaganych wyników bakteriologicznych wody, złoża filtrów ponownie płukano i włączano do eksploatacji. W celu przyspieszenia procesu aktywacji złóż filtracyjnych do usuwania z wody manganu 18 lutego 2004 r. rozpoczęto ciągłe dawkowanie do wody nadmanganianu potasu (0,15 g KMnO₄/m³) do rurociągu doprowadzającego wodę do filtrów 11–15. Po kilku dobach dawka tego reagenta została zwiększona do 0,2 gKMnO₄/m³. Ponieważ ten sposób nie przynosił założonych efektów (rys. 4), dlatego po upływie 2 miesięcy podjęto decyzję o wyłączeniu dawkowania nadmanganianu potasu.



Rys. 4. Zawartość manganu w wodzie po poszczególnych filtrach (kolejne słupki w poszczególnych dniach odpowiadają filtrom 11–20)

Filtry 11–15

Filtry te pomimo zasypiania masą Hydrolitu Mn nie dały zakładanych efektów usuwania manganu. W czasie wstępnej eksploatacji zawartość manganu nie uległa istotnym zmianom, przez dwa miesiące utrzymując się na tym samym

poziomie w przedziale $0,25 \pm 0,35 \text{ gMn/m}^3$. Przez kolejne dwa miesiące zawartość manganu powoli malała, aż do wartości poniżej $0,05 \text{ gMn/m}^3$. Czas wpracowania złoża w tych filtrach trwał 4 miesiące.

Filtry 16–18

W filtrach z 20 cm warstwą aktywnego piasku zawartość manganu malała skuteczniej. Filtry te pracowały dopiero od 10 marca 2004 r., a zawartość manganu w wodzie oczyszczonej mieściła się przez 5 tygodni w zakresie od $0,14 \text{ gMn/m}^3$ do $0,25 \text{ gMn/m}^3$. Czas wpracowania złoża w tych filtrach trwał 3 miesiące.

Filtry 19 i 20

Najlepsze efekty odmanganiania wody uzyskano w filtrach 19 i 20, w których oprócz 20 cm warstwy aktywnego piasku pozostawiono 30 cm uaktywnioną warstwę podtrzymującą. Przez kilka dób pracy filtrów zawartość manganu w wodzie oczyszczonej osiągała wartości dopuszczalne. Następnie skuteczność procesu odmanganiania pogorszyła się, a zawartość manganu w wodzie wynosiła około $0,2 \text{ gMn/m}^3$. Po dwóch miesiącach zaobserwowano wyraźny spadek zawartości manganu, aż do osiągnięcia wartości dopuszczalnej. Czas

całkowitego wpracowania filtrów 19 i 20 trwał również 3 miesiące, ale w tym czasie osiągnano niższą zawartość manganu niż w wodzie oczyszczonej po filtrach 16–18.

Podsumowując skuteczność działania filtrów (pierwsze zostały włączone do eksploatacji w sierpniu 2004 r.) należy podkreślić, że zawartość związków żelaza w wodzie oczyszczonej po poszczególnych filtrach była niska i mieściła się w przedziale $0,04 \pm 0,06 \text{ gFe/m}^3$. Efekty usuwania żelaza z wody zaobserwowano natychmiast po zakończeniu prac rozruchowych, natomiast nieco inaczej przebiegał proces odmanganiania wody. Przez pierwsze trzy tygodnie eksploatacji skuteczność usuwania manganu z wody była zadowalająca. Średnia zawartość związków manganu w wodzie oczyszczonej (zmieszanej po wszystkich filtrach) mieściła się w przedziale $0,14 \pm 0,35 \text{ gMn/m}^3$. W czwartym tygodniu pracy filtrów zawartość manganu w wodzie gwałtownie zmalała do około $0,01 \text{ gMn/m}^3$, a więc była dużo niższa od wartości dopuszczalnej w wodzie przeznaczonej do picia. Czas całkowitego wpracowania złoża po modernizacji filtrów trwał zaledwie trzy tygodnie.

Lasocka-Gomuła, I., Maciołek, A., Jankowski, T. Accelerating the Process of Filter Bed Adaptation to the Removal of Manganese: A Case Study. *Ochrona Środowiska* 2005, Vol. 27, No. 3, pp. 47–50.

Abstract: The study was carried out in the Water Treatment Plant Mosina, the largest object of the water distribution system for the city of Poznań. The plant is now being modernized and developed to achieve the capacity of $150,000 \text{ m}^3/\text{d}$. The water to be treated comes from several sources and shows elevated concentrations of iron and manganese compounds ($2\text{--}4 \text{ gFe/m}^3$ and 0.5 gMn/m^3 , respectively). The first stage of the modernization process included the major repair of rapid filters and was completed in 2004. The existing sand filters were replaced with

double-layer, anthracite-sand filters (of 1.7 m depth), which increased considerably the overall capacity of the filter beds to retain pollutants. With the dual media filters it was possible to reduce the theoretical 3–4 months' period of adaptation to 3–4 weeks. The implementation of a number of advanced technological concepts enabled a quick and efficient manganese removal, though at the initial stage of filter operation, the effluent concentrations of manganese compounds exceeded the set standards. The paper gives an account of the methods used for the activation of the modernized beds and the period of their adaptation, as well as describes the effect of the filter cycles on the stability of the rapid filtration system.

Keywords: Groundwater, manganese removal, rapid filtration, adaptation of filter bed.