

Waldemar Bicz, Marta Konieczna, Andrzej Zilbert

## Oczyszczanie wody na filtrach DynaSand

Woda dla zaopatrzenia Kłodzka ujmowana jest w dolinie Nysy Kłodzkiej za pomocą 22 studni (8 lewarowych i 14 z pompami głębinowymi) usytuowanych po obu stronach rzeki. Nysa Kłodzka pod względem wskaźników fizyczno-chemicznych znajduje się w trzeciej klasie czystości, o czym decyduje głównie zawartość azotu azotynowego. Zanieczyszczenia bakteriologiczne wody powodują, że nie mieści się ona w żadnej klasie czystości. Na jakość wód Nysy Kłodzkiej mają wpływ jej dopływy, tj. Bystrzyca Dusznicka (III kl. i Biała Łądecka (I i II kl.).

Woda z rzeki infiltrowuje do warstwy wodonośnej, dzięki czemu nabiera cech wody podziemnej. Na poprawę jakości wody w gruncie wpływa wiele procesów biochemicznych i fizyczno-chemicznych. W wyniku infiltracji z wody prawie całkowicie eliminowane są metale ciężkie, zawartość azotu amonowego o 75%, azotu azotynowego o 90%, azotu azotanowego o 30%, wzrasta natomiast twardość ogólna i zasadowość, a także stężenia chlorków oraz związków manganu i żelaza.

Woda surowa ujmowana w Kłodzku ma skład wody podziemnej, z charakterystyczną przewagą związków manganu nad związkami żelaza. Skład wody w poszczególnych studniach jest zróżnicowany, zwłaszcza w zakresie zawartości związków manganu, który jest wypłukiwany z pokładów rud i stanowi ponadnormatywny składnik wody. Część studni zawiera wodę spełniającą normy jakości, natomiast w wodach niektórych studni stężenia manganu są przekroczone nawet 10-krotnie. Analiza składu wody pozwala na stwierdzenie, że studnie płytsze (10+20 m) zawierają wodę z mniejszą zawartością związków manganu, natomiast woda ze studni głębszych (ok. 36 m) ma większą zawartość związków manganu. Różnice te wynikają z budowy hydrogeologicznej warstwy wodonośnej. Pod względem bakteriologicznym woda nie budzi zastrzeżeń. W wodzie występują jedynie ponadnormatywne stężenia związków manganu (tab. 1).

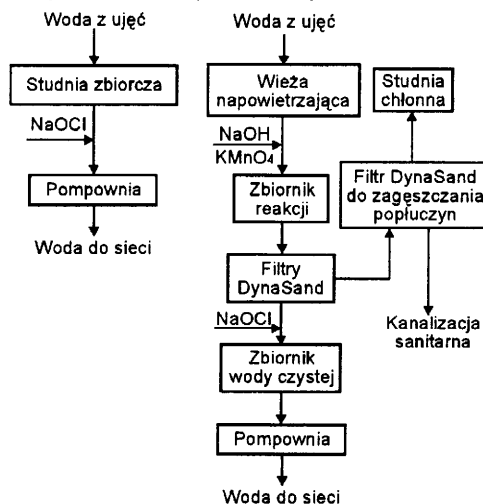
Tabela 1. Średni skład ujmowanej wody

Parametr, jednostka	Wartość
Barwa, gPt/m <sup>3</sup>	3+10
pH, -	6,4+7,4
CO <sub>2</sub> agresywny, gCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	15,0+34,6
Twardość ogólna, tw	4+10
Azot amonowy, gN/m <sup>3</sup>	0,02+0,14
Azot azotanowy, gN/m <sup>3</sup>	0,02+6,0
Azot azotynowy, gN/m <sup>3</sup>	0,02+0,2
Utlenialność, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	0,5+3,5
Żelazo ogólne, gFe/m <sup>3</sup>	0,1+0,3
Mangan, gMn/m <sup>3</sup>	0,12+0,3 (0,9; 1,0)

### Uzdatnianie wody

W 1996 r. Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Kłodzku, wraz z Urzędem Miasta, przystąpił do realizacji inwestycji, której celem było obniżenie zawartości związków manganu w wodzie do wartości dopuszczalnych. Generalnym realizatorem inwestycji było przedsiębiorstwo WPRI-Eko z Wrocławia, natomiast dokumentację projektową opracowało Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego we Wrocławiu.

Do 1998 r. ujmowana woda była pompowana do sieci jedynie po dezynfekcji podchlorynem sodu, natomiast w 1998 r. wdrożono nową technologię uzdatniania, opartą na procesach napowietrzania wraz z korektą chemiczną wody oraz filtracji pospiesznej na filtrach DynaSand (rys.1, tab.2).



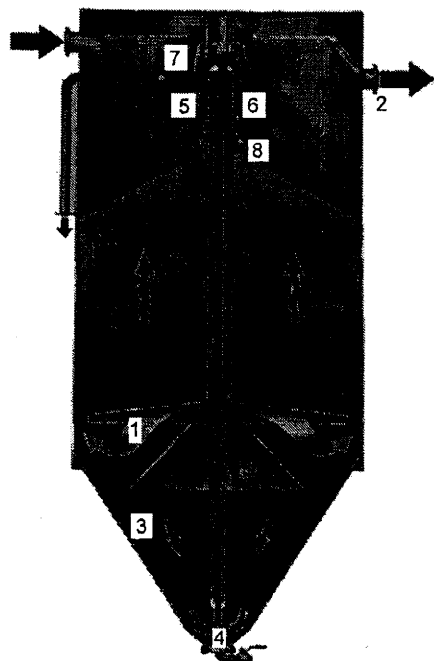
Rys. 1. Schematy układów technologicznych uzdatniania wody (z lewej stary układ sprzed 1998 r., z prawej nowy układ uruchomiony w czerwcu 1998 r.)

Tabela 2. Parametry urządzeń do uzdatniania wody

Urządzenie	Parametr
Wieża napowietrzająca	Złoże ociekowe, 4 półki, wypełnienie z rur winidurowych co 30 cm, F=5,66 m <sup>2</sup> , O <sub>n</sub> =110 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
Zbiornik reakcji	V=110 m <sup>3</sup> , n=2 szt., F=22,0 m <sup>2</sup> , t <sub>p</sub> =10 min, d <sub>w</sub> =2,5 m, h=6,0 m, H=8,45 m
Filtry DynaSand	Złoże piaskowe, WR=1,5, n=7 szt., 500 DS, φ2,5 m, H <sub>z</sub> =2 m, H=6,8 m, F=5×7=35 m <sup>2</sup> , v <sub>p</sub> =11 m/h
Filtr DynaSand do zagęszczania popłuczyn	Złoże piaskowe, WR=1,5, φ2,5 m, H=5,8 m, F=5,0 m <sup>2</sup> , H <sub>z</sub> =1,0 m, ilość popłuczyn 1,6 dm <sup>3</sup> /s (I etap) i 2,6 dm <sup>3</sup> /s (II etap)
Zbiornik wody czystej	V=1000 m <sup>3</sup> , φ15,0 m, h=7,20 m (I etap)
Zbiornik do neutralizacji	V=1,0 m <sup>3</sup> , 1,5×1,0 m, H <sub>cz</sub> =0,7 m
Instalacja NaOCl	D=1,0 gCl <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> , roztwór roboczy 5%
Instalacja KMnO <sub>4</sub>	D=0,08 gKMnO <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> , roztwór roboczy 1%
Instalacja NaOH	D=25 gNaOH/m <sup>3</sup> , roztwór roboczy 20%

Ze względów finansowych realizację inwestycji podzielono na dwa etapy. Pierwszy etap zakładał wykonanie hali filtrów na wydajność 9240 m<sup>3</sup>/d (385 m<sup>3</sup>/h), budowę jednej komory zbiornika o pojemności 1000 m<sup>3</sup> i adaptację hali magazynowej w istniejącym budynku pompowni na część chemiczną i pomieszczenie sprężarek, natomiast w drugim etapie będzie rozbudowana hala filtrów do wydajności 15 tys. m<sup>3</sup>/d.

Proces filtracji prowadzony jest na filtrach DynaSand, będących specjalnym rozwiązaniem filtrów piaskowych o działaniu ciągłym. Czas pracy filtru DynaSand został wydłużony dzięki wyeliminowaniu konieczności wyłączenia urządzenia na czas płukania złoża filtracyjnego, ponieważ piasek jest w sposób ciągły oczyszczany przez prosty układ płuczący, zasilany sprężonym powietrzem (rys.2).



Rys. 2. Schemat działania filtru DynaSand

Działanie filtru DynaSand opiera się na zasadzie filtracji przeciwprowadowej. Przeznaczona do oczyszczania woda zostaje doprowadzona do wejściowego dystrybutora (1) w dolnej części urządzenia i jest oczyszczana w trakcie przepływu w górę poprzez złożo piaskowe. Następnie zostaje odprowadzona na zewnątrz przez znajdujące się u góry urządzenia do odbioru filtratu (2). Piasek zawierający zatrzymane zanieczyszczenia pobierany jest ze stożkowej części dennej urządzenia (3) przy pomocy pompy mamutowej (4) do płuczki piasku znajdującej się w górnej części filtru (5). Oczyszczanie piasku rozpoczyna się już w samej pompie, w której cząstki zanieczyszczeń oddzielają się od piasku wskutek turbulencji wody. Zanieczyszczony piasek wydostaje się z ujścia pompy powietrznej i wpada do labiryntu płuczającego (6), gdzie zostaje wypłukany przy pomocy słabego przepływu czystej wody.

Zanieczyszczenia usuwane są przez odpływ wody z płuczki (7), zaś ziarenka czystego piasku, jako cięższe, wprowadzane są ponownie na powierzchnię warstwy filtracyjnej (8). W rezultacie złożo piaskowe znajduje się w ciągłym ruchu ku dołowi, tak jakby przepływało przez filtr.

Instalacja uzdatniania wody oparta na filtrach DynaSand jest zwarta. Nie są wymagane zbiorniki do magazynowania wody popłucznej i wody do płukania. Nie ma także pomp do płukania oraz dmuchaw. W wypadku zastosowania urządzenia DynaSand jako filtru kontaktowego, zbędne są również komory flokulacji. Dzięki temu, że filtr DynaSand może oczyszczać wody o bardzo wysokich stężeniach zawieszin, możliwe jest w wielu wypadkach uniknięcie fazy sedymentacji i flotacji. Filtry te można stosować zarówno w instalacjach nowo budowanych, jak i już istniejących, poprzez ich rozbudowę. Filtr DynaSand ma wiele zastosowań, z których dwa najważniejsze to uzdatnianie wody surowej do picia i celów technologicznych oraz oczyszczanie ścieków komunalnych i przemysłowych.

W zaprojektowanym dla Kłodzka układzie uzdatniania woda surowa z ujęć pod ciśnieniem pomp głębinowych doprowadzana jest do wieży napowietrzającej (złożo ociekowe), skąd grawitacyjnie przepływa przez kolejne urządzenia (zbiorniki reakcji, filtry DynaSand) do zbiornika wody czystej, skąd pompy przetłaczają wodę do miejskiej sieci wodociągowej. Do rurociągu przed zbiornikami reakcji w budynku filtrów, w celu efektywnego usuwania związków manganu i podwyższenia pH wody przewidziane zostało dawkowanie roztworów wodorotlenku sodu i nadmanganianu potasu. Woda przetłaczana do miejskiej sieci wodociągowej jest dezynfekowana podchlorynem sodu, dawkowanym do rurociągu doprowadzającego filtrat do zbiornika wody czystej. Popłuczyny z filtrów oczyszczane są w dodatkowym filtrze DynaSand i następnie odprowadzane do studni chłonnej na terenie ujęć, natomiast osady odprowadzane są do kanalizacji sanitarnej.

### Doświadczenia z rozruchu instalacji

24 czerwca 1998 r. rozpoczęto rozruch układu uzdatniania wody. Przygotowanie filtrów do procesu filtracji poprzedzone zostało wypłukaniem złoża piaskowego, które zostało przywiezione do Kłodzka w grudniu 1997 r. i oprócz zanieczyszczeń, które dostały się do niego w okresie składowania, należało usunąć z piasku pył i drobiny nie odpowiadające uziarnieniu, jakie powinien mieć piasek filtracyjny. Płukanie piasku przebiegało tak jak proces filtracji. Filtry płukano wodą surową w kolejności: siódmym, trzeci z czwartym, drugi z piątym oraz szósty z pierwszym. Siódmy filtr płukany był ciągle, aby można było pobrać próbki wody do analiz fizyczno-chemicznych. Czasy płukania poszczególnych filtrów wyniosły około 20 godz. (filtry 1–6) oraz około 50 godz. (filtr 7), przy czym po około 20 godz. pobrano próbki wody do badań i stwierdzono poprawę jakości wody.

Tabela 3. Średnia jakość wody uzdatnionej w procesach napowietrzania (wartości przed kreską) i filtracji (wartości po kresce)

Parametr, jednostka	Reagenty chemiczne			Bez reagentów chemicznych
	KMnO <sub>4</sub>	NaOCl+KMnO <sub>4</sub>	NaOCl	
pH,–	6,8/7,2	6,8/7,2	6,8/7,2	6,8/7,2 (7,4)
Mangan, gMn/m <sup>3</sup>	0,40/0,39	0,40/0,41	0,35/0,35	0,45/0,058*
Żelazo ogólne, gFe/m <sup>3</sup>	0,18/0,03	0,09/0,02	0,08/0,02	0,09/0,02

\*wartość maksymalna 0,111 gFe/m<sup>3</sup>

Tabela. 4. Porównanie wyników eksploatacji filtrów DynaSand z ich zaletami podanymi przez producenta

Producent	Użytkownik
Wysoka trwałość złoza filtracyjnego; w normalnych warunkach eksploatacyjnych filtr wykazuje znikomy ubytek piasku, około 0,02% w skali roku	Dotychczasowa eksploatacja nie spowodowała widocznych ubytków złoza
Niskie zużycie energii (0,05 kW/m <sup>3</sup> ); zasilania energią elektryczną wymaga jedynie kompresor dostarczający niewielkie ilości sprężonego powietrza do układu transportującego zanieczyszczony piasek filtracyjny do płuczki	Pracująca sprężarka zużywa 0,036 kW/m <sup>3</sup> ; urządzenie dobrane jest dla parametrów docelowych modernizacji zakładu
Niskie koszty utrzymania; filtr w wersji standardowej wykonany jest ze stali nierdzewnej, nie ma części ruchomych, narażonych na szybkie zużycie	Po roku eksploatacji nie stwierdzono defektów związanych ze zużyciem części
Niższe zużycie reagentów chemicznych; proces filtracji kontaktowej umożliwia efektywne usuwanie zanieczyszczeń z wód, przy niższych niż w rozwiązaniach konwencjonalnych wymaganiach co do wielkości i spoiwości kłaczków powstających w procesie koagulacji i flokulacji zawieszin	Przy obecnym składzie wody surowej reagenty chemiczne nie są stosowane
Minimalne wymagania w zakresie obsługi; prostota procesu obniża wymagany czas dozoru do kilkunastu minut dziennie	Całkowity czas dozoru pracy filtrów razem z codziennymi pomiarami wynosi maksymalnie 1 godzinę dziennie; prosta regulacja procesu i jego kontrola
Brak przerw w eksploatacji na płukanie złoza; możliwość prowadzenia procesu uzdatniania wód oraz oczyszczania złoza eliminuje konieczność okresowego wyłączenia filtru; brak oddzielnej instalacji płuczacej; brak strat wody (pierwszy filtrat); ciągła filtracja kontaktowa zapewnia stałą obecność na złożu warstwy zawieszin o właściwościach filtracyjnych	Ze względu na ciągłe płukanie filtrów zużycie wody wynosi 5+7%; popłuczyny zageszczone w dodatkowym filtrze odprowadzane są do kanalizacji (maks. 2%)
Skuteczna i wydajna kontrola procesu; ciągły proces oczyszczania złoza umożliwia utrzymanie stałego stanu równowagi filtru w stosunku do ilości zawieszin na złożu poprzez taką regulację prędkości płukania, aby stężenie zawieszin na piasku filtracyjnym było stałe i niezależne od zmiennych ilości zawieszin w wodzie surowej	Filtr jest odporny na zmienne obciążenie zanieczyszczeniami wody, co wykazano w okresie powodzi

Po przygotowaniu złożeń filtracyjnych do procesu filtracji przystąpiono do dawkowania reagentów chemicznych, tzn. nadmanganianu potasu i podchlorynu sodu, w różnych kombinacjach, bez korekty pH. Prace te miały na celu zainicjowanie procesu odmanganiania wody. Ze względu na trwające prace na obiekcie nie dawkowano zaleczonego przez projektanta wodorotlenku sodu do korekty pH wody.

Stwierdzono, że nadmanganian potasu nie spowodował – bez alkalizacji wody – widocznej obniżki zawartości związków manganu w filtracie, mimo że stosowany był w dość dużych dawkach, tj. 0,2 i 0,38 gMn/m<sup>3</sup> (tab.3). Stwierdzono ponadto, że podchloryn sodu, obecny w wodzie kierowanej na filtry, całkowicie wstrzymywał proces odmanganiania, nie pozwalał na wpracowanie złoza, a nawet usuwał z niego to, co zostało już wytracone.

Brak pozytywnych wyników uzdatniania wody i koszty ponoszone na środki chemiczne spowodowały zaprzestanie dawkowania reagentów chemicznych. Wówczas okazało się, że po miesiącu proces odmanganiania rozpoczął się samoczynnie. Zauważono trudny do usunięcia nalot brunatnoczarnego tlenku manganu na ściankach filtru i zmianę zabarwienia złoza filtracyjnego z żółtosłomkowego na żółtoszary. Obecnie bez stosowania utleniacza i korekty pH osiągane są efekty założone w projekcie technologicznym wraz ze wspomaganiami chemicznymi. Związki manganu usuwane są do wartości poniżej 0,1 gMn/m<sup>3</sup> przy pH=7,2 (tab.3). Było to możliwe ze względu na:

- mniejszą wydajność filtrów (ok. 300 m<sup>3</sup>/h),
- dobrą pracę wieży napowietrzającej, na której następuje odkwaszenie wody oraz podwyższenie pH wody z wartości 6,8 do wartości 7,1+7,4, a także dobre natlenienie wody,
- brak substancji zredukowanych, przeszkadzających w procesie odmanganiania wody,
- małą zawartość związków żelaza w wodzie.

Obecnie stosowany jest układ uzdatniania wody z napowietrzaniem i filtracją, bez dawkowania reagentów chemicznych. Pozostaje jednak możliwość dawkowania nadmanganianu potasu i wodorotlenku sodu, w wypadku takiej konieczności. Dotychczasowe doświadczenia z pracy filtrów DynaSand i ich porównanie z walorami wymienianymi przez producenta przedstawiono w tabeli 4.

## Podsumowanie

Filtry DynaSand są proste w obsłudze, a usuwanie związków manganu w ich złożach przebiega bez zastrzeżeń. Roczna eksploatacja filtrów w nowo otwartym Zakładzie Uzdatniania Wody w Kłodzku okazała się bezproblemowa i pozwoliła na obniżenie zawartości związków manganu w wodzie do wartości 0,06+0,1 gMn/m<sup>3</sup>. Przy wydajności zakładu około 300 m<sup>3</sup>/h i po wpracowaniu złoza filtracyjnego uzyskuje się właściwe wyniki bez dawkowania reagentów chemicznych.

## Water Treatment with DynaSand Filters: A Case Study

The object under study is the Waterworks of Kłodzko which serves a population of about 30 thousand inhabitants. Until quite recently, the taken in water was sent to the municipal supply system without treatment. For sanitary reasons it was disinfected

with sodium hypochlorite alone. The local sanitary inspectorate raised no objections against water quality, as it met the bacteriological standards. Physicochemical analyses, however, revealed that manganese concentrations exceeded the admissible

values and that there were frequent episodes of iron concentrations above the admissible level. Thus, in June 1998 a water treatment plant was started. The treatment train includes aeration, filtration and disinfection with sodium hypochlorite. Raw water is pumped from the intakes (wells) to the aerating tower. From there the water passes through reaction tanks and DynaSand rapid filters before it is sent to the clean-water-storage-tank and to the city network. For a more effective manganese removal, as well as for pH adjustment, the passing water should be treated

with sodium hydroxide and potassium permanganate ahead of the reaction tanks. Washwater from the DynaSand filters is treated in an additional DynaSand filter and thereafter sent to an infiltration well in the vicinity of the treatment plant. Concentrated washwater is discharged to the municipal sewerage system. The water treatment plant has a capacity of 385 m<sup>3</sup>/h, at a filtration velocity of 11 m/h. The manganese removal process runs without pH adjustment and KMnO<sub>4</sub> application.