

Krystyna Ołańczuk-Neyman, Rafał Bray

Modernizacja stacji uzdatniania wód podziemnych „Letniki” koło Elbląga

W perspektywie przyjęcia Polski do Unii Europejskiej, w 2000 roku wprowadzono znowelizowane rozporządzenie dotyczące jakości wody przeznaczonej do picia i na potrzeby gospodarcze [1]. Do istotniejszych zmian należy zaliczyć zmniejszenie dopuszczalnego stężenia związków żelaza do $0,2 \text{ gFe/m}^3$ oraz manganu do $0,05 \text{ gMn/m}^3$. Pomimo iż wprowadzenie nowego rozporządzenia zapowiadano od dawna, najprawdopodobniej wiele wodociągów w Polsce nie będzie w stanie sprostać jego wymaganiom. Problemów tych należy spodziewać się tym bardziej, że wiele polskich wodociągów nie było w stanie spełnić wcześniejszego, bardziej liberalnego rozporządzenia, szczególnie w odniesieniu do usuwania nadmiernych stężeń manganu. Było przy tym charakterystyczne, iż trudności z usuwaniem tego składnika z wody bardzo często miały stacje uzdatniania, w których stężenia manganu tylko nieznacznie przekraczały $0,1 \text{ gMn/m}^3$. Na skalę problemu może wskazywać również fakt, że udział wód podziemnych w zaopatrzeniu wodociągów komunalnych w Polsce wynosi ponad 60%, przy czym w ponad 80% tych wód mangan występuje w stężeniach wyższych od $0,05 \text{ gMn/m}^3$ [2].

Niniejsze opracowanie, opisujące modernizację stacji uzdatniania wód podziemnych „Letniki” koło Elbląga, zaprojektowaną i nadzorowaną przez pracowników Politechniki Gdańskiej, może stanowić przykład rozwiązania tego problemu, tym bardziej godny uwagi, iż modernizację przeprowadzono bez konieczności rozbudowy obiektu, a wszystkie opisane prace modernizacyjne zostały wykonane przez pracowników stacji.

Ujęcie oraz stacja uzdatniania wód podziemnych Letniki (oficjalna nazwa Zakład Produkcji Wody w Ząbrowie) została oddana do użytku na początku lat 70. ubiegłego wieku. Z gospodarczego punktu widzenia obiekt ten spełnia ważną rolę w regionie, zaopatrując w wodę Centralny Wodociąg Żuławski o łącznej długości przekraczającej 1100 km. Maksymalna produkcja wody do końca lat 80. sięgała 60 tys. m^3/d . Stacja zaopatruje w wodę głównie obszary rolnicze oraz Elbląg i Nowy Dwór. Obiekt eksploatuje wody podziemne pochodzące głównie z utworów czwartorzędowych, które charakteryzują podwyższone stężenia związków żelaza i manganu oraz azotu amonowego.

Technologia uzdatniania wody oparta była na napowietrzeniu i jednostopniowej filtracji pospiesznej na filtrach kontaktowych ze złożami piaskowymi. Wkrótce po uruchomieniu stacji zastosowana technologia uzdatniania wody okazała się niewystarczająca, gdyż w wyniku intensywnej eksploatacji ujęcia wód podziemnych nastąpiło zdecydowane pogorszenie jakości wody surowej, a przede wszystkim znaczny wzrost stężeń związków żelaza i manganu oraz azotu amonowego.

Próby poprawy jakości wody uzdatnionej podejmowane były od początku istnienia stacji. Jej pierwsza modernizacja, przeprowadzona pod koniec lat 80., polegała na odwróceniu kierunku filtracji, w efekcie czego nastąpiła poprawa efektywności usuwania związków żelaza, natomiast stężenia związków manganu oraz azotu amonowego w wodzie kierowanej do odbiorców nadal znacznie przekraczały dopuszczalne wartości. Jednocześnie przez cały czas eksploatacji obiektu prowadzone były badania w celu opracowania technologii mogącej poprawić jakość wody podawanej do sieci [3]. Wynikiem tych prac było ustalenie, że przy zastosowaniu filtracji jednostopniowej praktycznie nie jest możliwe (lub nie jest opłacalne) uzdatnienie wody z ujęcia „Letniki” do wymaganej jakości, a jedyną skuteczną i opłacalną metodą jest filtracja dwustopniowa. Duże zapotrzebowanie na wodę w omawianym okresie uniemożliwiało jednak wprowadzenie odpowiednich zmian w układzie technologicznym stacji uzdatniania.

W latach 90. nastąpiło znaczne zmniejszenie zużycia wody, co umożliwiło powrót do koncepcji filtracji dwustopniowej. Pilotowe badania w skali ułamkowo-technicznej oraz w pełnej skali technicznej zostały przeprowadzone w latach 1994–1996 [4–7]. Ustalono wówczas, że najlepszym wypełnieniem filtrów II stopnia będzie wpracowany piasek kwarcowy, pokryty aktywną warstwą tlenków manganu, zasiedloną jednocześnie przez naturalną dla wód podziemnych mikroflorą bakteryjną, która współuczestniczy w uzdatnianiu wody [8–10]. W układzie filtracji dwustopniowej na piasku kwarcowym uzyskano wysokie efekty usuwania związków żelaza i manganu oraz azotu amonowego, a stężenia tych składników w wodzie uzdatnionej spełniały nowe wymagania stawiane wodzie przeznaczonej do picia i na potrzeby gospodarcze. W rezultacie przeprowadzonych prac badawczych w latach 1996–1998 opracowano i wdrożono nową technologię uzdatniania wody na stacji Letniki [4,5], polegającą na filtracji dwustopniowej przez złoża wpracowanego piasku kwarcowego. Istotnym założeniem tej technologii było wykorzystanie istniejących filtrów i urządzeń stacji oraz utrzymanie produkcji wody na dotychczasowym poziomie.

Charakterystyka ujęcia i stacji uzdatniania „Letniki”

Ujęcie „Letniki” eksploatuje głównie czwartorzędowy poziom wodonośny, z którego woda jest pobierana przez 20 studni wierconych o głębokościach 32+41 m. Studnie rozmieszczone są na długości około 6 km wzdłuż rzeki Nogat. Warstwa wodonośna głównego poziomu wodonośnego jest przykryta utworami namulowymi o miąższości 6+16 m, przewarstwionymi utworami piaszczystymi i torfami. Rozpoczęcie eksploatacji ujęcia spowodowało zmiany naturalnych warunków

zasilania warstwy wodonośnej. Wskutek obniżenia ciśnienia w warstwie wodonośnej zostały uruchomione procesy odsączania wód serii namulowej, co doprowadziło do niekorzystnych zmian jakości ujmowanej wody, a w szczególności nastąpił znaczny wzrost stężeń związków żelaza i manganu oraz azotu amonowego.

Wody kierowane do uzdatniania na stacji należą to tzw. trudnych wód, charakteryzujących się zarówno wysokim stężeniem związków żelaza ($3,4+7,0 \text{ gFe/m}^3$) jak również manganu ($1,2+2,3 \text{ gMn/m}^3$), a ponadto wysoką zawartością azotu amonowego ($1,2+2,9 \text{ gN/m}^3$). Wody te należą do typu wodorowęglanowo-wapniowego o twardości ogólnej w zakresie $4,5+7,7 \text{ val/m}^3$ i niskiej twardości niewęglanowej. Mineralizacja ogólna nie przekracza 500 g/m^3 , a pH jest zbliżone do 7,0. W niewielkim stężeniu występują utlenione związki mineralne, takie jak azotyny, azotany i siarczany. Utlenialność wód wynosi $3,8+7,7 \text{ gO}_2/\text{m}^3$, ich barwa nie przekracza 50 gPt/m^3 , natomiast mętność wody tylko w niektórych studniach jest większa od 50 g/m^3 .

Technologia uzdatniania wody przed modernizacją

Uzdatnianie wody na stacji „Letniki” polegało na napowietrzaniu i jednostopniowej otwartej filtracji przez złoża piaskowe. Stację wybudowano w układzie dwuskrzydłowym, co znacznie ułatwiło późniejszą jej modernizację (rys. 1). Woda z ujęcia doprowadzana była do stacji dwoma rurociągami przy pomocy pomp głębinowych, a następnie kierowana do dwóch otwartych aeratorów, rozmieszczonych symetrycznie w dwóch oddzielnych zespołach stacji. Od tego momentu przepływ wody przez kolejne urządzenia stacji odbywał się grawitacyjnie. Woda napowietrzona w aeratorach była kierowana na otwarte filtry piaskowe o wymiarach $6 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ i wysokości złoża 1,0 m. Wschodnie skrzydło obiektu mieści 10 filtrów, a skrzydło zachodnie 7 filtrów.

Pierwotny kierunek filtracji wody w obu skrzydłach był od dołu ku górze, przy czym pod koniec lat 80. odwrócono kierunek przepływu wody przez filtry. Prędkości filtracji wynosiły – w zależności od produkcji wody – $2+6 \text{ m/h}$. Przetworzona woda odpływała do kanału zbiorczego, a następnie grawitacyjnie rurociągiem zbiorczym do dwóch zbiorników wody czystej (1000 m^3 każdy), skąd przetłaczano ją do sieci pompami II stopnia.

W procesach uzdatniania wiele ważnych wskaźników jakości wody, takich jak twardość ogólna, twardość węglanowa i niewęglanowa, zasadowość, chlorki, siarczany i pH nie uległy istotnym zmianom, natomiast mętność, barwa i zapach wody zostały doprowadzone do wartości normatywnych. Wyraźne efekty uzdatniania wody zaobserwowano dla związków żelaza, których stężenie w wodzie podawanej do sieci zmalało do $0,1+0,5 \text{ gFe/m}^3$ (ok. 90% usuwania), chociaż okresowo dochodziło do $0,70 \text{ gFe/m}^3$. Zawartość azotu amonowego ulegała zmniejszeniu średnio o około 60% do $0,4+1,8 \text{ gN/m}^3$, jednakże jego wysokie stężenia w wodzie surowej

utrudniały usuwanie manganu ($19+43\%$ usuwania). W wodzie podawanej do sieci obserwowano stale podwyższone stężenia manganu, zawierające się w granicach $0,5+1,2 \text{ gMn/m}^3$.

Badania pilotowe

Przed wprowadzeniem drugiego stopnia filtracji rozważono możliwości uzdatnienia wody w układzie jednostopniowym. Badania takie przeprowadzono jeszcze w latach 80. [3]. Między innymi spróbowano zastąpić złożo z piasku kwarcowego aktywnym wypełnieniem piroluzytowym. Początkowo uzyskano polepszenie efektywności usuwania związków manganu, jednak po stosunkowo krótkim czasie ziarna wypełnienia pokryły się tlenkami żelaza i straciły właściwości odmanganiające. Nieskuteczne było również zwiększenie wysokości złoża (bądź zmniejszenie prędkości filtracji). Wiązało się to z dużym zużyciem tlenu, głównie na utlenienie azotu amonowego w procesie nityfikacji. Pomimo stosunkowo dobrego natlenienia wody przed filtrami ($>8 \text{ gO}_2/\text{m}^3$), na odpływie z filtrów I stopnia stężenie tlenu spadło poniżej $1,0 \text{ gO}_2/\text{m}^3$, przy czym nadal stwierdzono stężenie azotu amonowego przekraczające $1,5 \text{ gN/m}^3$. Poprawę efektywności usuwania manganu uzyskano stosując korektę pH do $>7,8$, jednak nie usunięto nadmiernych stężeń azotu amonowego.

W roku 1995 przeprowadzono badania pilotowe w skali ułamkowo-technicznej z wykorzystaniem filtrów ze szkła organicznego o średnicy wewnętrznej 105 mm [4–8]. Jako materiał filtracyjny zastosowano trzy rodzaje złożów, tj. wpracowany piasek kwarcowy pobrany bezpośrednio z filtrów pracujących na stacji „Letniki”, syntetyczny materiał filtracyjny Metallex składający się niemal całkowicie z dwutlenku manganu oraz braunsztyn (naturalna ruda manganu). Wysokości złożów wynosiły 1,0 m, a prędkości filtracji $6+7 \text{ m/h}$. Po okresach wpracowania, które w każdym przypadku miały inną długość oraz inny przebieg, wszystkie trzy filtry wykazały zbliżone (wysokie) efektywności usuwania związków manganu i azotu amonowego z wody (tab. 1). Najgorsze efekty uzdatniania wody uzyskano w początkowym okresie na złożu z piasku kwarcowego. Czas wpracowania tego filtru był długi i wynosił ponad 3 miesiące (pozostałe filtry wpracowały się szybciej). W tym czasie ziarna piasku stopniowo pokryły się aktywną warstewką tlenków manganu, przybierając charakterystyczną czarną barwę [8,10]. Po wpracowaniu złoża stężenie manganu w filtracie kształtowało się na poziomie około $0,05 \text{ gMn/m}^3$. Istotne było przy tym, iż po okresie wpracowania złoża nadal wystąpiła stopniowa poprawa usuwania manganu. W przeprowadzonych później badaniach, w których zastosowano piasek kwarcowy pracujący w II stopniu filtracji od ponad roku, stężenie manganu w filtracie nie przekroczyło $0,04 \text{ gMn/m}^3$, a żelaza $0,20 \text{ gFe/m}^3$. Stwierdzono przy tym, iż podstawowym czynnikiem decydującym o efektywności

Tabela 1. Skuteczność II stopnia filtracji w badaniach pilotowych w skali ułamkowo-technicznej

Złoże filtracyjne	Prędkość filtracji m/h	Żelazo ogólne gFe/m ³	Mangan gMn/m ³	Amoniak gN/m ³	Skuteczność usuwania, %		
					żelazo	mangan	amoniak
Woda po I stopniu filtracji		0,10+0,50	0,20+0,80	0,30+1,80	–	–	–
Metallex	6,5	0,20	0,04	0,15	21	85	65
Braunsztyn	6,2	0,21	0,05	0,15	19	84	65
Piasek (a)	7,0	0,21	0,06	0,15	19	80	65
Piasek (b)	6,2	0,12	0,03	0,15	22	90	65

(a) – piasek kwarcowy bezpośrednio (do 4 miesięcy) po wpracowaniu w II^o filtracji, (b) – piasek kwarcowy pracujący w II^o filtracji od ponad roku

odmanganiania wody było skuteczne napowietrzenie wody, przy czym stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie nie powinno być niższe od $4 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ [9,10].

Na podstawie badań pilotowych przeprowadzonych w skali ułamkowo-technicznej ustalono, że najlepszym (zarówno z technologicznego, jak i ekonomicznego punktu widzenia) wypełnieniem filtrów II stopnia na stacji „Letniki” będzie piasek kwarcowy pochodzący z odzłaziaczy pracujących na stacji.

Po zakończeniu badań w skali ułamkowo-technicznej rozpoczęto II etap badań pilotowych z zastosowaniem filtrów technicznych. W tym celu wytypowano dwa filtry piaskowe, spośród pracujących na stacji, na które – po niewielkich przeróbkach w instalacji (bez wymiany złoża) – wprowadzono wodę po I stopniu filtracji (była to woda kierowana do magistrali wodociągowej). Prędkość filtracji ustalono na poziomie 6 m/h . Wyniki ponad 7-miesięcznych badań procesu filtracji w pełnej skali technicznej potwierdziły dobre wyniki uzyskane w skali ułamkowo-technicznej. Po około 1-miesięcznym czasie wpracowania złóż stężenia związków żelaza i manganu oraz azotu amonowego w filtracie kształtowały się odpowiednio poniżej $0,20 \text{ gFe}/\text{m}^3$, $0,05 \text{ gMn}/\text{m}^3$ oraz $0,20 \text{ gN}/\text{m}^3$. Sporadyczne przekroczenia dopuszczalnych stężeń związków żelaza i manganu zaobserwowano, gdy stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie napowietrzanej spadło poniżej $4,0 \text{ gO}_2/\text{m}^3$.

Koncepcja zmian układu technologicznego

Opierając się na dobrych efektach uzdatniania wody uzyskanych w badaniach pilotowych, opracowano koncepcję zmian w układzie technologicznym stacji uzdatniania „Letniki” [4,5], która polegała na zastąpieniu filtracji jednostopniowej filtracją dwustopniową. Założono przy tym wykorzystanie do tego celu istniejących na stacji urządzeń, co znacznie obniżyło koszty modernizacji. Ważnym założeniem tej koncepcji było utrzymanie dotychczasowej produkcji wody na stacji.

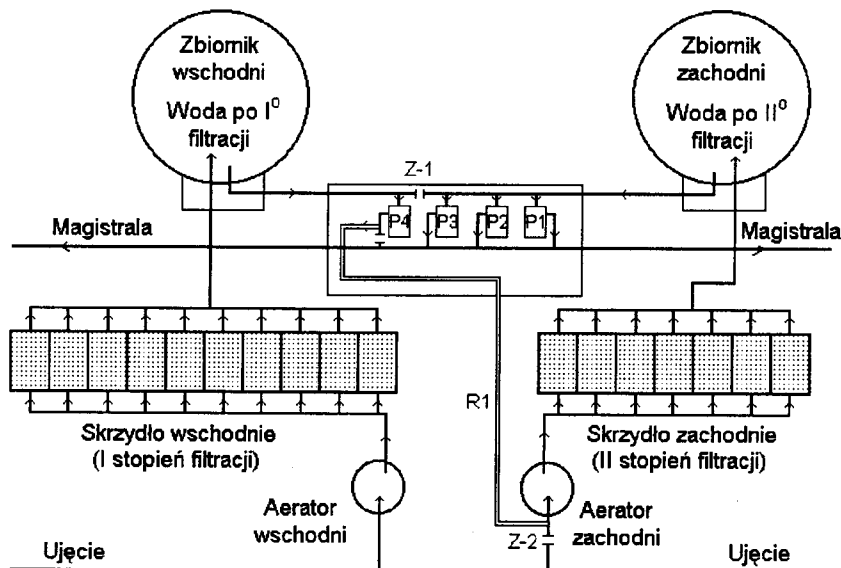
Schemat zmodyfikowanego układu technologicznego przedstawiono na rysunku 1. W nowym układzie skrzydło wschodnie stanowi pierwszy stopień, a skrzydło zachodnie drugi stopień filtracji. Woda z ujęcia w całości podawana jest na aerator wschodni, skąd grawitacyjnie przepływa na filtry

skrzydła wschodniego (10 szt.), gdzie zostaje usunięta większa część związków żelaza. Woda odzłaziona po pierwszym stopniu filtracji gromadzona jest w zbiorniku wschodnim, a następnie za pomocą pompy P-4 zostaje przepompowana do aeratora zachodniego, skąd po napowietrzeniu przepływa grawitacyjnie na filtry skrzydła zachodniego (7 szt.). W drugim stopniu filtracji usuwane są głównie nadmierne stężenia związków manganu oraz azot amonowy. Woda uzdatniona gromadzona jest w zbiorniku zachodnim, skąd przy pomocy pomp P-2 i P-3 tłoczona jest do magistrali wodociągowej. Prędkość filtracji jest zależna od produkcji wody i wynosi maksymalnie około $3,5 \text{ m/h}$ w pierwszym stopniu oraz około $5,0 \text{ m/h}$ w drugim stopniu filtracji (przy obecnej produkcji wody ok. $30 \text{ tys. m}^3/\text{d}$).

Zaproponowane zmiany umożliwiły wykorzystanie istniejących na stacji urządzeń oraz instalacji i wymagały stosunkowo niewielkich nakładów inwestycyjnych. Polegały one na rozdzielaniu zbiorników wody czystej przy pomocy zasuw Z-1 oraz poprowadzeniu rurociągu o średnicy 500 mm i długości około 60 m od pompy P-4 do aeratora zachodniego (rys.1).

Wąskim gardłem w projekcie jest mała pojemność zbiorników wody czystej, która jeszcze przed modernizacją była niewystarczająca (2000 m^3), a po pełnej modernizacji zmniejszy się o połowę. Według obliczeń i symulacji, przeprowadzonych dla rzeczywistych rozmiarów wody ze stacji, pojemność magazynowa wody czystej powinna być nie mniejsza niż 5000 m^3 [5]. Z tego względu do tej pory przeprowadzono jedynie I etap modernizacji stacji, polegający na uruchomieniu 5 filtrów II stopnia, ale bez pełnego rozdzielania zbiorników. W rezultacie do sieci wodociągowej podawana jest woda zmieszana po I i po II stopniu filtracji, w proporcjach zależnych od rozbioru wody.

Wprowadzenie II stopnia filtracji na stacji uzdatniania „Letniki” zdecydowanie poprawiło jakość wody. Stężenia wszystkich składników wody po II stopniu filtracji były zgodne z wynikami uzyskanymi w badaniach pilotowych i w pełni odpowiadają nowym przepisom sanitarnym. Jednakże ze względu na niepełne rozdzielanie zbiorników i wprowadzenie do magistrali wody zmieszanej (po I i po II stopniu filtracji) w wodzie wodociągowej obserwuje się niewielkie przekroczenia dopuszczalnych stężeń manganu oraz utleniałości.



Rys. 1. Schemat stacji uzdatniania wód podziemnych „Letniki” po modernizacji (przed modernizacją nie było rurociągu R1 oraz zasuw Z-1, a zasawa Z-2 była otwarta)

Podsumowanie

Pierwszy etap modernizacji stacji uzdatniania wody „Letniki” koło Elbląga może stanowić przykład rozwiązania problemu poprawy jakości wody, a zwłaszcza usuwania nadmiernych stężeń związków żelaza i manganu oraz azotu amonowego, związanego z wprowadzeniem nowych przepisów dotyczących jakości wody. W omówionym przypadku wykorzystano, charakterystyczne dla większości wodociągów w Polsce, zmniejszenie zapotrzebowania na wodę, dzięki czemu możliwe było uruchomienie drugiego stopnia filtracji bez potrzeby rozbudowania obiektu.

Należy dodać, że stacja uzdatniania wody „Letniki” nadal wymaga inwestycji. Część z wykonanych do tej pory prac modernizacyjnych ma charakter tymczasowy, inne nadal czekają na realizację. Konieczna jest między innymi budowa większego zbiornika wody czystej oraz wymiana części instalacji. Mimo to, dzięki przeprowadzonym dotychczas pracom modernizacyjnym, stacja już od ponad 3 lat zapewnia wszystkim odbiorcom wody z Centralnego Wodociągu Żuławskiego produkt dobrej jakości, w znacznym stopniu odpowiadający nowym wymaganiom stawianym wodzie do picia i na potrzeby gospodarstwa.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 4 września 2000 r. Dz. U. nr 82, poz. 937.
2. B. JACHIMKO-JILEK: Jakość wód podziemnych ujmowanych w wodociągach polskich. Mat. konf. „Uzdatnianie wód podziemnych – badania, projektowanie i eksploatacja”, Warszawa 1997, ss. 5–15.

3. S. BACHANEK, J. PREJZNER, M. GENEJA: Optymalizacja procesów uzdatniania wody Centralnego Wodociągu Żuławskiego na stacji „Letniki”. Sprawozdanie z etapu III. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1990 (praca nie publikowana).
4. K. OLAŃCZUK-NEYMAN, R. BRAY, J. PREJZNER, A. WARGIN, J. SOBIERAŃSKI: Opracowanie koncepcji technologicznej poprawy efektywności eliminacji manganu i azotu amonowego z wód podziemnych na stacji „Letniki” w Ząbrowie. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1996 (praca nie publikowana).
5. K. OLAŃCZUK-NEYMAN, R. BRAY, J. PREJZNER: Modernizacja i nadzór technologiczny procesu uzdatniania wody na stacji „Letniki” wraz z oceną pracy stacji w warunkach różnego rozbioru wody. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1996 (praca nie publikowana).
6. K. OLAŃCZUK-NEYMAN, R. BRAY, J. PREJZNER, A. WARGIN: Application of non-reagent methods to eliminate manganese from groundwater at selected water treatment plants in Northern Poland. Conf. proc. "Municipal and rural water supply and water quality", Poznań 1996, Vol.2 pp. 291–307.
7. K. OLAŃCZUK-NEYMAN, R. BRAY: Zastosowanie drugiego stopnia uzdatniania do eliminacji manganu z wód podziemnych. Mat. konf. „Uzdatnianie wód podziemnych – badania, projektowanie i eksploatacja”, Warszawa 1996, ss. 73–82.
8. K. OLAŃCZUK-NEYMAN, R. BRAY, J. PREJZNER: Problematyka eliminacji manganu z wód podziemnych. Inżynieria Morska i Geotechnika, 1997, nr 4.
9. R. BRAY, K. OLAŃCZUK-NEYMAN: The influence of changes of groundwater composition on the efficiency of manganese and ammonia nitrogen removal on mature quartz sand filtering beds. Conf. proc. "Water supply and water quality", Kraków 2000, pp. 525–536.
10. R. BRAY: Rola procesów fizyko-chemicznych i biologicznych w eliminacji manganu i azotu amonowego z wód podziemnych. Praca doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1999.

Retrofit of the Letniki Groundwater Treatment Plant Near Elbląg

The object under study was retrofitted in the late 1990s with the aim to upgrade the quality of the water sent to the distribution system in general, and the removal efficiency for iron, manganese and ammonia nitrogen in particular. The taken-in water, which comes predominantly from the Quaternary aquifer, is classified as "hard water" because of the high concentrations of iron, manganese and ammonium nitrogen (5.0 gFe/m^3 , 1.5 gMn/m^3 and 2.0 gN/m^3). The water treatment train made use of prior to the retrofit (which included aeration and single-stage filtration) yielded only iron removal to the level of about 0.3 gFe/m^3 ; the concentrations of the other investigated compounds still exceeded considerably the admissible values, as

they ranged from 0.5 to 1.0 gMn/m^3 and from 0.9 to 2.0 gN/m^3 . Following analysis of the pilot-plant results, an additional filtration stage, which involved a mature high-silica sand bed, was proposed. The retrofit of the treatment plant brought about a noticeable improvement of water quality. The concentrations of iron, manganese and ammonia nitrogen in the treated water amounted to 0.2 gFe/m^3 , 0.05 gMn/m^3 and 0.2 gN/m^3 , respectively. However owing to the incomplete separation of the tanks and to the distribution of mixed water (after the first and second stage of filtration), the concentration of manganese in the tap water slightly exceeds the admissible values.