

Mariusz Pepliński, Artur Malecki, Irena Bojanowska

Wpływ rodzaju złoża filtracyjnego na skuteczność uzdatniania wód podziemnych na przykładzie ujęć w Tczewie

Głębokie wody podziemne, w odróżnieniu od płytkich wód gruntowych, są osłonięte warstwą nieprzepuszczalną, chroniącą je przed zanieczyszczeniem chemicznym i skażeniem bakteriologicznym przedostającym się z powierzchni ziemi. Skład wód podziemnych uzależniony jest głównie od rodzaju skał, przez które woda przepływa i z których rozpuszcza wiele substancji. Wody te są zazwyczaj dobrze zmineralizowane i zawierają niezbędne do życia pierwiastki, natomiast nie zawierają związków toksycznych i bakterii chorobotwórczych. Na ujęciach w Tczewie woda podziemna czerpana jest z głębokości od 92 m (utwory trzeciorzędowe i czwartorzędowe) do 180 m (utwory kredowe).

Celem niniejszego artykułu była ocena wpływu rodzaju złoża filtracyjnego na skuteczność uzdatniania wód podziemnych, dokonana na podstawie badań przeprowadzonych przed i po modernizacji urządzeń do napowietrzania i filtracji pospiesznej na ujęciach wód podziemnych w Tczewie.

Przedmiot badań

Ujęcia wód podziemnych w Tczewie leżą na pograniczu dwóch makroregionów, tj. Pobrzeża Gdańskiego i Pojezierza Wschodniopomorskiego. Wysoczyzna moreny dennej, falistej, jest związana z fazą pomorską stadiału głównego zlodowaceń północnopolskich. Budują ją piaski i żwiry wodnolodowcowe, jedynie miejscami gliny zwałowe. W strefie krańdziej osiada wysokość przekraczająca 100 m n.p.m. Rozpoznanie geologiczne ujęć jest dość dobre, dzięki licznym otworom studziennym. Najstarszymi rozpoznanyymi utworami są kredowe piaski drobnoziarniste. Ich strop leży około 200 m n.p.m., a miąższość przekracza 55 m (ujęcie „Park Miejski”). Znajdują się tam też margle i wapienie, które są przewiercone do głębokości 150 m, a ich miąższość wynosi powyżej 53 m (ujęcie „Motława”). Warstwy trzeciorzędowe rozpoczynają się oligoceńskimi ilami i mułkami, z glaukonitem i fosforytami o miąższości do kilku metrów. Pokryte są one kwarcowymi piaskami o różnym uziarnieniu. Górne partie piasków mogą być pochodzenia czwartorzędowego [1–3]. W obrębie ujęcia „Park Miejski” granica stratygraficzna czwartorzędu i trzeciorzędu jest niepewna, przebiega poprzez piaski, trudne do rozdzielenia. Na ujęciu „Motława” najstarszymi utworami czwartorzędowymi są wodnolodowcowe piaski

zlodowaceń południowopolskich, łączące się z leżącymi niżej piaskami trzeciorzędowymi. Zalega na nich kompleks gliny zwałowej pochodzącej ze zlodowaceń środkowopolskich. Lokalnie w obniżeniach terenu na obu ujęciach stwierdzono występowanie holocenijskich piasków i namułków [1–3].

Wody podziemne występują na trzech piętrach wodonośnych, tj. czwartorzędowym, trzeciorzędowym i kredowym. Ujęcie „Park Miejski” eksploatuje wody podziemne pięter czwartorzędowo-trzeciorzędowego i kredowego, natomiast ujęcie „Motława” wykorzystuje wody pochodzące z pięter trzeciorzędowego i kredowego. W obrębie piętra czwartorzędowego obu ujęć występują cztery nieciągłe warstwy wodonośne. Wodę prowadzą piaski o wzrastającym rozmiarze ziaren, których miąższość waha się od kilku do 26 m. Warstwa wodonośna jest zasilana przede wszystkim przez boczny dopływ z wysoczyzny, przesączanie z trzeciorzędowej warstwy wodonośnej i z powierzchni, wody gruntowe utworów halocenu oraz bezpośrednio przez opady atmosferyczne i wody powierzchniowe. Wskaźniki jakości wody z tej warstwy nie zostały rozpoznane.

Ujęcie wody „Motława” tworzy jedna oligoceńska warstwa wodonośna, którą budują piaski, od drobnoziarnistych do gruboziarnistych, czasem ze żwirem. W partiach stropowych mogą być one zailone, natomiast w pobliżu spągu bywają zailone i zawierają glaukonit. Miąższość tej warstwy waha się od kilku do 20 m. Ujęcie wody „Park Miejski” tworzy warstwa czwartorzędowo-trzeciorzędowa, którą stanowią piaski o różnym uziarnieniu. W partiach stropowych zawierają substancje węgliste. Przy spągu są one zamulone i zawierają glaukonit. Miąższość warstwy waha się w granicach 12+19 m. Zasilanie piętra trzeciorzędowego odbywa się wyłącznie z dopływu bocznego i przesączania. Piętro kredowe obu ujęć jest rozpoznane jedynie w części stropowej. Wodę prowadzą szczelinowe partie wapieni i margli. Wody te są zasilane wyłącznie przez przesączanie z piętra trzeciorzędowego [1–3].

Zasoby eksploatacyjne wód podziemnych wynoszą 194 m³/h z warstwy czwartorzędowo-trzeciorzędowej i 314 m³/h z piętra kredowego dla ujęcia „Park Miejski” oraz 613 m³/h z poziomu trzeciorzędowego i 90 m³/h z piętra kredowego dla ujęcia „Motława”. Studnie obu ujęć są eksploatowane przemiennie, po trzy lub cztery jednocześnie. Produkcja wody na obu ujęciach wynosi:

- ujęcie „Motława”: $Q_{\text{srh}}=258 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{\text{srđ}}=6192 \text{ m}^3/\text{d}$,
- ujęcie „Park Miejski”: $Q_{\text{srh}}=148 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{\text{srđ}}=3534 \text{ m}^3/\text{d}$.

Wody podziemne mają bardzo wysoką jakość i dużą stabilność składu fizyczno-chemicznego (tab. 1). Charakteryzują się nieznaczną utleniałością i niską mętnością, słabym

Tabela 1. Skład ujmowanych wód podziemnych w latach 1998–2000 (wartości średnie)

Wskaźnik, jednostka	Ujęcie „Mottawa”		Ujęcie „Park Miejski”	
	utwory trzeciorzędowe	utwory kredowe	utwory czwartorzędowo-trzeciorzędowe	utwory kredowe
Barwa, gPt/m ³	12	6	14	5
Mętność, g/m ³	2,4	0,2	2,9	0,2
pH, –	7,6	8,2	7,3	7,6
Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	193	49	290	161
Utlenialność, gO ₂ /m ³	2,9	2,6	2,4	2,6
Zasadowość ogólna, val/m ³	7,3	7,7	6,8	7,6
Chlorki, gCl/m ³	12	8	19	105
Fluorki, gF/m ³	1,2	2,5	0,6	1,1
Azot amonowy, gN/m ³	1,1	0,6	1,1	0,9
Azotany, gN/m ³	0,03	0,05	0,02	0,04
Azotyny, gN/m ³	0,004	0,006	0,005	0,006
Żelazo ogólne, gFe/m ³	1,00	0,05	1,30	0,08
Mangan, gMn/m ³	0,12	0,003	0,15	0,008

zasoleniem, twardością z pogranicza wód miękkich i średnio twardych oraz odpowiednią ilością związków fluoru (ze względu na profilaktykę próchnicy zębów). Konieczne jest jedynie usuwanie nadmiaru związków żelaza i manganu oraz obniżenie stężenia azotu amonowego w wodzie.

Metodyka badań

Ocenę efektywności procesów uzdatniania wody podziemnej przeprowadzono w oparciu o badania wody surowej – pobranej przed aeratorem i wody uzdatnionej – pobranej po filtrach pospiesznych. Dla porównania zbadano także skład wody podziemnej ujmowanej z trzech pokładów wodonośnych i pobieranej bezpośrednio ze studni. Wskaźniki fizyczno-chemiczne wody, takie jak barwa, mętność, chlorki, utlenialność, zasadowość ogólna, twardość ogólna i żelazo ogólne oznaczono wg polskiej normy, natomiast azot amonowy, azotany, azotyny, fluorki i mangan oznaczono wg noty firmy HACH. Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie określono przy pomocy tlenomierza OXI 320 firmy WTW, zaś pH wody zmierzono pH-metrem firmy WTW.

Uzdatnianie wód podziemnych przed modernizacją

W skład ujęcia „Mottawa” wchodzi:

- 11 studni głębinowych, w tym 10 studni ujmujących wodę z warstwy trzeciorzędowej oraz studnia ujmująca wodę z warstwy kredowej,
- stacja zamkniętych filtrów pospiesznych,
- zbiornik retencyjny wody,
- pompownia drugiego stopnia.

Uzdatnianie wody polegało na jej napowietrzaniu i odżelazianiu. Woda była napowietrzana w aeratorze, który stanowił stalowy zbiornik w kształcie walca o objętości 12 m³. Wewnątrz zbiornika znajdowała się pionowa ścianka stalowa, która ustalała kierunek przepływu wody w górę, a następnie w dół. Powietrze do aeratora miało być dostarczane za pomocą sprężarki, jednak ostatecznie aerator pracował na zasadzie iniektora. Napowietrzona woda podawana była na tzw. odżelaziacze. Zbiornik odżelaziacza podzielony był dennicą na

dwie części, pracujące niezależnie. W dolnej części każdego odżelaziacza znajdowała się stalowa płyta oparta na dennicy, z nawierconymi na całej powierzchni otworami z gwintem w rozstawie co 175 mm, w które były wkręcone dysze (180 szt.). Na stalowej płycie znajdowało się złoże filtracyjne, na które składały się [4]:

- warstwa podtrzymującego żwirku filtracyjnego o granulacji 3÷8 mm i miąższości 250÷300 mm,
- warstwa żwirku filtracyjnego o granulacji 1,4÷2,5 mm i miąższości 800 mm.

Woda surowa wprowadzana była od góry do odżelaziacza o objętości 24,8 m³ przewodem o średnicy 200 mm. Prędkość filtracji wynosiła 7,0 m/h. Woda uzdatniona odprowadzana była z odżelaziaczy przewodem zbiorczym o średnicy 400 mm do zbiornika retencyjnego. Jego zadaniem było magazynowanie wody w celu zapewnienia właściwej pracy pomp drugiego stopnia. W zbiorniku tym następowało również odgazowanie wody. Jednokomorowy zbiornik, wykonany z żelbetonu w kształcie walca (poj. 300 m³), zaopatrzony był w wentylację grawitacyjną nawiewną i wywiewną w postaci kominków wentylacyjnych. Ze zbiornika woda pompami drugiego stopnia tłoczona była do sieci miejskiej. Podczas projektowania stacji uzdatniania przewidziano chlorowanie wody. Jednak uzyskana jakość wody uzdatnionej mieściła się w normach dla wody do picia, co wyeliminowało konieczność stosowania dezynfekcji.

W skład ujęcia „Park Miejski” wchodzi:

- 9 studni głębinowych, w tym 6 studni czwartorzędowo-trzeciorzędowych oraz 3 studnie kredowe,
- dwie otwarte komory,
- pompy drugiego stopnia,
- stacja zamkniętych filtrów pospiesznych.

Woda ze studni głębinowych pompowana była do dwóch komór o pojemności 125 m³, znajdujących się na stacji uzdatniania wody, w których była napowietrzana przy pomocy układu iniektorowego, zamontowanego bezpośrednio w komorach. Tak zorganizowany sposób napowietrzenia umożliwiał jednoczesne usunięcie siarkowodoru, a także wstępne utlenienie związków żelaza. Z komór woda napływała na pompy drugiego stopnia, a następnie na odżelaziacze. Budowa

odżelaziaczy oraz proces uzdatniania były identyczne jak na ujęciu „Motława”.

Uzdatnianie wód podziemnych po modernizacji

Modernizacja ujęcia „Motława” obejmowała wymianę aeratora i filtrów pospiesznych. Zastosowano technologię firmy Culligan, przy czym techniczne zasady procesu pozostały niezmiennione. Aerator stanowi zbiornik stalowy o pojemności 10 m³, na dnie którego zamontowano ruszt napowietrzający w postaci rury z PVC o średnicy zewnętrznej 63 mm. Do rusztu woda jest doprowadzana za pomocą pompy podnoszącej ciśnienie wody przed iniektorem. Zamontowany na przewodzie elektrozawór odcina dopływ wody do iniektora, gdy nie pracuje pompa iniektorowa. Woda przepływając pod zwiększonym ciśnieniem zasysa powietrze w strumienicy, które jest następnie uwalniane na ruszcie napowietrzającym. Na początku aerator był wypełniony pierścieniami Rashiga, a woda przepływa w kierunku z góry ku dołowi. Podczas eksploatacji aeratora wystąpiły problemy z przepływem wody. W wyniku gwałtownego natlenienia wody nastąpiło utlenienie związków żelaza(II) i wytworzenie form nierozpuszczalnych żelaza(III), które zatykały wolne przestrzenie w warstwie pierścieni, a to spowodowało spowolnienie przepływu i spadek ciśnienia za aeratorem. Z tego powodu usunięto pierścienie Rashiga z aeratora, co nie zmniejszyło efektywności napowietrzania wody. Tak przygotowana woda tłoczona jest na filtry typu Culligan HI FLO 19 TWIN. Jeden filtr stanowi zbiornik wypełniony warstwą filtracyjną, na którą składają się dwa minerały o różnej granulacji, tj. Cullcite (rodzaj antracytu) i Cullsan (rodzaj kwarcu) [4]. Prędkość filtracji wynosi 7,0 m/h. Złoża filtrów płukane są raz na dobę w kierunku od dołu ku górze. Na koniec płukania podaje się wodę z góry ku dołowi, aby wyplukać resztki zawiesin oraz uformować złożo. Charakterystyka granulometryczna materiałów filtracyjnych jest następująca:

◆ warstwa podtrzymująca:

- Cullsan o średnicy 25÷40 mm i miąższości 191 mm,
- Cullsan o średnicy 10÷18 mm i miąższości 140 mm,
- Cullsan o średnicy 6÷9 mm i miąższości 90 mm,
- Cullsan o średnicy 2÷3 mm i miąższości 89 mm,

◆ warstwa filtracyjna:

- Cullsan o wymiarach 0,6 mm × 0,8 mm i miąższości 273 mm,
- Cullcite o wymiarach 0,8 mm × 2,0 mm i miąższości 901 mm.

Praca filtrów jest w pełni zautomatyzowana. Zawory sterowane są elektrohydraulicznym zaworem pilotowym, który programuje otwieranie i zamykanie poszczególnych zaworów. Złoża filtracyjne są płukane z natężeniem przepływu 175 m³/h w czasie ok. 8 min, po czym kondycjonowane z natężeniem przepływu 107 m³/h w czasie ok. 5 min (spust pierwszego filtratu). Dane techniczne filtru są następujące [4]:

- minimalne (projektowane) natężenie przepływu: 39 m³/h,
- maksymalne (projektowane) natężenie przepływu: 79 m³/h,
- średnie (rzeczywiste) natężenie przepływu: 32 m³/h,
- maksymalne ciśnienie robocze: 5,0 bar,
- maksymalny spadek ciśnienia: 0,5 bar.

Po uruchomieniu nowych filtrów doszło do zakłóceń w procesie uzdatniania wody, przy czym podstawowym problemem było namnażanie się bakterii w złożach filtracyjnych. Wówczas zapobiegawczo zastosowano podchloryn sodu,

którego działanie było okresowe, jednak problem powracał. Podchloryn sodu uniemożliwiał rozwój błony biologicznej, co skutkowało niskim stopniem usuwania azotu amonowego z wody. Zrezygnowano więc ze stosowania środka chemicznego, zwiększając jedynie intensywność płukania złożów. Podchloryn sodu (2%) stosowano jedynie w sytuacjach awaryjnych (masowy wzrost liczby bakterii). Takie działanie przyniosło oczekiwane rezultaty po około czterech miesiącach. Woda uzdatniona spełniała wszystkie parametry wody przeznaczonej do spożycia.

Modernizacja ujęcia „Park Miejski” również obejmowała wymianę filtrów z zastosowaniem technologii firmy Culligan. Sposób przepływu wody pozostał niezmienniony. Prędkość filtracji wynosi 5,0 m/h (prędkość projektowana 14,0 m/h). Nowe filtry mają dane techniczne identyczne jak filtry zastosowane na ujęciu „Motława”, jednak różnią się składem złoża. Zastosowano w nich dodatkowo trzeci minerał – piroluzyt [6] (ruda manganu), którego zadaniem było usprawnienie procesu odmanganiania wody. Do prawidłowej pracy minerał ten wymagał aktywacji roztworem nadmanganianu potasu (2%) lub podchlorynem sodu podczas płukania. Podobnie jak na ujęciu „Motława”, w czasie rozruchu filtrów doszło do ponadnormatywnego namnażania się bakterii. Zgodnie z zaleceniami wykonawcy zastosowano podchloryn sodu, który miał spełniać rolę środka dezynfekującego oraz aktywatora warstwy piroluzytu. Jednakże stwierdzono nieprawidłowości w procesie płukania filtrów, gdyż nie usuwano wytrąconych związków żelaza i manganu. Aby wyeliminować te niedogodności obniżono odpływ popłuczyn i zwiększono średnicę kryz na dopływie wody surowej do filtrów. Zabiegi te poprawiły hydraulikę pracy filtrów oraz zwiększyły efekt płukania złożów filtracyjnych. Zrezygnowano także z podchlorynu sodu, co pozwoliło na rozwój błony biologicznej w złożo. To spowodowało obniżenie zawartości azotu amonowego w wodzie. Jednocześnie obniżyła się zawartość tlenu w wodzie uzdatnionej (nawet do 60% w stosunku do wody surowej).

Skuteczność uzdatniania wody przed i po modernizacji

Związki żelaza i manganu w ujmowanej wodzie podziemnej występują w niewielkich ilościach [7,8]. Do ich usuwania z wody zastosowano najprostszy układ technologiczny, tj. napowietrzanie i filtrację pospieszną.

Modernizację stacji uzdatniania wody z ujęcia „Motława” rozpoczęto 20 listopada 1996 r. Obejmowała ona głównie wymianę filtrów i aeratora. Z powodu niewystarczającej skuteczności napowietrzania wody trzeba było najpierw wymienić aerator, ponieważ średnia zawartość tlenu w wodzie po aeratorze wynosiła 2,8 gO₂/m³, co świadczyło o niskiej efektywności procesu napowietrzania. Z tego też względu nie mógł zostać zapoczątkowany proces nityfikacji, który na utlenienie 1 g azotu amonowego wymaga obecności tlenu w ilości około 4,6 gO₂. Zawartość tlenu w wodzie wystarczała jedynie do efektywnego usunięcia części związków żelaza, które jest usuwane w pierwszej kolejności, a dopiero później związków manganu i azotu amonowego. Z powodu niewystarczającego stopnia usuwania związków żelaza nie uzyskano obniżenia zawartości związków manganu w wodzie. W nowych filtrach żwir zastąpiono piaskiem kwarcowym (Cullsan) i antracytem (Cullcite), na skutek czego zwiększyła się skuteczność usuwania związków żelaza i manganu. Po zwiększeniu skuteczności natlenienia wody stwierdzono wyraźną obniżkę zawartości azotu amonowego w wodzie (tab. 2).

Tabela 2. Skuteczność uzdatniania wody z ujęcia „Mottawa” przed i po modernizacji (wartości średnie)

Wskaźnik, jednostka	Przed modernizacją (I–XI 1996)		Po modernizacji (1998–2000)		Wartość dopuszczalna [9]
	Woda surowa	Woda uzdatniona	Woda surowa	Woda uzdatniona	
Barwa, gPt/m ³	7	6	12	9	20
Mętność, g/m ³	3,7	3,0	2,0	0,1	5
pH,–	7,5	7,5	7,6	7,5	6,5÷8,5
Azot amonowy, gN/m ³	1,0	0,96	0,96	0,23	0,5
Azotany, gN/m ³	0,03	0,02	0,04	0,48	10
Azotyiny, gN/m ³	0,002	0,001	0,004	0,008	nie norm.
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,66	0,32	0,72	0,02	0,5
Mangan, gMn/m ³	0,10	0,09	0,10	0,03	0,1

Hydroliza związków żelaza(II), a następnie utlenianie jonów żelaza(II) przebiega łatwiej i szybciej, niż manganu(II) [7,8]. Wyraźną obniżkę zawartości żelaza ($<0,1 \text{ gFe/m}^3$) odnotowano już po dwóch miesiącach. W procesie filtracji przez złożo piaskowo-antracytowe ziarna pokrywają się w sposób naturalny tlenkiem manganu(IV), który ma zdolności sorpcyjne i utleniające w stosunku do jonów manganu(II). Czas wytworzenia aktywnej warstewki MnO_2 wynosił w badanym wypadku siedem miesięcy. W lipcu 1997 r. zaobserwowano obniżkę zawartości jonów manganu do $<0,05 \text{ gMn/m}^3$. Skuteczne usuwanie związków manganu w złożu wpracowanym uzyskano przy $\text{pH}=7,6$, pomimo iż proces ten przebiega sprawniej przy $\text{pH}=9,5$ [7]. Znaczące obniżenie zawartości azotu amonowego z $1,02 \text{ gNH}_3/\text{m}^3$ do $0,22 \text{ gNH}_3/\text{m}^3$ stwierdzono pod koniec marca 1997 r., a już pod koniec stycznia został zapoczątkowany proces nityfikacji. Najniższą zawartość azotu amonowego w wodzie ($0,01 \text{ gNH}_3/\text{m}^3$) zanotowano w październiku 1997 r. W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań wody w warunkach zaostrzonych wymagań w zakresie usuwania związków żelaza i manganu z wody, które zaczęły obowiązywać w 2000 r. [10]. Z porównania wyników badań widać, że wzrósł stopień usuwania związków żelaza, manganu i azotu amonowego z wody, w porównaniu z poprzednim okresem, oraz zostały spełnione warunki nowego rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2002 r. [11].

Głównym problemem uzdatniania wody z ujęcia „Park Miejski” był niewystarczający stopień usuwania azotu amonowego. Przed modernizacją często przekraczana była jego dopuszczalna zawartość, tj. $0,5 \text{ gNH}_3/\text{m}^3$, natomiast zawartość związków żelaza i manganu była w normie (tab. 4).

Tabela 3. Skuteczność uzdatniania wody z ujęcia „Mottawa” w warunkach zaostrzonych wymagań jakości wody [10] (wartości średnie)

Wskaźnik, jednostka	Po modernizacji (2001–2002)		Wartość dopuszczalna [10]
	woda surowa	woda uzdatniona	
Barwa, gPt/m ³	12	8	15
Mętność, NTU	2,6	0,1	1
pH,–	7,5	7,4	6,5÷9,5
Azot amonowy, gNH ₃ /m ³	1,14	0,11	0,5 (1,5)*
Azotany, gNO ₃ ⁻ /m ³	0,09	2,1	50
Azotyiny, gNO ₂ ⁻ /m ³	0,02	0,04	0,1
Żelazo ogólne, gFe/m ³	1,00	0,03	0,2
Mangan, gMn/m ³	0,12	0,02	0,05

* Wody podziemne niechlorowane

Jednakże z uwagi na dostosowanie polskich przepisów do zaostrzonych wymagań unijnych, zwłaszcza w zakresie usuwania związków żelaza i manganu, podjęto decyzję o modernizacji stacji uzdatniania wody. Modernizację rozpoczęto pod koniec września 2001 r., zastępując filtry z wypełnieniem żwirowym filtrami ze złożem trójwarstwowym, piaskowo-antracytowo-piroluzytowym.

Tabela 4. Skuteczność uzdatniania wody z ujęcia „Park Miejski” przed modernizacją (wartości średnie)

Wskaźnik, jednostka	Przed modernizacją (1998–2000)		Wartość dopuszczalna [9]
	woda surowa	woda uzdatniona	
Barwa, gPt/m ³	10	7	20
Mętność, g/m ³	1,1	0,2	5
pH,–	7,5	7,6	6,5÷8,5
Azot amonowy, gN/m ³	0,98	0,51	0,5
Azotany, gN/m ³	0,03	0,32	10
Azotyiny, gN/m ³	0,004	0,02	nie norm.
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,70	0,14	0,5
Mangan, gMn/m ³	0,08	0,06	0,1

Usuwanie związków żelaza do wartości śladowych odnotowano w marcu 2002 r., natomiast wyraźną obniżkę zawartości azotu amonowego stwierdzono dopiero w marcu 2003 r., po półtorarocznej eksploatacji filtrów (tab. 5). Prawdopodobną przyczyną braku efektów procesu nityfikacji był podchloryn sodu stosowany w dużej dawce podczas płukania filtrów (do aktywacji piroluzytu). Jego stężenie w końcowym okresie rozruchu filtrów wynosiło nawet 15%. Proces nityfikacji został zapoczątkowany dopiero po zaprzestaniu stosowania podchlorynu sodu, który działa niszcząco na bakterie nityfikacyjne, tj. w lutym 2003 r. Nie zaobserwowano procesu chemicznego utleniania azotu amonowego na złożu piroluzytowym. Tlenek manganu(IV) obecny w piroluzycie, mający właściwości sorpcyjne i utleniające w stosunku do jonu amonowego [7], nie spowodował jednak obniżki jego zawartości. Usuwanie azotu amonowego zachodziło z pewnością wskutek procesu nityfikacji, a nie utleniania, przy czym proces odmanganiania wody praktycznie nie zachodził. Skuteczne utlenianie manganu(II) tlenem przebiega dopiero przy $\text{pH}=9,5$. W celu obniżenia pH wymaganego do skutecznego utleniania związków manganu zastosowano podchloryn sodu, ponieważ normalny potencjał oksydacyjno-redukcyjny układu $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{4+}$ jest wyższy przy niższym pH wody [7]. Jednak

Tabela 5. Skuteczność uzdatniania wody z ujęcia „Park Miejski” w trakcie i po modernizacji (wartości średnie)

Wskaźnik, jednostka	Woda surowa (I 2002–IV 2003)	Woda uzdatniona		Wartość dopuszczalna [11]
		w trakcie modernizacji (I–XII 2002)	po modernizacji (III–IV 2003)	
Barwa, gPt/m ³	10	6	6	15
Mętność, NTU	1,2	0,0	0,0	1
pH, –	7,6	7,4	7,4	6,5–9,5
Azot amonowy, gNH ₃ /m ³	1,10	0,96	0,14	0,5 (1,5)*
Azotany, gNO ₃ ⁻ /m ³	0,09	0,20	1,58	50
Azotyny, gNO ₂ ⁻ /m ³	0,02	0,03	0,04	0,5
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,7	0,02	0,02	0,2
Mangan, gMn/m ³	0,08	0,08	0,05	0,05

* Wody podziemne niechlorowane

podchloryn sodu dawowany podczas płukania filtrów nie spowodował zapoczątkowania procesu usuwania związków manganu. Prawdopodobnie należało go dawkować w sposób ciągły, a to hamowałoby proces nityfikacji lub należało użyć nadmanganianu potasu. Mechanizm odmanganiania wody na złożu piroluzytowym jest oparty na katalitycznym utlenianiu manganu(II) w obecności stałego tlenku manganu(IV) w złożu filtracyjnym [7,8]. Jeśli procesy odżelaziania i odmanganiania prowadzone są wspólnie na jednym złożu, to wytrącone wodorotlenki żelaza(III) przenikają w głąb złoża i prawdopodobnie blokują dostęp odmanganianej wody do powierzchni piroluzytu i proces ten zostaje zahamowany. Wyraźne obniżenie zawartości związków manganu w wodzie zaobserwowano na początku maja 2003 r., kiedy zrezygnowano z dawkania podchlorynu sodu. Wówczas uzyskano zawartość manganu w wodzie uzdatnionej na poziomie 0,03 gMn/m³.

Podsumowanie

Zastosowanie do uzdatniania wody podziemnej filtrów ze złożem antracytowo-piaskowym dało zdecydowanie lepsze efekty niż w wypadku filtrów ze złożem żwirowym, przy czym dwuwarstwowe złożo antracytowo-piaskowe charakteryzowało się dłuższym cyklem filtracyjnym i wyższą sprawnością niż złożo żwirowe. W procesie uzdatniania wody z ujęcia „Motława” w pierwszej kolejności utleniane było żelazo(II), nieco później azot amonowy, a dopiero na końcu, tj. po siedmiu miesiącach wpracowywania złoża – mangan(II). Nie stwierdzono hamującego wpływu jonów żelaza(II) i jonu amonowego na usuwanie jonów manganu(II). Na większą skuteczność uzdatniania wody na złożach dwuwarstwowych miała również wpływ poprawa intensywności natlenienia wody. Deficyt tlenu powodował, że zahamowana została aktywność biochemiczna bakterii nityfikacyjnych, brakowało również tlenu do hydrolizy jonów manganu(II), które są bardziej trwałe niż jony żelaza, oraz do aktywacji wytworzonego tlenku manganu(IV). Prawdopodobnie następowała szybciej redukcja MnO₂ niż jego powtórne utlenienie.

Mechanizm odmanganiania wody z ujęcia „Park Miejski” na złożu piroluzytowym jest oparty na katalitycznym utlenianiu manganu(II) w złożu filtracyjnym. Początkowo stwierdzono jednak brak efektów usuwania manganu na tym złożu, za co prawdopodobnie odpowiedzialne były wytrącone wodorotlenki żelaza(III) zatrzymane na powierzchni stałego tlenku manganu(IV), blokujące w ten sposób dostęp odmanganianej wody do powierzchni piroluzytu. W trójwarstwowym

złożu filtracyjnym na warstwie piroluzytu znajduje się warstwa piasku, a na niej warstwa antracytu. Badania wykazały, że bez wstępnego odżelaziania wody nie można było uzyskać dobrych efektów odmanganiania. Nie zaobserwowano też procesu chemicznego utleniania azotu amonowego na złożu piroluzytowym, co potwierdza przypuszczenia o zablokowaniu powierzchni piroluzytu przez wytrącone związki żelaza(III). Skuteczne usuwanie związków żelaza na złożu piroluzytowym stwierdzono dopiero po pięciu miesiącach eksploatacji filtrów, natomiast na złożu dwuwarstwowym (ujęcie „Motława”) efekt ten uzyskano już po dwóch miesiącach. Po zaprzestaniu stosowania podchlorynu sodu, służącego do aktywacji piroluzytu, został zainicjowany proces nityfikacji, a na końcu dopiero wytworzyła się w sposób naturalny warstwa MnO₂, spełniająca rolę katalizatora w utlenianiu jonów Mn(II).

Doświadczenia zdobyte podczas uzdatniania wody na ujęciach w Tczewie przed i po modernizacji stacji filtrów wykazały, że skuteczne usuwanie związków żelaza, manganu i azotu amonowego z wody podziemnej zapewnił proces filtracji pospiesznej na dwuwarstwowym złożu antracytowo-piaskowym, po uprzednim efektywnym napowietrzeniu wody.

LITERATURA

- Praca zbiorowa: Operat wodnoprawny na pobór wody podziemnej z utworów trzeciorzędowych i kredowych z ujęcia miejskiego Motława w Tczewie. Biuro Studiów i Badań Geologicznych, Gdańsk 1995 (praca nie publikowana).
- Praca zbiorowa: Operat wodnoprawny na pobór wody podziemnej z utworów czwartorzędowo-trzeciorzędowych i kredowych z ujęcia miejskiego Park Miejski w Tczewie. Biuro Studiów i Badań Geologicznych, Gdańsk 1995 (praca nie publikowana).
- Praca zbiorowa: Dokumentacja Hydrogeologiczna miasta Tczew wraz z projektem badań modelowych. Warszawa 1983 (praca nie publikowana).
- Praca zbiorowa: Instrukcja obsługi stacji uzdatniania wody Motława w Tczewie. Wojewódzkie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, Oddział w Tczewie, Tczew, (praca nie publikowana).
- Praca zbiorowa: Instrukcja obsługi stacji uzdatniania wody dla miasta Tczewa. Krevox, Warszawa 1995 (praca nie publikowana).
- Praca zbiorowa: Projekt budowlano-wykonawczy modernizacji stacji uzdatniania wody Park Miejski w Tczewie. Instaland, 2001 (praca nie publikowana).

7. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ: *Oczyszczanie wody*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 2000.
8. J. NAWROCKI, S. BIŁOZOR: *Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne*. PWN, Warszawa–Poznań 2000.
9. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z 4 maja 1990 r., zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze (Dz. U. nr 35, poz. 205).
10. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 4 września 2000 r. w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organy Inspekcji Sanitarnej (Dz. U. nr 82, poz. 937).
11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 19 listopada 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. nr 203, poz. 1718).

Pepliński, M., Malecki, A., Bojanowska, I. Assessing the Influence of the Filter Bed Type on the Efficiency of Groundwater Treatment: The Waterworks of Tczew. *Ochrona Środowiska* 2004, Vol. 26, No. 1, pp. 33–38.

Abstract: The groundwater intake which serves the needs of municipal water supply for the city of Tczew was characterized. The filter beds were investigated for their contribution to the efficiency of water treatment. The study was carried out before and after the retrofit of the rapid filter station, where the old filter

beds were replaced with new ones made by Culligan, and the results were compared. There were operating problems, which appeared after modernization. Special consideration was given to the bacteriological quality of the filtered water. The study has shown that ground water can be treated efficiently on ripened sand and anthracite beds, which were found to be as efficient as the pyrolusite catalytic beds.

Keywords: Groundwater treatment, rapid filtration, catalytic filter bed.