

Zbigniew Łepkowski

Technologia uzdatniania wody odrzańskiej dla Szczecina

Szczecin, liczący obecnie 420 tysięcy mieszkańców, jest zaopatrywany w wodę z trzech głównych źródeł, tj. Wodociągu Miedwie (75 tys. m³/d), Wodociągu Pomorzany (35 tys. m³/d) oraz z ujęć głębinowych (40 tys. m³/d). Niedobór wody w okresie maksymalnego zapotrzebowania wynosi obecnie około 20 tys. m³/d. Brak jest zatem całkowicie rezerwy ogólnomiejskiej, zaś niedobór wody w okresie perspektywnym wynosi około 70 tys. m³/d. Brak rezerwy w zbiorniku Miedwie, przestawiający układ Wodociągu Pomorzany oraz ograniczenia w eksploatacji ujęć głębinowych, nie gwarantują dostawy wody w okresie maksymalnego zapotrzebowania. Ponieważ jakość wody we wszystkich źródłach nie jest dobra, a stosowane techniki jej uzdatniania są mało skuteczne, stąd też jakość produkowanej wody nie zawsze zadowala odbiorców. W tej sytuacji podjęto decyzję o budowie nowego, nowoczesnego zakładu wodociągowego, ujmującego wodę z Odry, który stanie się głównym źródłem zaopatrzenia Szczecina w wodę o dobrej jakości. Jednocześnie przewiduje się modernizację technologii uzdatniania wody w drugim co do wielkości zakładzie wodociągowym – Wodociągu Miedwie.

Mając na uwadze trudności, jakie zawsze występują podczas opracowywania technologii uzdatniania silnie zanieczyszczonych wód powierzchniowych, jak też z wielkości przedsięwzięcia, podjęto decyzję o konieczności wykonania badań technologicznych, które przeprowadzono na wybudowanej w tym celu stacji pilotowej. W wyniku badań prowadzonych w okresie od października 1991 r. do stycznia 1995 r. zaproponowano schemat technologiczny uzdatniania wody oraz określono jego podstawowe parametry. W niniejszej pracy omówiono rezultaty przeprowadzonych badań, ze szczególnym uwzględnieniem występujących trudności technologicznych w uzyskaniu wody o wysokiej jakości.

Jakość ujmowanej wody odrzańskiej

W tabeli 1 zebrano wyniki analiz wody odrzańskiej z dziesięciolecia obejmującego okres doświadczeń nad doбором technologii jej uzdatniania (1981–1990) oraz z okresu prowadzenia badań na stacji pilotowej (1991–1995).

W okresie badań woda miała temperaturę powyżej zera (małe prawdopodobieństwo zamarzania), co ma istotne znaczenie dla warunków jej natlenienia w okresie zimowym, przy czym deficyty tlenowe obserwowano w okresie letnim. Mętność wody była niewielka, co wynikało z dużego obszaru zalewowego kanału i znacznego spowolnienia przepływu wody w rzece. Woda charakteryzowała się podwyższonym poziomem substancji organicznych, głównie pochodzenia ściekowego, oraz podwyższoną

barwą. Odczyn wody, najczęściej zasadowy, wyraźnie wzrastał w okresach rozwoju planktonu (kwiecień–maj). Zawartość azotu amonowego była wyraźnie podwyższona, i to nie tylko w okresie zimowym, lecz również letnim, co było zjawiskiem nietypowym dla wód powierzchniowych. Podwyższona była również zawartość związków manganu, przy czym najwyższy poziom osiągały one w okresie od maja do sierpnia. Zakwity planktonu obserwowano wiosną i latem (najczęściej okrzemki), a niekiedy jesienią. Woda w okresie wiosennym (styczeń–marzec) miała właściwości korozyjne. Z pozostałych wskaźników jakości wody, w ilościach przekraczających wartości określone dla I klasy czystości wód, oznaczano: fenole, BZT₅, azot azotanowy, miedź i substancje rozpuszczone. Fosforany i cynk występowały w ilościach pozaklasowych.

Podstawowe problemy technologiczne

Znaczna część wskaźników jakościowych dyskwalifikuje wodę odrzańską jako źródło zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do celów komunalnych. Wobec konieczności ujmowania takiej wody dla zaopatrzenia Szczecina w wodę wodociągową, należy się liczyć również z koniecznością zastosowania złożonej i kosztownej technologii jej uzdatniania.

Podstawowym problemem technologicznym było obniżenie zawartości substancji organicznych w wodzie we wstępnych procesach uzdatniania do takiego poziomu, który kwalifikowałby ją do dalszego uzdatniania w procesie sorpcji na filtrach węglowych. Należało również we wstępnych procesach usunąć związki manganu występujące w połączeniach organicznych. Problem stanowił też azot amonowy, który w tradycyjnych technologiach, przy rezygnacji z procesu chlorowania wstępnego, jest trudno usuwalny.

Woda ujmowana z Kanału Kurowskiego, stanowiącego duże rozlewisko Odry, jest z reguły klarowna, szczególnie zimą, w związku z czym jest mało podatna na koagulację. Powoduje to potrzebę zastosowania środków wspomagających flokulację, jednakże efekty koagulacji mimo wszystko mogą być niewystarczające i niezbędne staje się dwustopniowe prowadzenie tego procesu, w formie koagulacji objętościowej i kontaktowej.

Występujące deficyty tlenowe w samej rzece i na poszczególnych etapach uzdatniania wody wymagają zastosowania wielopunktowego utleniania wody, co może być osiągnięte w trakcie wstępnego i końcowego ozonowania, jak również podczas doprowadzania powietrza do procesu filtracji suchej.

Wiele problemów występujących podczas uzdatniania silnie zanieczyszczonych wód powierzchniowych rozwiązywano dotąd przez stosowanie wstępnego utleniania, głównie chlorem i ozonem. Utleniano w ten sposób azot amonowy, mangan, dezakty-

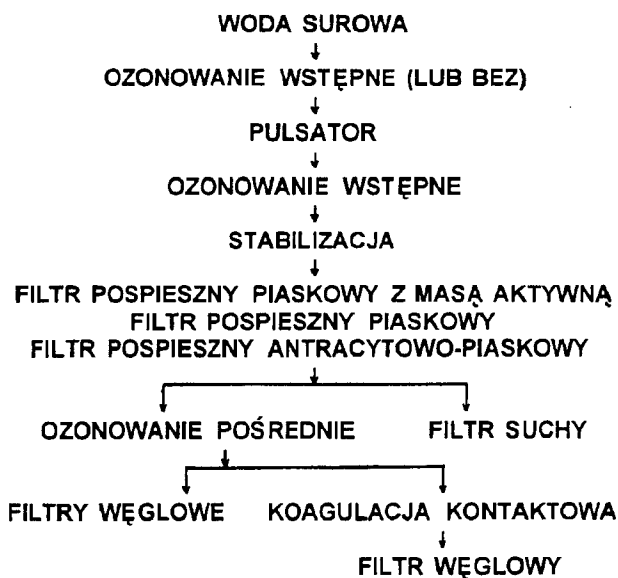
Tabela 1. Jakość wody odrzańskiej

Wskaźnik, parametr	1981–1990			1991–1995		
	min.	śr.	maks.	min.	śr.	maks.
Temperatura, °C	0,1	10,9	23,2	1,0	11,5	24,5
Mętność, g/m ³	0	8,6	40	3	10	22
Zapach, –	–	–	–	z1R	z2R	z3G
Barwa, gPt/m ³	12	27	48	15	25	37
pH, –	6,9	7,6	8,3	7,4	7,8	8,5
Zasadowość, val/m ³	1,7	2,8	3,9	1,95	2,73	3,30
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,01	0,40	1,15	0,13	0,47	0,85
Mangan, gMn/m ³	0,04	0,24	0,85	0,07	0,22	0,60
Wapń, gCa/m ³	–	–	–	72,0	89,9	107,0
Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	178	242	320	246	286	352
Dwutlenek węgla, gCO ₂ /m ³	–	–	–	0	6,9	19,4
Indeks nasycenia, –	–	–	–	+0,65	+0,11	–0,27
Azot amonowy, gN/m ³	0	0,57	3,92	0,10	0,47	2,10
Azot azotynowy, gN/m ³	0	0,016	0,300	0,018	0,060	0,204
Azot azotanowy, gN/m ³	0,10	1,93	6,00	0,21	1,43	3,84
Utlenialność, gO ₂ /m ³	4,7	7,6	13,5	5,5	8,9	16,5
Absorpcja UV, m ⁻¹	–	–	–	14,75	20,32	33,83
Detergenty anionowe g/m ³	0	0,053	0,170	0,029	0,085	0,179
Fenole, g/m ³	0	0,002	0,060	0	0,003	0,017
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	51	102	202	80	120	191
Fosforany, gPO ₄ ³⁻ /m ³	0,08	0,77	2,94	0,15	0,49	1,17
Fluorki, gF ⁻ /m ³	0	0,33	0,92	0,14	0,38	0,54
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	61,7	95,3	154,7	88,5	107,2	138,2
Tlen rozpuszczony, gO ₂ /m ³	0,6	7,4	13,2	0,6	7,6	14,2
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	–	–	–	2,0	3,7	5,3
Chrom (VI), gCr /m ³	–	–	–	0	0,002	0,027
Arsen, gAs/m ³	–	–	–	0	0	0
Cynk, gZn/m ³	–	–	–	0,010	0,095	0,460
Kadm, gCd/m ³	–	–	–	0	0,002	0,004
Miedź, gCu/m ³	–	–	–	0	0,002	0,016
Nikiel, gNi/m ³	–	–	–	0	0,002	0,010
Ołów, gPb/m ³	–	–	–	0,002	0,017	0,050
Srebro, gAg/m ³	–	–	–	0	0	0,001
Substancje rozpuszczone, g/m ³	327	509	720	255	531	676
Plankton, org./cm ³						
– razem	–	–	–	1.275	13.450	72.700
– okrzemki	–	–	–	280	4.970	60.000
– zielenice	–	–	–	440	5.900	17.300
– sinice	–	–	–	0	2.150	62.300
– inne	–	–	–	15	375	2.100

wowano bakterie i plankton, obniżano barwę wody, zmniejszano zużycie koagulantu nawet o 50% oraz wspomagano proces koagulacji. Obecnie, kiedy od kilkunastu lat znane są już rakotwórcze właściwości związków chlorowcopochodnych, zaniechano w zasadzie procesu wstępnego chlorowania wody. Podobne opinie, które pojawiły się z pewnym opóźnieniem, dotyczą także ozonowania wód zanieczyszczonych i powstawania substancji bromowcopochodnych. W wielu krajach oba te procesy zostały wyeliminowane jako wstępne zabiegi technologiczne. Respektowanie takich zaleceń było poważnym utrudnieniem technologicznym i wymagało stosowania alternatywnych rozwiązań w procesie uzdatniania. Znacznie utrudniona jest także eliminacja żywych organizmów planktonowych (przy rezygnacji z procesu wstępnego chlorowania i ozonowania). Efekty uzyskiwane w procesie koagulacji są niezadowalające i dopiero właściwie dobrane procesy filtracji dają pożądany efekt.

Układ modelowy uzdatniania wody

W celu wyboru optymalnej technologii oczyszczania wody oraz parametrów poszczególnych procesów wybudowano układ modelowy. Badaniom poddano poszczególne procesy jednostkowe oraz zestawienia tych procesów w różnych układach technolo-



Rys. 1. Schemat badanego układu technologicznego

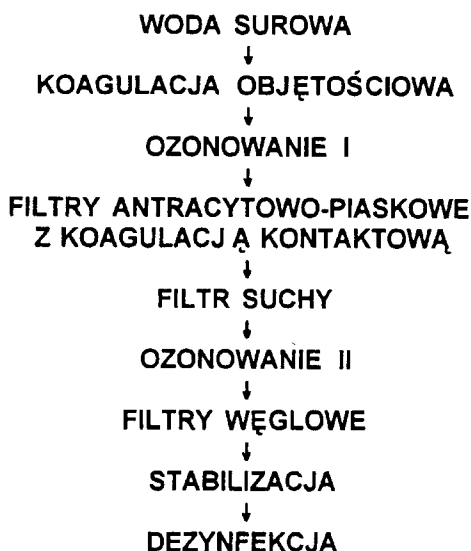
gicznych. Początkowo badano dwa równoległe układy: jeden z chlorowaniem wstępnym, będący kontynuacją wcześniejszych prac, oraz drugi – z wstępnym ozonowaniem wody. Po roku prac definitywnie zrezygnowano z badania układu z chlorowaniem wstępnym i dalszym próbom poddano układ, którego schemat przedstawiono na rysunku 1. Badania prowadzono przez trzy lata na stacji pilotowej o wydajności $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$, pracującej w ruchu ciągłym.

Podstawowym celem badań było opracowanie wytycznych technologicznych, które stanowiłyby podstawę do zaprojektowania zakładu uzdatniania wody. Wytyczne te powinny zawierać:

- rodzaj i układ technologiczny urządzeń,
- parametry hydrauliczne i czasy kontaktu,
- rodzaj i dawki stosowanych reagentów,
- parametry złożeń filtracyjnych i rodzaj węgla aktywnego,
- warunki eksploatacyjne urządzeń, a szczególnie warunki płukania filtrów, odprowadzania osadów oraz wymiany węgla aktywnych.

Schemat technologiczny uzdatniania wody

W wyniku intensywnych badań technologicznych opracowano schemat procesu uzdatniania wody, która spełniać będzie polskie i europejskie kryteria jakościowe. Wyjątkowo niekorzystna jakość ujmowanej wody wymusiła przyjęcie skomplikowanego i rozbudowanego układu technologicznego (rys.2).



Rys. 2. Schemat przyjętego układu technologicznego

Jako pierwszy – podstawowy – proces technologiczny przewiduje się koagulowanie domieszek wody w osadniku typu pulsator. Rezygnuje się z procesów chlorowania wstępnego i ozonowania wstępnego wody (przed koagulacją), pomimo iż oba te procesy dają dobre efekty technologiczne i wspomagają proces koagulacji, zjednoczonym obniżeniem dawki koagulantu. Powyższą decyzję podjęto w związku z udowodnionymi już szkodliwymi następstwami utleniania domieszek wód silnie zanieczyszczonych. Jednocześnie zostały przez władze sanitarne kraju dopuszczone (po długim okresie zakazu) zagraniczne środki wspomagające skutecznie proces koagulacji, które częściowo zastępują działanie środków utleniających (zwiększenie podatności wody na koagulację). Uzyskiwane w tych procesach efekty

utleniania azotu amonowego i związków manganu osiągnięte zostały w dalszych zabiegach technologicznych. W procesie koagulacji objętościowej w pulsatorze zalecono stosowanie siarczanu glinu, gdyż próby z zastosowaniem innych koagulantów dały gorsze efekty. Proces koagulacji, szczególnie w okresie zimowym, winien być wspomagany flokulantem. Najlepsze efekty w tym zakresie uzyskano stosując polielektrolity anionowe typu Magnafloc LT.

Pierwszy stopień ozonowania wody zastosowano po procesie koagulacji, w którym zostaną usunięte podstawowe zanieczyszczenia. Uzyskuje się w ten sposób ograniczenie ilości powstających substancji szkodliwych (np. bromianów), a także zmniejszenie stosowanej dawki ozonu.

Filtracja pospieszna będzie realizowana na filtrach dwuwarstwowych, antracytowo-piaskowych, również ze względu na przewidywany proces koagulacji kontaktowej w tych złożach. Drugi stopień koagulacji wody będzie stosowany ze względu na potrzebę dalszego obniżenia poziomu substancji organicznych oraz planktonu.

W celu obniżenia w wodzie zawartości azotu amonowego (głównie) i związków manganu (dodatkowo) bardzo skuteczny okazał się proces filtracji suchej. Przeprowadzone badania wykazały, że gorsze wyniki uzyskuje się jedynie w pierwszym okresie pracy filtru. Niezbędny jest zatem wstępny okres wpracowania złoża, potrzebny do rozwoju bakterii nityfikacyjnych i uzyskania właściwości katalitycznych złoża, co trwa niestety około pół roku.

Kolejnym procesem technologicznym jest pośrednie ozonowanie wody, zastosowane przed filtrami węglowymi. Zmieniając strukturę związków i wzbogacając wodę w tlen usprawnia ono dalsze procesy technologiczne.

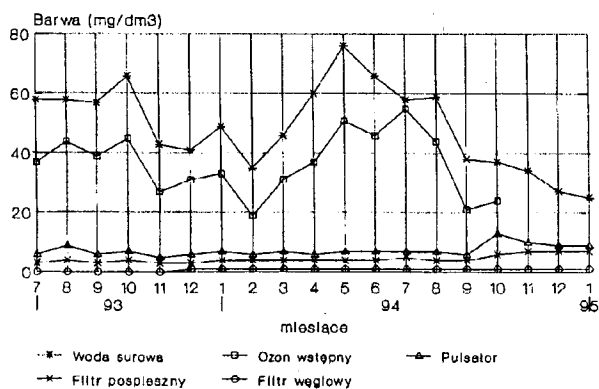
Dla ostatecznej poprawy jakości wody, tj. usunięcia substancji szkodliwych, które przedostały się przez proces wstępny lub pojawiły się jako niepożądane skutki procesów utleniania, oraz dla poprawy właściwości organoleptycznych wody zastosowano sorpcję na węglu aktywnym. Najlepszym węglem do zastosowania w wodociągu szczecińskim okazał się Chemviron F400. Czas pracy złoża do wyczerpania podstawowych zdolności sorpcyjnych wynosił 8 miesięcy, a czas jego eksploatacji może być jeszcze dłuższy.

Do stabilizacji wody przewidziano sodę, natomiast do dezynfekcji przyjęto dwutlenek chloru, co zapobiega powstawaniu rakotwórczych trihalometanów, których prekursorzy występują nawet w wodzie po filtrach węglowych.

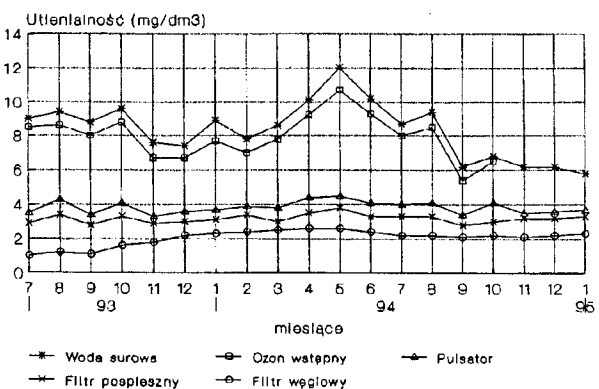
Efektywność przyjętej technologii

Efektywność poszczególnych procesów technologicznych i całej technologii można ocenić analizując stopień obniżania wartości poszczególnych wskaźników jakości wody. Jako charakterystyczne wskaźniki wybrano barwę, utlenialność, mangan, azot amonowy, fitoplankton oraz potencjał tworzenia trihalometanów. Przebieg zmian tych parametrów ilustrują rysunki 3+10. Substancje wywołujące barwę wody usuwane były skutecznie w procesach koagulacji i ozonowania (rys.3). Na filtry węglowe kierowana była już woda o minimalnej barwie, a barwa wody po tych filtrach była bliska zeru.

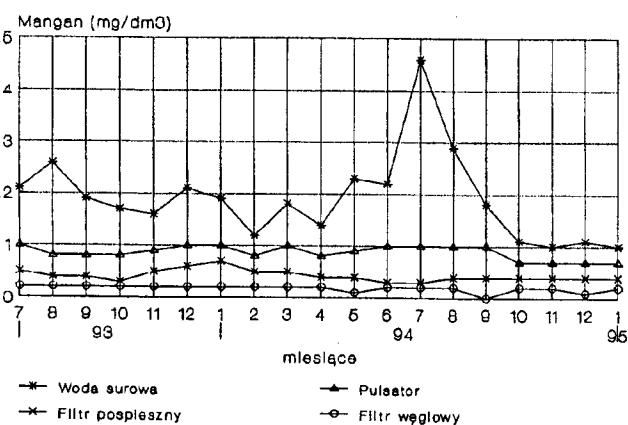
Zawartość substancji organicznych była obniżana najefektywniej w procesie koagulacji objętościowej w pulsatorze (rys.4). Ozonowanie wody oraz filtracja na złożu piaskowym dawały w tym zakresie efekt niewielki. Woda kierowana na filtr węglowy miała jeszcze znaczny ładunek zanieczyszczeń organicznych, co



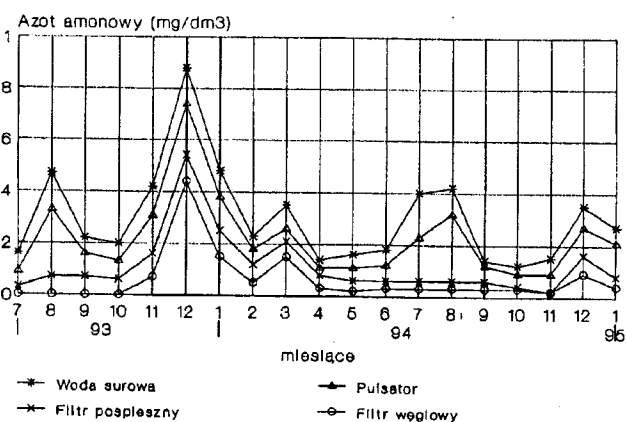
Rys. 3. Efektywność usuwania barwy



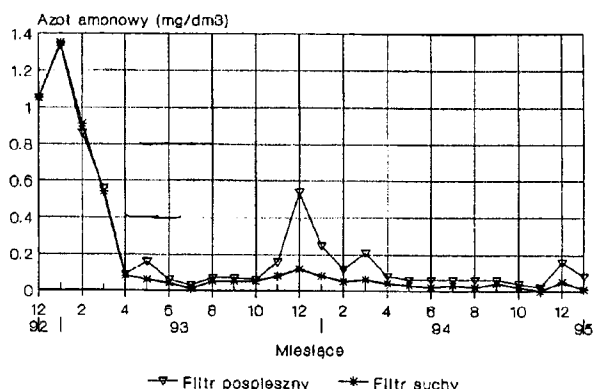
Rys. 4. Efektywność usuwania utlenialności



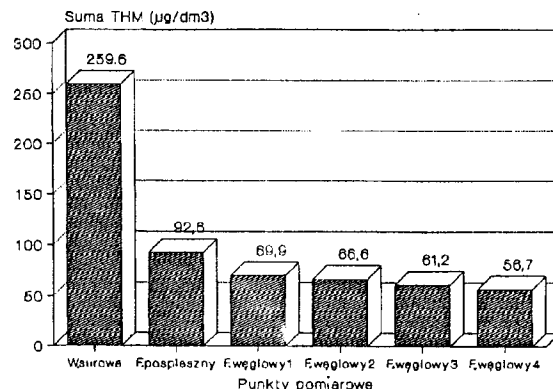
Rys. 5. Efektywność usuwania związków manganu



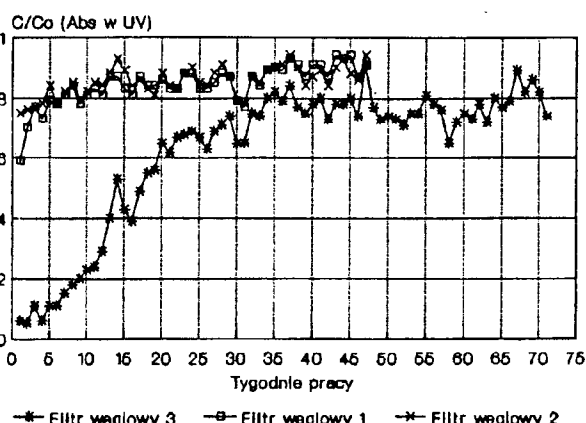
Rys. 6. Efektywność usuwania azotu amonowego



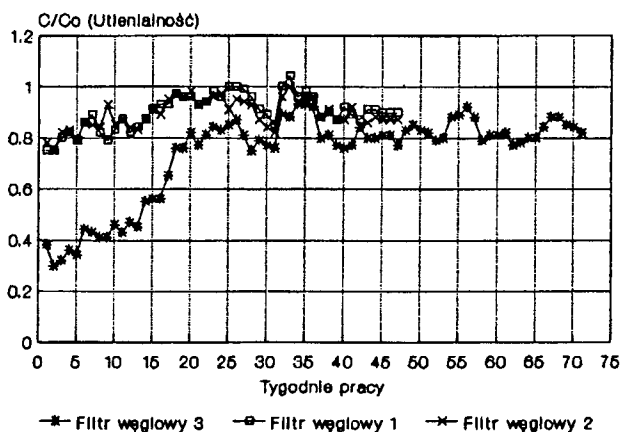
Rys. 7. Efektywność usuwania azotu amonowego



Rys. 8. Potencjał tworzenia THM-ów



Rys. 9. Krzywe przebiegu filtrów węglowych (absorpcja UV)



Rys. 10. Krzywe przebiegu filtrów węglowych (utlenialność)

Tabela 2. Jakość wody uzdatnionej

Wskaźnik, jednostka	min.	śr.	maks.
Mętność, g/m ³	0	0	0
Zapach (z/g), –	bz/bz	bz/1R	1R/1R
Barwa, gPt/m ³	0	0	1
pH, –	7,2	7,4	7,7
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0	0	0,01
Mangan, gMn/m ³	0	0,02	0,03
Utlenialność, gO ₂ /m ³	0,7	1,6	2,6
Azot amonowy, gN/m ³	0	0,08	0,52
Azot azotynowy, gN/m ³	0	0,017	0,165
Azot azotanowy, gN/m ³	0,69	1,69	3,80
Detergenty anionowe, g/m ³	0,011	0,034	0,048
Absorpcja UV, m ⁻¹	0,25	2,31	5,07
Fenole, g/m ³	0	0	0,002
Chrom (VI), gCr/m ³	0	0	0
Cynk, gZn/m ³	0,005	0,008	0,014
Kadm, gCd/m ³	0	0	0
Miedź, gCu/m ³	0	0	0
Nikiel, gNi/m ³	0	0	0
Ołów, gPb/m ³	0	0	0
Srebro, gAg/m ³	0	0	0
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	104	117	134
Fluorki, gF ⁻ /m ³	0,16	0,23	0,33
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	110,6	136,7	179,0
Substancje rozp., g/m ³	500	559	624
Plankton ogółem, org./cm ³	0	6	12
Indeks nasycenia, –	-0,02	-0,27	-0,52
Cyjanki wolne, gCN ⁻ /m ³	0	0	0
Lindan (gamma HCH), g/m ³	0	0	0
DDT i jego metabolity, g/m ³	0	0	0
Metoksychlor, g/m ³	0	0	0
2,4-D, g/m ³	0	0	0
Benzo(a)piren, ng/dm ³	0	0	0
*Chloroform, µg/dm ³	0	0,3	0,8
*Dichlorobromometan, µg/dm ³	0	0,3	0,9
*Dibromochlorometan, µg/dm ³	0	0,1	0,4
*Bromoform, µg/dm ³	0	0	0
*Suma THM, µg/dm ³	0	0,7	2,1

* – po dezynfekcji dwutlenkiem chloru

przyspieszało wyczerpywanie jego zdolności sorpcyjnych. Na filtrze węglowym następowało znaczne obniżenie zawartości substancji organicznych, a filtrat miał już zadowalający, niski poziom tych substancji.

Usuwanie związków manganu następowało we wszystkich procesach podstawowych (rys.5), a szczególnie w procesie filtra-

cji suchej (do <0,03 gMn/m³). Usuwanie azotu amonowego zachodziło również we wszystkich procesach (rys.6), przy czym przy większych jego ilościach najlepsze efekty uzyskano na filtrze suchym (rys.7), po początkowym okresie jego wpracowania. Pewne efekty usuwania azotu amonowego uzyskano też na węglach aktywnych, przy czym najlepsze właściwości wykazywał w tym zakresie węgiel Picabiol.

Efektywność procesu technologicznego można ocenić również na podstawie obniżania potencjału tworzenia THM-ów w wodzie (rys.8). Dało się tu zauważyć największy efekt procesu koagulacji wody i niewielki efekt procesu sorpcji na węglu aktywnym.

O efektach pracy filtrów wypełnionych węglem aktywnym decydują głównie właściwości sorpcyjne węgla. Szybkie wyczerpywanie się jego zdolności sorpcyjnych wymaga częstej regeneracji węgla i jest on wtedy zbyt drogim środkiem technologicznym. Na ocenę właściwości badanych węgli aktywnych w tym zakresie pozwalają krzywe przebiegu filtrów węglowych (rys.9 i 10). Najwyższą efektywność wykazywał węgiel Chemviron F400, dla którego okres do wyczerpania się podstawowych zdolności sorpcyjnych był najdłuższy i wynosił 8 miesięcy.

Podsumowanie

Zaproponowany układ technologiczny uzdatniania wody odrzańskiej pozwala na uzyskanie wody o wysokich parametrach jakościowych (tab.2). Woda ma bardzo dobre właściwości organoleptyczne i niski poziom substancji organicznych. Usunięto z niej praktycznie całkowicie związki żelaza i manganu. Azot amonowy, którego zawartość została obniżona do poziomu dopuszczalnego, będzie jeszcze skuteczniej usuwany po dłuższym czasie eksploatacji urządzeń. Poziom mikrozanieczyszczeń zmniejszony został do minimum, woda ma też małą tendencję do tworzenia związków rakotwórczych (bromiany, chlorowcopolochodne). Stopień czystości wody i jej stabilność pozwalają na dłuższy czas jej przetrzymywania i przesyłu, co przy rozległej strefie zasilania ma istotne znaczenie.

Należy oczekiwać na szybkie zaprojektowanie i realizację tej tak potrzebnej w Szczecinie inwestycji.

Technology of Odra River Water Treatment for Municipal Supply in the City of Szczecin

The new waterworks for the city of Szczecin (which are now under construction) will make use of an intake drawing highly polluted water from the river Odra. In this connection, pilot-scale investigations were run to support the design of the technological train. The paper presents the results

of investigations (first of that type in Poland) which aimed at intensifying the treatment of highly polluted river water before passage to the activated carbon filters.