

Stanisław A. Rybicki
Bogumił Kubala

EFEKTYWNOŚĆ DZIAŁANIA WĘGLA AKTYWNEGO W PRAKTYCE ZAKŁADU WODOCIĄGOWEGO

Wodociąg dla Dębicy, ujmujący wodę z rzeki Wisłoki, zaprojektowano w Biurze Projektów Budownictwa Komunalnego w Krakowie w latach 1953—1955. Wskaźnikiem jakości wody, który zdeterminował układ technologiczny była mętność. Obiekt oddano do użytku w 1958 roku. W pierwszym okresie eksploatacji konwencjonalny układ technologiczny (osadnik wstępny, koagulacja, osadnik pokoagulacyjny, filtry pospieszne, dezynfekcja chlorem) zapewnił dobrą jakość uzdatnionej wody. Urządzenia do koagulacji czynne były przez niewielką część roku, tj. przy podwyższonych przepływach rzeki, kiedy mętność sięgała od kilkudziesięciu do kilku tysięcy g/m^3 . Przeważnie eksploatowano stację z wyłączonym procesem koagulacji.

Naturalne warunki zlewni Wisłoki do przekroju ujęcia (jej powierzchnia wynosi tu około $2600 km^2$) są w miarę korzystne. Zalesienie wynosi 57% (decydują o tym górzyste, silnie zalesione zlewnie dopływów Wisłoki), a grunty orne stanowią 37% powierzchni. W zlewni są dwa znacznie większe miasta (Jasło i Gorlice) z dość rozbudowanym przemysłem (trzy rafinerie ropy naftowej, fabryka przemysłu maszynowego, fabryka sadzy technicznej, przetwórnia owoców i warzyw, mleczarnie i inne). Rozwój miast, przemysłu i rolnictwa w zlewni Wisłoki, przebiegający intensywnie w latach siedemdziesiątych, przy braku potrzebnych urządzeń do oczyszczania ścieków i nie zawsze prawidłowym gospodarowaniu rolniczym, wpłynęły niekorzystnie na jakość wody tej rzeki. W ujmowanej dla Dębicy wodzie pojawiły się domieszki takie jak fenol (nawet powyżej $0,01 g/m^3$), ekstrakt eterowy (do $30 g/m^3$), barwa (do $40 gPt/m^3$), utleniałość (do $20 g O_2/m^3$), wysoki poziom zanieczyszczeń bakteriologicznych, a także substancje powodujące nieprzyjemny smak i zapach wody rzecznej, a nawet uzdatnionej (np. chlorofenole). Ich usunięcie nie było możliwe w istniejącej stacji uzdatniania. Wydajność tej stacji wynosiła zgodnie z projektem $90 dm^3/s$. Po kilkunastu latach intensywnego rozwoju miasta pojawił się wyraźny deficyt wody. W połowie lat siedemdziesiątych podjęto prace koncepcyjne nad generalnymi rozwiązaniami zaopatrzenia Dębicy w wodę. Ze względu na możliwości techniczne i finansowe zdecydowano, że w pierwszej kolejności będzie rozbudowana i zmodernizowana istniejąca stacja uzdatniania tak, że jej wydajność wzrośnie do $180 dm^3/s$

i zostaną wprowadzone dodatkowe urządzenia technologiczne.

Dla uzyskania potrzebnych danych zostały przeprowadzone badania analityczne i technologiczne w skali laboratoryjnej, dotyczące koagulacji, sedymentacji, filtracji, a także sorpcji [1]. Badania nad przydatnością złóż węglowych przeprowadzono wykorzystując węgiel aktywny Carbopol Z-4, ułożony w dwóch warstwach, górnej o uziarnieniu $0,75-1,5 mm$ i wysokości $70 cm$ i dolnej o uziarnieniu $1-3 mm$ i wysokości $30 cm$; założono prędkość filtracji $8 m/h$. Stwierdzono wyraźną efektywność w zakresie usuwania mętności, barwy, fenoli, chlorofenoli, natomiast brak było skuteczności w usuwaniu ekstraktu eterowego. W badaniach tych dawkowano chlor do punktu przełamania. Zwrócono też uwagę na występowanie w wodzie rzecznej znacznej ilości glonów ($4 tys. okrzemek$ w $1 cm^3$ wody).

Projekt, realizacja i rozruch stacji

Projekt wykonany w BPBK w Krakowie (ukończony w 1979 r.) przewidywał w zmodernizowanej stacji uzdatniania następujące operacje technologiczne: wstępne chlorowanie, sedymentację w osadnikach wstępnych, koagulację, sedymentację w osadnikach pokoagulacyjnych, filtrację pospieszną, sorpcję na złożach węglowych i dezynfekcję chlorem (rys. 1). Zaprojektowano ciśnieniowe filtry sorpcyjne w formie 6 komór, każda o średnicy $3,0 m$, wypełnionych węglem Carbopol Z-4. Założono następujące warstwy: o granulacji $5-10 mm$ i grubości $30 cm$, granulacji $1,5-3,0 mm$ i grubości $40 cm$, $1,0-3,0 mm$ i grubości $30 cm$ oraz $1-1,5 mm$ i grubości $60 cm$. Czas przepływu liczony nad pustą komorą, przy wydajności $0,18 m^3/s$, wynosi około 5 minut, szybkość przepływu $15 m/h$ [3]. Projekt zakładał, że złoża węglowe będą oczyszczały zwykle 50% ilości uzdatnianej wody, której całość będzie tam oczyszczona przy występowaniu awaryjnych zanieczyszczeń rzeki.

Realizacja obiektów przebiegała z podobnymi kłopotami jak przy większości obiektów wodociągowych. W szczególności występowały trudności w uzyskaniu węgla o cechach założonych w projekcie. Jedynym wyjściem z tej sytuacji było wyrażenie zgody na przyjęcie takich gatunków i granulacji węgla, jakimi dysponował dostawca. Ostatecznie połowę komór (oznaczonych nr 1—3) wypełniono węglem aktywnym formowanym PN 9789, wyprodukowanym przez Hajnowskie Przedsiębiorstwo Suche Destylacji Drewna, natomiast

pozostałe komory (nr 4—6) wypełniono węglem nieznanego bliżej pochodzenia. Przypuszcza się, że był to regenerowany węgiel firmy NORIT. Węgiel formowany PN 9789 (oznaczony nr 1) miał atest dostawcy, określający dla podanych wartości ciężaru nasypowego wytrzymałość mechaniczną, ścieralność oraz chłonność dynamiczną i statyczną par benzenu. Podano także frakcję uziarnienia o największym udziale (granulację od 3,0 do 6,3 mm miało 75—78% ilości węgla) oraz nasiąkliwość wodną. Drugi węgiel nie miał atestu dostawcy. Wspólną cechą obu rodzajów węgla było duże uziarnienie i dość wysoki ciężar nasypowy.

Poznański Oddział b. Instytutu Kształtowania Środowiska przeprowadził dla dostarczonych węgla szereg specjalnych badań (których przeprowadzenie przekracza możliwości analityczne przeciętnego zakładu wodociągowego) [2]. Na wstępie sprawdzono (wg normy DIN 19603) ciężar nasypowy, wilgotność, zawartość popiołu, zdolność dechloracyjną i zdolność do pochłaniania fenolu. Okazało się, że węgiel nr 1 ma lepszą zdolność wchłaniania fenolu, a węgiel nr 2 jest korzystniejszy przy dechlorowaniu wody. Inne cechy tych węgla były zbliżone.

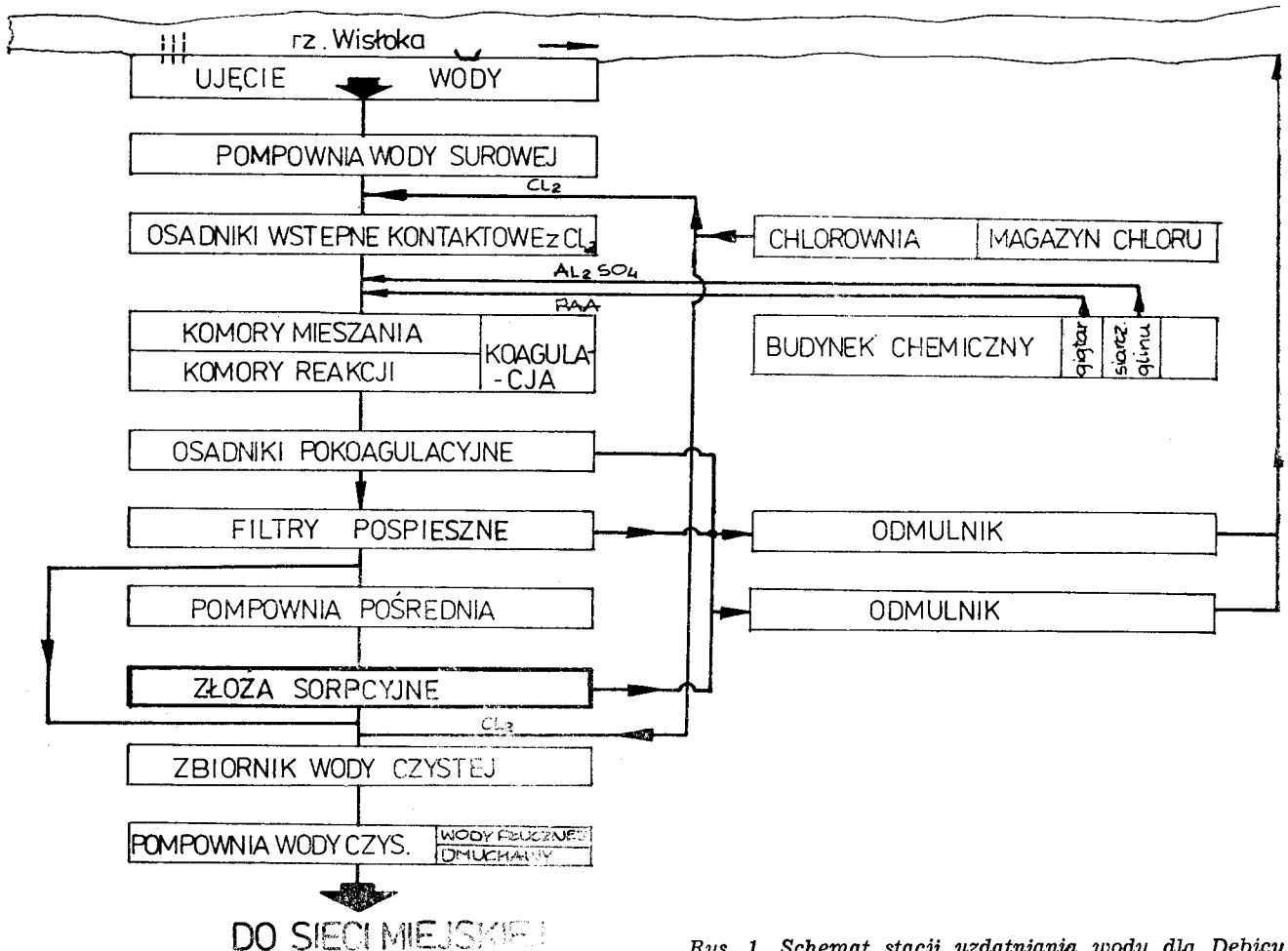
Już pierwsze doświadczenia przy rozruchu wykazały, że płukanie złóż węglowych musi być nieco zmodyfikowane w stosunku do zaleceń

projektu. Skrócono czas przedmuchiwania powietrzem do 1 minuty, zrezygnowano z jednoczesnego płukania wodą i powietrzem ze względu na intensywne wypłukiwanie ziaren węgla. Po wyłączeniu dmuchaw następuje przepłukiwanie wodą zgodnie z projektem, tj. z intensywnością $12 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$ [3]. Cykl między płukaniem wynosił 7—14 dni. W trakcie eksploatacji na złoża węglowe kierowana była cała uzdatniana woda.

Eksplatacyjna efektywność złóż węglowych

Ocena eksploatacyjnej efektywności złóż węglowych została oparta na rutynowych analizach kontrolnych, wykonywanych przez laboratorium Zakładu Wodociągowego w Dębicy. Analizy obejmowały następujące wskaźniki: kwasowość, tlen rozpuszczony, utlenialność, azotany, azotyny, azot amonowy, barwę, chlor pozostały, zapach i pH, oznaczane jeden raz dziennie. Punkty poboru prób były następujące: ujęcie wody, po filtrach pospiesznych oraz po złożach węglowych (w tym również po poszczególnych komorach).

Doświadczenia eksploatacyjne stacji w Dębicy będą wykorzystane przy projektowaniu innych obiektów, w których przewiduje się węgiel aktywny. Ponadto dla uzyskania własnych informacji, wykonano dodatkowe (w laboratorium BPBK w Krakowie) 2 analizy wody z próbek



Rys. 1 Schemat stacji uzdatniania wody dla Dębicy

pobranymi przed komorami z węglem aktywnym i po komorach [5]. Ogółem oznaczono 37 wskaźników, w tym zwykle wykorzystywane do charakterystyki jakości wody do picia, a dodatkowo tlen rozpuszczony, BZT₅, fosforany, utlenialność i ChZT.

Dla liczbowej oceny efektywności filtrów węglowych oraz jej ewentualnych zmian w czasie, podzielono dane z pierwszego zbioru wyników na 4 okresy (tabela 1).

Symbole miejsc poboru próbek oznaczają: FP — woda po filtrach pospiesznych, ZW1 — po komorze węglowej nr 1, ZW6 — po komorze nr 6, WS — woda nie uzdatniona, X_c — średnie stężenie w danym okresie g/m³, X_E — średni wskaźnik [%] efektywności w danym okresie, V_E — współczynnik zmienności efektywności (iloraz odchylenia standardowego i średniej).

Do oceny efektywności działania złóż węglowych przyjęto proporcję wartości stężeń określonych domieszek w wodzie po tych złożach do wartości przed złożami. Wartość 100% tak obliczonego wskaźnika wskazuje na brak efektów, niższa na poprawę, a większa od 100% na wpływ negatywny, tj. powiększenie stężenia określonej domieszki. Należy stwierdzić, że w okresie eksploatacji nie występowały wysokie stężenia badanych domieszek, a wartości średnie były niskie. Wpływ złóż węglowych na jakość wody, biorąc pod uwagę zarówno różnice względne stężeń, jak i ich wartości bezwzględne, jest niewielki. Wysoka mętność wody rzecznej została obniżona tak, że woda po filtrach pospiesznych ma niski poziom tej domieszki (tabela 1). Wskaźnik usuwania barwy wynosił początkowo średnio 81,6% i 83,9% (zmniejszenie wynosiło 18,4% i 16,1%). Rezultaty działania węgla były coraz mniejsze, a począwszy od lipca 1985 r. są znikome. Od stycznia 1986 r. (po 9 miesiącach pracy) obserwuje się w komorze nr 6 pogarszanie się barwy przy przepływie przez złożo. W badaniach [2] uzyskano bardzo wysoką efektywność usuwania barwy, ale przy wstępnym chlorowaniu. Oddziaływanie złóż węglowych na poziom utlenialności było jeszcze mniejsze niż na barwę. Początkowo większą efektywność (tzn. 11,2%)

wykazywało złożo węglowe nr 6, ale jego skuteczność spadła do zera pod koniec 1986 roku. Trzeci wskaźnik przyjęty do oceny skuteczności działania filtrów — zapach — nie może być porównywany jak poprzednie. Dla oceny wykorzystano tu strukturę natężeń i rodzajów zapachów w poszczególnych okresach czasu. W początkowym okresie zapach roślinny z1R wody przefiltrowanej był po przejściu przez węgiel w 92% próbek zmniejszany do zapachu o natężeniu zero. W kolejnych okresach woda przefiltrowana miała prócz zapachu z1R, również wyższe natężenie zapachu (z2R) w małej liczbie próbek (8%). Woda po złożach węglowych w okresie letnim przede wszystkim miała zapach roślinny z1R (82% próbek), a tylko w 18% próbek zapach o natężeniu zero. Można zatem mówić o praktycznym braku efektywności usuwania zapachu w okresie letnim. Skuteczność ta wzrosła jednak w następnym okresie (X—XII 1985), by zmniejszyć się w I kwartale 1986 r. Badania z X—XII 1986 r. wskazują na jeszcze niższą eliminację zapachu, przy prawie nie zmienionej charakterystyce wody dopływającej do złóż węglowych.

Dane dotyczące zawartości azotanów zestawiono w tabeli 2. W pierwszym okresie nastąpiło obniżenie zawartości azotanów, po pewnym czasie obserwowano zjawisko raczej przeciwnie (można dopatrywać się denitryfikacji, zachowując jednak dużą ostrożność w wyciąganiu dalszych wniosków, m. in. wobec niskich stężeń azotanów, zarówno w dopływie i odpływie ze złóż). Stężenie tlenu wynosiło przeważnie 11 albo 12 gO₂/m³. W innych komorach stwierdzano sporadycznie niższe stężenia (np. 7 gO₂/m³). Poziom azotu amonowego był niski, zwykle mniej niż 0,2 gN/m³. W pierwszej serii analiz wykonanych przez BPBK [5] stwierdzono, że po przejściu przez złoża węglowe ulegają zmianie stężenia wielu domieszek. Obniża się natężenie barwy (z 7 gPt/m³ do 5 gPt/m³), wzrosła nieznacznie utlenialność (z 2,1 gO₂/m³ do 2,4 gO₂/m³), zawartość dwutlenku węgla (z 11 do 13,2 g/m³, w tym agresywnego (z 8,2 g/m³ do 10,3 g/m³). Inne substancje ulegające zmianie to azotany (z 3 gN/m³ do 2 gN/m³), strata przy prażeniu (od

Tabela 1

EFEKTYWNOŚĆ ZŁOŻ WĘGLOWYCH W USUWANIU WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW ZANIECZYSZCZENIA WODY

Wskaźnik	Miejsce poboru próbek	17.04. — 30.06.85			01.07. — 30.09.85			01.10. — 31.12.85			01.01 — 28.02.86			26.11. — 17.12.86		
		X _c	X _E	V _E	X _c	X _E	V _E	X _c	X _E	V _E	X _c	X _E	V _{EA}	X _c	X _E	V _E
Barwa	FP	9,0	—	—	7,2	—	—	8,8	—	—	7,8	—	—	13,7	—	—
	ZW1	7,2	81,6	0,20	7,1	99,6	0,29	8,4	98,3	0,22	7,6	97,0	0,16	13,3	98,9	0,21
	ZW6	6,8	83,9	0,50	6,5	92,5	0,28	8,5	98,7	0,20	7,9	101,4	0,18	13,9	101,4	0,20
Utlenialność	FP	3,18	—	—	3,02	—	—	3,58	—	—	3,23	—	—	4,50	—	—
	ZW1	2,95	96,2	0,13	2,80	92,7	0,066	3,37	94,3	0,11	3,18	98,3	0,06	4,30	96,0	0,09
	ZW6	2,76	88,8	0,14	2,67	87,8	0,13	3,36	94,8	0,09	3,13	96,9	0,08	4,48	100	0,10
Mętność	WS	3 — 500 g/m ³			4 — 40 g/m ³			2 — 15 g/m ³			—			—		
	FP	1 — 3 g/m ³			1 — 2 g/m ³			1 — 3 g/m ³			—			—		
Zapach	FP	Z1R=100%			Z1R=91%, Z2R=8%			Z1R=92%, Z2R=8%			Z1R=75%, Z2R=25%			Z1R=90%, Z2R=10%		
	ZW1	ZO=92%, Z1R=8%			ZO=18%, Z1R=82%			ZO=92%, Z1R=8%			ZO=58%, Z1R=42%			ZO=40%, Z1R=60%		
	ZW6	ZO=92%, Z1R=8%			ZO=18%, Z1R=82%			ZO=92%, Z1R=8%			ZO=67%, Z1R=33%			ZO=40%, Z1R=60%		

Tabela 2

Miejsce poboru próbek wody	ZAWARTOŚĆ AZOTANÓW w mg N/dm ³					
	17.04.—30.06.1985			26.11.—17.12.1986		
	X _c	X _E	V _E	X _c	X _E	V _E
FP	1,39	—	—	1,3	—	—
ZW1	0,89	79,9	0,35	1,21	109,7	0,31
ZW6	0,71	56,5	0,43	1,26	110,0	0,30

27 g/m³ do 29 g/m³), tlen rozpuszczony (od 11,6 gO₂/m³ do 12,0 gO₂/m³) i BZT₅ (z 2,2 gO₂/m³ do 2,8 gO₂/m³). Nie zmieniały się takie wskaźniki jak zapach (wynosił 0), zasadowość (1,8 val/m³), mętność (5 g/m³), zawiesina (2 g/m³), ChZT (3,8 gO₂/m³). Liczba kolonii bakterii na agarze po 72 h wynosiła przed złożem i po nim 13 w 1 cm³, a po 24 h 7 w 1 cm³ (miano coli=80).

W drugiej serii badań wyniki były następujące: natężenie barwy nie zmieniało się i wynosiło 10 gPt/m³, utlenialność podniosła się nieznacznie (od 3,1 do 3,3 gO₂/m³). Zawartość dwutlenku węgla nie zmieniała się (11,0 g/m³), obniżała się zawartość tlenu rozpuszczonego (od 13,8 gO₂/m³ do 6,4 gO₂/m³) i BZT₅ (od 4 gO₂/m³ do 2,8 gO₂/m³). Nie uległo zmianie stężenie azotanów (1,5 gN/m³). Liczba kolonii bakterii w wodzie była w drugiej serii znacznie wyższa niż w pierwszej, a po przejściu przez złożę węglowe obniżenie jest względnie niższe. Po 72 h liczba kolonii bakterii w 1 cm³ przed i po złożu wynosi odpowiednio 168 i 153, a po 24 godzinach 146 i 130. Miano coli nie zmieniało się i wynosiło 10.

Badania te w zasadzie potwierdzają wyniki analiz rutynowych. Wskazują też na występowanie w złożu procesów, w których jest zużywany tlen. Według informacji użytkownika, złoża z węgla aktywnego wyraźnie poprawiły jakość wody w pierwszym okresie po uruchomieniu. Jednak w miarę eksploatacji oddziaływanie to malało.

Dla jednorazowej wymiany wypełnienia złożów węglowych potrzeba około 68 m³ węgla, tj. 24 tys. kg. Przyjmując cenę zakupu, transportu i wymiany równą około 500 tys. zł/1000 kg — otrzymamy koszty=12 mln złotych. Przy założeniu, że węgiel wymieniany będzie 1 raz w roku, a ilość wody dostarczonej średnio do miasta wynosi 0,18×0,8×86400=12400 m³/d, to otrzymamy koszt jednostkowy=2,6 zł/m³ wody.

Podsumowanie

Filtry sorpcyjne w Dębicy zostały wypełnione węglem odbiegającym pod względem granulacji od założonego w projekcie. Nie ma danych dotyczących różnic właściwości technologicznych węgla projektowanych i zastosowanych. Woda po złożach węglowych przez 6—12 miesięcy w pełni odpowiadała (w zakresie wykonywanych oznaczeń) wymaganym parametrom jakościowym. Spowodowane to było jednak w znacznej mierze jakością wody dopływającej do tych złożów. Skuteczność technologiczna złożów węglowych trwała krócej niż zakładano, dała jednak zasadniczą poprawę właściwości organoleptycznych.

Trudno jednoznacznie ustalić przyczyny niedługiego czasu efektywnej pracy złożów węglowych. Wydaje się, że składa się na to szereg czynników, między innymi jakość węgla, cechy wody dopływającej na złoża, a także parametry technologiczne urządzeń. Pewną rolę mogło tu odegrać etapowe oddawanie do użytku poszczególnych komór, co powodowało bardzo silne obciążenie komór przekazanych w pierwszej kolejności do eksploatacji.

Wyniki zebrane w tej, jak się zdaje pierwszej, czynnej stacji uzdatniania wody wyposażonej w złoża węglowe, zostały już wykorzystane do prac badawczych, są także wskazówką przy projektowaniu nowych zakładów.

LITERATURA

1. K. PAWŁOWSKA, M. SZMAGER, K. STACHOWICZ: Badania przedprojektowe technologii uzdatniania wody z rzeki Wisioki w Dębicy, część I, Instytut Kształtowania Środowiska, Oddział w Krakowie, Kraków 1977 (maszynopis).
2. S. BŁOZOR, P. WISNIEWSKI, Z. IGNASIAK: Wdrożenie biochemicznej aktywności filtrów węglowych na wybranych wodociągach w Polsce. Instytut Kształtowania Środowiska, Oddział w Poznaniu, Warszawa 1985 (maszynopis).
3. Projekt techniczny rozbudowy i modernizacji Zakładu Uzdatniania Wody dla m. Dębicy. Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego w Krakowie, 1979/80. (Autor części technologicznej inż. B. Kubala).
4. Badania rutynowe wykonywane w laboratorium Stacji Uzdatniania Wody wodociągu dla m. Dębicy, 1985—1987.
5. J. SITARSKA: Badania wody dla wodociągu m. Tarnowa, część II. Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego w Krakowie, 1986 (maszynopis).

S. A. Rybicki, B. Kubala

EFFICIENCY OF ACTIVATED CARBON ADSORPTION IN ENGINEERING PRACTICE

Observations were carried out in the waterworks of Dębica, which operate activated carbon filters for the adsorption of pollutants present in the surface water under treatment. The data sets obtained du-

ring this period revealed the following: the filters were run effectively only for 6 to 12 months from the moment the waterworks were set in operation; then, the efficiency of the adsorption process dropped rapidly. This failure should be attributed to the low quantity of the activated carbon used (differing from that adopted by the designer), and to the overloading of the filter beds at the initial stage of operation.