

**Stanisław A. Rybicki**

## PROJEKTOWANIE I EKSPLOATACJA UKŁADÓW I URZĄDZEŃ DO ADSORPCJI NA WĘGLU AKTYWNYM

Praktyczne zastosowanie węgla aktywnego do uzdatniania wody datuje się od 1927 roku, kiedy to w Chicago zastosowano węgiel pylisty do usuwania wysokich zawartości fenolu [1]. Kilka lat później w Niemczech zaczęto wykorzystywać ziarnisty węgiel aktywny, eksploatowany w stacjach uzdatniania w formie złożów wypełniających urządzenia zbliżone konstrukcyjnie do filtrów pospiesznych, jednak o odmiennym działaniu na cechy jakościowe wody [2].

Intensywny rozwój przemysłu i urbanizacja spowodowały pojawienie się w wodach powierzchniowych, a także podziemnych, nowych domieszek, między innymi mikrozanieczyszczeń. Od lat pięćdziesiątych w praktyce uzdatniania wody mamy do czynienia z usuwaniem fenoli oraz pochodnych ropy naftowej. W latach sześćdziesiątych niektóre stacje ujmowały wodę zawierającą detergenty, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i inne mikrozanieczyszczenia [3]. Dziesięć lat później wyodrębniono w wodzie haloformy, będące w znacznej mierze skutkiem sposobu oczyszczania wody [4]. Stwierdzono je także, choć w różnicowanym stopniu, w wodzie ujmowanej dla zaopatrzenia ludności [5]. Wykazano również występowanie innych substancji trudnych do usunięcia, jak np. lotne węglowodory chlorowane. Szczególną rolę w usuwaniu wielu z tych domieszek spełnia sorpcja. Praktycznie do tej pory w tym celu wykorzystuje się głównie węgiel aktywny, stanowiący obok koagulacji (rzadziej bez niej) podstawowe ogniwo w procesie uzdatniania wody. Równoległe z coraz częstszym zastosowaniem węgla prowadzone są prace badawcze dla wielu potrzeb, w różnej skali i w odmiennym zakresie. Ich przedmiot stanowią zagadnienia podstawowe, związane z właściwościami węgla, przebiegiem procesu adsorpcji i doborem optymalnego schematu technologicznego stacji uzdatniania wody. Szczególnie silne natężenie prac dotyczących wprowadzenia węgla aktywnego do praktyki projektowania i eksploatacji zakładów wodociągowych przypada na połowę lat siedemdziesiątych [2, 24]. Prace te są wykorzystywane do dziś, z uwagi na niewielkie krajowe doświadczenia w zakresie projektowania, a szczególnie eksploatacji urządzeń z węglem aktywnym. Na przeciwnym biegunie można umieścić polskie prace teoretyczno-badawcze związane z węglem aktywnym. Są one bardzo liczne i nie odbiegają poziomem od prac prowadzonych w krajach zachodnich.

Zainteresowanie tematyką węgla aktywnego i starania o rozszerzenie jego zastosowania w Polsce określić można jako systematyczne. W 1974 roku zorganizowano (b. Centrum Techniki Komunalnej i BPBK w Poznaniu) konferencję techniczną pod hasłem „Zastosowanie węgla aktywnego w procesie uzdatniania wody”, podczas której przedstawiono przede wszystkim wyniki doświadczeń zagranicznych w zakresie oceny jakości węgla, eksploatacji i problemów projektowania urządzeń. W cyklicznie odbywających się sympozjach „Węgiel aktywny — problemy badawcze i wdrożeniowe w gospodarce wodnej” (1980, 1983 i 1987), organizowanych zwykle przez Instytut Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej, BPBK w Krakowie, Główny Instytut Górnictwa w Katowicach i PZITS Oddział w Krakowie, obok tematyki badawczej, pojawia się coraz więcej prac związanych z projektowaniem oraz oceną możliwości produkowania w Polsce węgla aktywnego o dobrej jakości.

### Układy technologiczne stacji z węglem aktywnym

Narastający stopień zanieczyszczenia wód powoduje, że zastosowanie procesu sorpcji w procesach ich oczyszczania jest coraz szersze, a nawet — dla wód powierzchniowych — konieczne [4].

Układy technologiczne stacji uzdatniania, w których wykorzystywany jest węgiel są bardzo różnicowane, zależnie od szeregu kryteriów. Podstawowe znaczenie mają przyczyny przesądzające o zastosowaniu węgla aktywnego. W przypadkach wprowadzania węgla do istniejącej stacji zwykle konieczne jest dostosowanie się do istniejącego układu technologicznego i możliwości umieszczania tych dodatkowych urządzeń (w wielu krajach stacje wodociągowe mieszczą się na bardzo małej powierzchni).

Przed laty zostały podane trzy charakterystyczne układy technologiczne uzdatniania wody [2]: Pierwsze dwa przewidują utlenianie wstępne (chlorowanie), koagulację, sedymentację, ozonowanie (lub chlorowanie), filtrację pospieszną, złoża węglowe, ewentualnie infiltrację i chlorowanie końcowe. W trzecim układzie ozonowanie występuje tylko na początku, następnie mamy dawkowanie koagulantów, filtrację pospieszną i filtrację przez złoża z węgla aktywnego, ostatnim zabiegiem jest chlorowanie końcowe.

Można wyróżnić kilka zasad stosowania węgla aktywnego w istniejących obiektach. Węgiel pylisty wykorzystywany jest zazwyczaj tam, gdzie może wystąpić potrzeba zwalczania awaryjnych (zwykle wysokich) zanieczyszczeń wody, ale znajduje zastosowanie również do ciągłego dawkowania w stacjach o rozbudowanym układzie technologicznym, wykorzystujących wodę powierzchniową silnie zanieczyszczoną. Węgiel ziarnisty znajduje się w urządzeniach podobnych do filtrów, jest najczęściej stosowany w grawitacyjnym układzie hydraulicznym (tzn. woda przepływa od góry do dół). Złoże węglowe umieszczone są w stacjach uzdatniania zwykle po urządzeniach, w których przebiegają procesy tradycyjne (koagulacja, sedymentacja, filtracja pospieszna). Ma to na celu zmniejszenie negatywnego wpływu, jaki mogą wywierać na złoże sorpcyjne niektóre domieszki (np. oznaczane jako mętność), usuwane skutecznie i ekonomicznie w urządzeniach konwencjonalnych.

Analizując układy technologiczne stacji uzdatniania, także takich, w których jest wykorzystywany węgiel aktywny, można również zauważyć wprowadzanie w trakcie eksploatacji zmian w zestawie urządzeń, jest to spowodowane pogarszającą się jakością ujmowanej wody, a także (w niektórych krajach) wzrostem poziomu wymagań dotyczących jakości wody do picia. Układy technologiczne wielu istniejących stacji uzdatniania są złożone i zróżnicowane. Poniżej przedstawiono kilka układów technologicznych, w których zastosowano węgiel aktywny.

Silnie zanieczyszczona woda rzeki l'Oise jest ujmowana dla potrzeb rejonu Paryża od wielu lat. Pod koniec lat sześćdziesiątych schemat technologiczny jej uzdatniania przedstawiał się następująco: — chlorowanie do punktu przełamania — dawkowanie pylistego węgla aktywnego — koagulacja — sedymentacja (osadniki wielopiętrowe) — filtracja pospieszna — dawkowanie ozonu ( $4 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ ) — podchloryn sodowy ( $0,5 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ ). Pogarszająca się jakość wody była przyczyną modernizacji pod koniec lat siedemdziesiątych, po której układ technologiczny przedstawiał się następująco [11]: ozonowanie wstępne ( $1 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ ) — zbiornik wstępny (czas zatrzymania 2—3 doby) — dwutlenek chloru — dawkowanie węgla pylistego — koagulacja — sedymentacja — filtracja pospieszna — ozonowanie — złoże węglowe — dwutlenek chloru. Wg nowszych danych [12] schemat ten uległ dalszej modyfikacji, mianowicie po złożach węglowych wprowadzono trzeci punkt dawkowania ozonu, przypuszczalnie dla poprawy smaku wody po złożach węglowych, w których przebiegają procesy biologiczne. Do dezynfekcji końcowej zastosowano podchloryn sodowy.

Stacja wodociągowa Choisy-le-Roi, o wydajności 800 tys.  $\text{m}^3/\text{d}$  pobiera wodę z zanieczyszczonej Sekwany (franc. Seine). Aktualny schemat technologiczny przedstawia się następująco [13]: ozonowanie wstępne ( $0,8 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ ) — koagulacja — węgiel pylisty — flokulacja — se-

dymentacja — filtracja pospieszna — ozonowanie ( $2 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ ) — złoże węglowe (w których przebiegają procesy biosorpcji) — podchloryn sodowy — zbiornik (2 h) — tiosiarczan sodowy (dechloracja).

Schemat technologiczny stacji uzdatniającej wodę z jeziora Bodeńskiego dostarczaną dla rejonu Stuttgartu jest następujący: mikrosita — ozonowanie — możliwość dawkowania węgla pylistego i siarczanu glinowego — filtry pospieszne — chlorowanie. Dodać trzeba, że jakość wody w jeziorze jest bardzo dobra. Dla roku 1983 charakterystyka wody (pobieranej z głębokości 60 m) była następująca (podano wartości średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego): mętność  $0,38 \pm 0,09 \text{ TE/F}$ , sucha pozostałość  $111 \pm 19 \text{ g/m}^3$ , żelazo  $0,0019 \pm 0,00055 \text{ gFe/m}^3$ , mangan  $0,00083 \pm 0,0012 \text{ gMn/m}^3$ , fosfor ogólny  $0,099 \pm 0,009 \text{ gP/m}^3$ , procent nasycenia tlenem  $83 \pm 3$ , węgiel organiczny  $1,2 \pm 0,04 \text{ g/m}^3$ , utlenialność  $3,5 \pm 0,44 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ , ekstynkacja w UV 254 nm  $0,166 \pm 0,002$ . Przedstawiony schemat stacji uzdatniania wprowadzono głównie ze względu na ewentualność pojawienia się glonów oraz zagrożenie jakie stanowią rurociągi ropy naftowej, przebiegające w tym rejonie.

Innym przykładem wykorzystania węgla aktywnego dla uzdatniania wody pobieranej z jeziora jest stacja dla Zurychu [11]. Układ technologiczny jest tu następujący: chlorowanie wstępne ( $0,5\text{—}1,0 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ ) — flokulacja — filtry pospieszne dwuwarstwowe (warstwa z węgla aktywnego formowanego) — ozonowanie — złoże węglowe — filtracja powolna — dwutlenek chloru. Jako przyczynę wprowadzenia węgla podaje się również zagrożenie przez rurociągi ropy naftowej oraz możliwość awaryjnych wycieków fenolu.

Filtrację powolną po węglu aktywnym wprowadzono także w wodociągach m. Mülheim [11]. Silnie zanieczyszczona woda rzeczna jest oczyszczana w stacji o następującym układzie technologicznym: ozonowanie wstępne ( $1 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ ) — koagulacja — sedymentacja — ozonowanie ( $2 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ ) — koagulacja powtórna — filtracja pospieszna — złoże węglowe — filtracja powolna — chlorowanie ( $0,25 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ ).

Z doświadczeń krajowych można podać przykład stacji uzdatniania wody dla Dębicy [14], której układ technologiczny przedstawia się następująco: chlorowanie wstępne (do osadników kontaktowych) — dawkowanie siarczanu glinowego — dawkowanie gigtaru — koagulacja — sedymentacja — filtry pospieszne — złoże sorpcyjne węglowe — chlorowanie końcowe.

## Badania przedprojektowe

Najczęściej podaje się, że węgiel aktywny wykorzystywany w formie pyłu lub ziaren ma do spełnienia (oddzielnie lub łącznie) następujące zadania:

- poprawę smaku i zapachu wody,
- wyeliminowanie lub co najmniej obniżenie zawartości różnych substancji organicz-

nych, między innymi oznaczanych jako ogólny węgiel organiczny (OWO),

— dechlorację wody,

— usuwanie metali ciężkich.

W niektórych przypadkach w złożu węglowym może zachodzić nitryfikacja amoniaku zawartego w wodzie.

Liczne zagraniczne i krajowe doświadczenia zebrane przy pracach badawczych, a także przy eksploatacji stacji wodociągowych wykazują, że na ogół nie jest możliwe zaprojektowanie właściwych urządzeń z węglem aktywnym bez przeprowadzenia odrębnych prac badawczych dla każdego obiektu. Zakres badań i skala urządzeń do ich realizacji są zróżnicowane zależnie od potrzeb, ale także możliwości instytucji badawczych. W praktyce rola tych ostatnich może być decydująca. Istnieje szereg opracowań, które podają sposoby umożliwiające istotne zmniejszenie zakresu badań [6]. Badania prowadzi się w różnych etapach przygotowania inwestycji, ich cel i zakres jest odmienny.

Badania przedprojektowe dotyczą na ogół całości problemów technologicznych, związanych z konkretnymi warunkami, w tym także zastosowania węgla aktywnego. Dla następnych etapów projektowania mogą być (zwłaszcza w istniejących obiektach) prowadzone badania związane tylko z węglem aktywnym, zwykle jednak w powiązaniu z bezpośrednim procesem poprzedzającym, np. ozonowaniem czy koagulacją [8, 9]. Cel badań musi być każdorazowo precyzyjnie, ale i elastycznie określany wspólnie z projektantem obiektu. W miarę uzyskiwania wyników badań mogą ulec zmianie propozycje zawarte w pierwszym programie. Przeprowadzenie wielostronnych badań technologicznych, obejmujących również urządzenia z węglem aktywnym, wymaga w naszych warunkach zaprogramowania i realizowania specjalnej stacji doświadczalnej w skali ułamkowo-technicznej. Następnie w przeciągu kilku lat przeprowadza się prace eksploatacyjne i badawcze. Koszty tych prac mogą przekraczać koszt urządzeń z węglem aktywnym dla niewielkiego miasta. Z drugiej strony, w trakcie badań powinno nastąpić wyjaśnienie podstawowych problemów technologicznych i w wyniku tego podanie parametrów technicznych urządzeń. Efektywność działania węgla i jakość wody po uzdatnieniu zależą zarówno od cech pobieranej wody (które w wielu ujęciach zmieniają się nawet w ciągu krótkiego okresu czasu), jak i cech węgla, które w miarę eksploatacji ulegają zmianie, stąd potrzeba długotrwałych, a zatem kosztownych prac badawczych.

Wiele konkretnych wskazówek dla projektanta zawierają np. wyniki badań przeprowadzonych dla Wodociągu Północnego dla Warszawy [8]. Podano w nich zalecenia dotyczące umiejscowienia filtrów węglowych w schemacie technologicznym stacji, zasady stosowania procesów ozonowania i sorpcji (z określeniem

ich efektywności), ze szczególnym uwzględnieniem łączenia dwustopniowego ozonowania i sorpcji na złożach węglowych. Prócz tego określono warunki, jakie powinna spełniać woda kierowana na złoża węglowe, podano wymaganą charakterystykę węgla, a także sposoby ustalenia tej charakterystyki. W wyniku badań prowadzonych również dla wodociągu warszawskiego (woda wiślana), sformułowano wnioski dotyczące zastosowania węgla pylistego [9], odnoszące się do ustalenia punktu dawkowania węgla, celowości łączenia procesu sorpcji na węglu pylistym z procesem koagulacji oraz wielkości dawek węgla niezbędnych dla usunięcia określonych domieszek. Określono też czas dawkowania węgla w stosunku do wprowadzonego uprzednio koagulantu. Przy rozważaniach dotyczących celowości wprowadzenia węgla aktywnego dla stacji uzdatniania wody, bardzo ważną rolę odgrywają kryteria przyjmowane dla tej oceny, przy czym nie mogą być tu miarodajne wyniki rutynowych badań jakości wody [2].

Przy wprowadzaniu węgla aktywnego w wodociągach szwajcarskich ujmujących wodę z jeziora Zurychskiego przyjęto [10], że decydujące znaczenie ma zawartość w wodzie domieszek organicznych, oznaczanych przez pomiar ekstynkcji w ultrafiolecie oraz poziom substancji ekstrahowanych przy pomocy dwumetyloformamidu (DMF) i dioksanu. Często za kryterium takiej oceny przyjmuje się zawartość w wodzie ogólnego węgla organicznego (OWO), a przy braku urządzeń do oznaczania tego wskaźnika — poziom utlenialności, ChZT, fenoli, barwy i innych [8, 9, 12]. Zaleca się, by substancje wybrane jako wskaźnikowe, można było oznaczyć możliwie szybko.

## Projektowanie

Nawet gdy dysponuje się wynikami wszechstronnych badań technologicznych, to do decyzji projektanta pozostaje wybór rozwiązań o istotnym znaczeniu dla efektywności działania i dla przebiegu eksploatacji, ale dotyczących głównie konstrukcji urządzeń. Przy ograniczonym zakresie badań, a zwłaszcza przy konieczności oparcia się o dane prognostyczne, projektowanie jest najczęściej podejmowaniem decyzji w warunkach niepewności, zatem należy liczyć się z możliwością rozwiązań niezupełnie trafnych. Chęć zmniejszenia ryzyka powoduje, że przyjmowane są niskie (bezpieczne) parametry urządzeń, co wydaje się słuszne. Czasem nawet całe obiekty budowane są „na zapas”. W warunkach, kiedy realizacja obiektu przebiega szybko, możliwe jest mniej kosztowne działanie, mianowicie dobudowywanie dodatkowych obiektów już w trakcie realizacji czy eksploatacji [15]. Przedstawione przykłady wykazują, że wprowadzanie (z różnych przyczyn) zmian w istniejących układach technologicznych jest regułą i nie jest traktowane jako usuwanie niedoskonałości badań lub też projektowania.

Często z różnych przyczyn wykorzystuje się podobieństwo warunków projektowanej stacji i stacji istniejącej. W przypadku urządzeń z węglem aktywnym, oprócz porównania jakości wody i wszystkich parametrów technicznych, należy bardzo wnikliwie przeanalizować cechy węgla wykorzystywanego w istniejącej stacji i porównać je z właściwościami węgla, który będzie można uzyskać dla projektowanej stacji. Przy wstępnych rozwiązaniach związanych z projektowaniem urządzeń z węglem aktywnym wykorzystuje się również zalecenia podawane w literaturze fachowej. Do najbardziej znanych należą wskazówki podane przez Sontheimera [2], określające ważne parametry dla złóż węglowych, zależnie od ich przeznaczenia. I tak dla dechloracji wody, prędkość filtracji powinna wynosić  $V=25-35$  m/h, wysokość złoża  $h=2$  m, a czas przepływu  $t$  od 2 do 4 minut. Podano również ważny wskaźnik charakteryzujący (pośrednio) zdolność sorpcyjną, mianowicie ilość wody, która może przepłynąć przez  $1$  m<sup>3</sup> złoża, przy założeniu, że daje ono jeszcze wymagany efekt. Przy dechloracji ten wskaźnik wynosi  $w=1$  mln m<sup>3</sup> wody na  $1$  m<sup>3</sup> węgla. Przy usuwaniu domieszek wywołujących smak i zapach wody parametry te są następujące:  $V=20$  do  $30$  m/h;  $h=2$  do  $3$  m;  $t=6-10$  min;  $w=0,1$  mln m<sup>3</sup>. Jeszcze niższe wartości podano dla usuwania substancji organicznych, mianowicie:  $V=10$  do  $15$  m/h,  $h=2$  do  $3$  m,  $t=8-15$  minut,  $w=25000$  m<sup>3</sup> (co oznacza potrzebę regeneracji lub wymianę złoża co 70 do 100 dni). Przy biologicznie czynnym węglu aktywnym podano następujące parametry:  $V=8$  do  $12$  m/h,  $h=2-4$  m,  $t=15$  do  $25$  minut,  $w=0,1$  mln m<sup>3</sup>. Można podać szereg przykładów potwierdzających słuszność tych zaleceń, ale również w jakimś stopniu przeczących im. Znane są w szczególności przypadki bardzo szybkiego wyczerpania się zdolności sorpcyjnych węgla przy usuwaniu niektórych domieszek organicznych. Np. w kolumnie węglowej o wysokości  $2,0$  m już po 34 dniach nastąpiło przebicie chloroformu, dla innych domieszek trwało to znacznie dłużej [17].

W eksploatacji jednego z krajowych wodociągów wyczerpanie efektywności technologicznej węgla aktywnego, mimo dość dobrej jakości wody dopływającej, nastąpiło w okresie 6-12 miesięcy. Jako mierniki przyjmowano tu utlenialność, zapach i barwę. Stopień usunięcia tej ostatniej był wyższy gdy stosowano wstępne chlorowanie [14].

Dlatego należy podkreślić konieczność bardzo rozważnego projektowania parametrów technologicznych urządzeń z węglem aktywnym. Znaczną pomoc stanowią mogą przy tym również informacje zawarte w materiałach konferencyjnych i publikacjach branżowych. Wiele przydatnych informacji można znaleźć w specjalnych opracowaniach, które mają formę wyciecznych do projektowania pomimo, że formalnie nie spełniają tego warunku [18, 19]. Przy rozwiązaniach konstrukcyjnych złóż węglowych stosowane są dla mniejszych i śred-

nich obiektów urządzenia pracujące pod ciśnieniem, przy większych — komory otwarte. Należy pamiętać o zapewnieniu warunków (zależnych od gatunków węgla) wykluczających unoszenie ziaren przy płukaniu złoża. W tym celu mogą być stosowane, obok krawędzi rylnien odpływowych umieszczonych odpowiednio wysoko nad złożem, także dodatkowe zabezpieczenia w postaci siatek przymocowanych do tych rylnien.

Zaleca się hydrauliczny transport węgla aktywnego — w tym zakresie ważne są zalecenia zagraniczne [20], potwierdzone badaniami krajowymi [21].

Regeneracja ziarnistego węgla aktywnego w niektórych obiektach zagranicznych, wykonywana w stacjach uzdatniania, będzie prowadzona w naszych warunkach przypuszczalnie tylko w wytwórniach węgla. Wymagać to będzie zrealizowania urządzeń do częściowego odwadniania i załadunku węgla.

Znane od lat problemy związane ze stosowaniem węgla pylistego (transport zewnętrzny, magazynowanie, mieszanie z wodą) pozostały w znacznej mierze u nas nie rozwiązane. Stosowane być mogą silosy stalowe, adaptowane z urządzeń przeznaczonych dla przewozu materiałów budowlanych; stąd też pochodzą urządzenia ciśnieniowe do przeładunku. Rozwiązania te wydają się być korzystniejsze od transportu węgla w workach. Dodać jednak trzeba, że w innych krajach przeładunek i transport węgla pylistego prowadzony jest przede wszystkim w układach podciśnieniowych [22]. Krajowe doświadczenia eksploatacyjne potwierdzają celowość stosowania takich rozwiązań [23]. Szereg problemów występuje w doborze urządzeń do sprawnego mieszania tego węgla z wodą. Można mieć nadzieję, że w niedługim czasie szereg naszych wątpliwości zostanie wyjaśnionych w trakcie eksploatacji krajowych stacji. Jest ze wszech miar pożądane szybkie rozpowszechnienie tych doświadczeń.

Niektóre problemy występujące przy projektowaniu wymagają analizy techniczno-ekonomicznej, niełatwej do przeprowadzenia między innymi ze względu na ogólną labilność cen i zróżnicowanie kosztów węgla aktywnego (od 100 tys/1000 kg do 450 tys/1000 kg), nie zawsze wynikających z jego jakości.

## Eksploatacja

Kontrolowanie efektywności działania węgla prowadzi się zależnie od charakterystyki usuwanych zanieczyszczeń, sposobu wykorzystywania węgla, a także aparatury analitycznej. Przy użytkowaniu węgla ziarnistego istotne znaczenie ma podjęcie decyzji o wymianie węgla lub skierowaniu go do regeneracji. W praktyce eksploatacyjnej wodociągów szwajcarskich wykorzystuje się do tego jedno z następujących kryteriów [24]:

— poziom haloformów w odpływie ze złoża osiąga  $0,025$  g/m<sup>3</sup>,

— ekstynkcja w UV mierzona w odpływie nie jest mniejsza niż w dopływie,  
 — ładunek sumy substancji ekstrahowanych przy pomocy DMF i dioksanu, zawarty w górnej warstwie złoża węglowego, jest zbliżony do najwyższego z możliwych, a w warstwach dolnych sięga do 70% wartości maksymalnej.

Ładunek maksymalny zatrzymany na węglu może dla niektórych substancji organicznych wynosić 75 g na 1 kg węgla aktywnego. Przewidywany czas eksploatacji, w którym warunki te są spełniane, np. dla wody z jeziora Zurychskiego, wynosi 6 miesięcy. Przy stosowaniu wstępnego ozonowania czas ten wydłuża się do 2 lat, czyli wzrasta sześciokrotnie. Układ ozon—węgiel jest w tym przypadku oceniany przez użytkownika bardzo pozytywnie. Współdziałanie to jest efektywne również między innymi przy biologicznie aktywnych złożach, wykorzystywanych np. do nityfikacji i jest stosowane już od 10 lat w wielu stacjach uzdatniania. Zwraca się jednak uwagę, że układ ozon—węgiel aktywny może być bardziej kosztowny niż węgiel bez ozonu [25].

Kolejnym problemem jest także prowadzenie eksploatacji, by ziarnisty węgiel aktywny był możliwie rzadko wymieniany lub regenerowany. Są uzasadnione sugestie by nie odbywało się to częściej jak raz na 3—5 lat [8]. Jest to zależne od wielu czynników, takich jak jakość wody dopływającej do filtrów węglowych, charakterystyka węgla i inne, do tej pory niezupełnie poznane czynniki. Z tych przyczyn wydaje się godny polecenia sposób, który został wykorzystany w praktyce stacji w Egau (RFN) [26]. Woda jest tu ujmowana ze źródeł krasowych o wydajności 1 m<sup>3</sup>/s. W okresie opadów pojawiają się zmętnienia wody. Ponadto przez obszar zasilający złożo wodonośne poprowadzono autostradę na długości około 15 km. Dla usunięcia niewłaściwego smaku i zapachu wody, które mogą pojawiać się przy zdarzeniach nieprzewidywanych, zrealizowano stacje uzdatniania z następującym schematem technologicznym: dawkowanie soli żelaza — ozonowanie — dawkowanie flokulantu i siarczanu żelazawego — filtry dwuwarstwowe. Po filtrach możliwe są dwa warianty eksploatacji, zależnie od jakości wody surowej: gdy woda nie zawiera substancji wymagających filtracji przez złożo z węgla aktywnego większa część przefiltrowanej wody (90%) dopływa do komory wylotowej, w której następuje chlorowanie; tylko pozostałe 10% przepływa z filtrów pospiesznych na złożo węglowe, a stąd do komory zbiorczej, gdzie również podlega chlorowaniu. Całość wody dopływa do zbiornika wody czystej, a stąd jest pompowana do użytkowników. Jeżeli w wodzie pojawią się substancje obniżające cechy organoleptyczne — cała woda jest kierowana po filtrach pospiesznych na złożo węglowe — dalszy przebieg uzdatniania — jak w wariantcie pierwszym.

W ten sposób zdolność sorpcyjna węgla jest zachowywana dla usuwania wybranych wskaźników. Dodać trzeba, że ujęcie to wyposażono

w sprawny system monitoringu, ostrzegający o pojawieniu się w wodzie podziemnej niepożądanych substancji na wiele dni przed ich poprzedzeniem się do ujęcia. Dlatego potrzeba wykorzystywania węgla jako samoczynnego urządzenia ochronnego przed niespodziewanymi zanieczyszczeniami wody jest tu wątpliwa [26].

## Podsumowanie

Węgiel aktywny, tak jak inne sposoby uzdatniania wody, może działać skutecznie, jeżeli jest wykorzystywany w sposób odpowiedni. Zbyt długie eksploatowanie węgla, po wyczerpaniu jego zdolności sorpcyjnych, może spowodować pogorszenie jakości wody. Szczególną cechą wymagającą uwzględnienia w projektowaniu i eksploatacji są różnicowane właściwości węgla aktywnego, zależne od gatunków, a nawet wyprodukowanych partii. Podane uwagi dotyczą niektórych problemów związanych ze stosowaniem węgla aktywnego. Uwzględniono przede wszystkim wyniki potwierdzone w eksploatacji.

## LITERATURA

1. J. M. GODLEWICZ: Doświadczenia z eksploatacji i badań filtra węglowego. Materiały Seminarium Projektantów Wodociągów, Szczecin 1981.
2. H. SONTHEIMER: Design Criteria and Process Schemes for GAC Filters, JAWWA 1979, No 11.
3. H. OVERATH: Die neue Trinkwasserverordnung — eine vorläufige Bilanz, GWF, Wasser-Abwasser, 1986, Nr 11.
4. A. L. KOWAL: Kierunki rozwoju systemów oczyszczania wód. Ochrona Środowiska nr 463/2-3 (24—25), Wrocław 1985.
5. S. BIŁOZOR: Badania nad obniżaniem zawartości trójhalemetanów w wodzie do picia. Ochrona Środowiska nr 463/2—3 (24—25), Wrocław 1985.
6. W. ADAMSKI: Ocena przydatności modeli kinetyki adsorpcji dla potrzeb projektowania systemów uzdatniania i odnowy wody. Mat. III symp. „Węgiel aktywny”, Kraków 1987.
7. W. ADAMSKI, A. M. DZIUBEK, A. L. KOWAL: Zastosowanie symulacji krzywych przebiega kolumn adsorpcyjnych do projektowania systemów uzdatniania i odnowy wody. Mat. XV Sem. Projektantów Wodociągów, Gdańsk 1985.
8. Z. LEPKOWSKI: Filtry węglowe w technologii uzdatniania wody. Mat. III Sym. „Węgiel aktywny”, Kraków 1987.
9. A. MOSSAKOWSKA: Zastosowanie węgla aktywnego pylistego do uzdatniania wody. Mat. III Symp. „Węgiel aktywny” Kraków 1987.
10. P. GEIGER: Bestimmung des Erschöpfungsgrades von vier verschiedenen lang betriebenen Aktivkohletypen in sechs Wasserwerken am Zürichsee. Gas-Wasser-Abwasser (Schweiz), 1975, Nr 3, Sonderdruck Nr 713.
11. P. L. KNOPERT, G. OSKAM, E. G. H. VREEDENBURGH: An overview of European water treatment practice. JAWWA, 1980, No 11.
12. I. M. SAYRE: The French Connection: Cuisine and Water Treatment, JAWWA, 1986, No 7.
13. G. BABYLON, C. VENTRESQUE, F. ROY: Evolution of Organics in a Potable Water Treatment System. AQUA, 1987.
14. S. RYBICKI, B. KUBALA: Efektywność działania węgla aktywnego w praktyce zakładu wodociągowego. Ochrona Środowiska nr 521/2—3 (32—33), Wrocław 1987.

15. S. RYBICKI: Podstawy projektowania wodociągów. Mat. X Konf. „Problemy Zaopatrzenia w Wodę Miast i Wsi” Poznań 1986.
16. Z. DEBOWSKI, B. NOWOK, J. PĄPROWICZ: Zależność adsorpcji od rozwinięcia struktury porowatej węgla aktywnych. Mat. II Symp. „Węgiel aktywny”. Kraków-Janowice 1983.
17. J. de MARCO: Design for Organic Removal by Carbon Beds. EPA, Cincinnati, Ohio. 1978.
18. S. RYBICKI: Opinia do opracowania pt. „Wytyczne do projektowania i stosowania w stacjach wodociągowych pylistego i ziarnistego węgla aktywnego” — PR-7.03.03.17.
19. Raport syntetyczny z tematu PR-7.03.03.15 „Wytyczne technologiczne wykorzystania biologicznej aktywności filtrów węglowych dla intensyfikacji efektów uzdatniania wody. Instytut Kształtowania Środowiska w Poznaniu.
20. K. F. JANECEK: Carbon Transfer Techniques. JAWWA, 1978. No 10.
21. J. PAWELEK, W. TYLEK: Wykorzystanie hydrotransportu w rurociągach pod ciśnieniem przy stosowaniu ziarnistego węgla aktywnego. Mat. II Symp. „Węgiel aktywny”, Kraków 1983.
22. S. A. RYBICKI: Urządzenia do adsorpcji na węglu aktywnym w technologii oczyszczania wody. Mat. I Symp. „Węgiel aktywny”, Zakopane 1980.
23. A. JURKIEWICZ, M. WĄSICISZEWSKA: Doświadczenia eksploatacyjne instalacji i urządzeń transportu i dozowania węgla aktywnego pylistego w Wodociągach Warszawskich. Mat. I Symp. „Węgiel aktywny”, Zakopane 1980.
24. M. SCHALEKAMP: The Use GAC Filtration to Ensure Quality in Drinking Water From Surface Sources. JAWWA, 1979, No 11.
25. H. M. NEUKRUG, M. G. SMITH, S. W. MALONEY, I. M. SUFFET: Biological Activated Carbon — At What Costs?. JAWWA, 1984, No 1.
26. J. LEMAŃSKI, S. RYBICKI: Sprawozdanie z wyjazdu służbowego do RFN i Szwajcarii w 1984 roku. NOT, 1985.

## S. A. Rybicki

### DESIGN AND OPERATION OF SYSTEMS AND UNITS FOR ADSORPTION ON ACTIVATED CARBON

*Some major principles to the application of activated carbon systems for the needs of water treatment are discussed. For illustration purpose, a detailed*

*account of the operation of activated carbon beds in the waterworks of West Europe is given. The author characterizes the experimental studies that are performed in Poland prior to the designing process. His attention is also focused on the methods of designing adsorption systems and units involving activated carbon. The paper includes a brief discussion of up-to-date experience with activated carbon beds operated in some waterworks.*