

Krzysztof WILMAŃSKI

Aqua Consulting
ul. Wystouchów 44/71, 30-611 Kraków
e-mail: kwilma@o2.pl

Rozwój technologii oczyszczania wody z użyciem pylistego węgla aktywnego w Polsce

Development of the Technology of the Water Purification with Applying the Powdered Activated Carbon in Poland

The effects of applying powdered activated carbon in a few big water treatment plants in Poland were described in the paper. The results obtained in the course of technological examinations made in the pilot and technical scale were shown. Technical aspects of this process were also described. Attention was paid to the possibility of the dosage of the activated carbon to water directed to rapid filters. Implementation of the technical and technological solutions which provided the optimal use of the activated carbon were discussed.

Keywords: activated carbon, powder, treatment, water, technology, development

Wstęp

Stosowanie pylistego węgla aktywnego (PWA) jest znanym od wielu lat sposobem oczyszczania wody i ścieków. W procesie uzdatniania wody pylisty węgiel aktywny jest najczęściej stosowany do usuwania prekursorów THM, substancji powodujących nieprzyjemny zapach i smak, związków powodujących podwyższone zapotrzebowanie na dezynfektanty, zanieczyszczeń specyficznych, takich jak pestycydy czy WWA. W latach siedemdziesiątych XX wieku blisko 90% wodociągów, które wykorzystywały węgiel aktywny do uzdatniania wody, stosowało go w postaci pylistej [1].

Metoda wykorzystania pylistego węgla jest alternatywą dla procesu oczyszczania wody w filtrach z granulowanym węglem aktywnym GWA. Podstawową zaletą metody PWA w porównaniu z GWA jest niski koszt inwestycyjny oraz elastyczność stosowania [2]. Pylisty węgiel aktywny może być dawkowany okresowo tylko wtedy, kiedy jakość ujmowanej wody wymaga zastosowania dodatkowego procesu oczyszczania. Dzięki temu koszt stosowania węgla pylistego może być ograniczony, kontrolowany przez operatora technologii w wodociągu.

Najm i inni [2] analizowali aspekty technologiczne różnych punktów dozowania węgla aktywnego w procesie uzdatniania wody. W tabeli 1 przedstawiono zalety i wady zastosowania metody PWA w różnych miejscach na stacjach uzdatniania wody.

Przed 2000 r. węgiel aktywny stosowany w krajowych wodociągach najczęściej dozowany był do komór szybkiego mieszania, do których równocześnie wprowadzano koagulanty i inne reagenty wspomagające proces koagulacji. Taki sposób wykorzystania PWA stosowany jest do dnia dzisiejszego między innymi w wodociągach warszawskich czy krakowskich.

W ostatnich latach zaczęto wprowadzać węgiel aktywny do wody w inne miejsca w celu lepszego wykorzystania pojemności adsorpcyjnej węgla i optymalizowania kosztów procesu. Technologię PWA zaczęto wdrażać również w zakładach ujmujących wodę podziemną, w których nie stosuje się koagulacji. W tych zakładach jedynym możliwym punktem dozowania węgla jest woda przed filtrami pośpieszonymi.

Tabela 1. **Aspekty dozowania pylistego węgla aktywnego w różnych punktach procesu technologicznego uzdatniania wody [2]**

Table 1. **Aspects of the dosage of the powdered activated carbon in different points of the water treatment process [2]**

Punkt dozowania	Zalety	Wady
Ujęcie wody	Dobre wymieszanie z wodą, długi czas kontaktu	Na węglu mogą adsorbować się substancje, które można usunąć metodami tańszymi, np. przez koagulację, powoduje to wysokie zużycie węgla
Mieszanie szybkie	Dobre wymieszanie z wodą, wspomaganie koagulacji	Ograniczony czas kontaktu, niekorzystne oddziaływanie koagulantu z węglem, adsorbowanie zanieczyszczeń, które mogą być usunięte przez koagulację, adsorpcja konkurencyjna z cząsteczkami materii usuwanymi przez koagulację
Przed filtry	Efektywne wykorzystanie węgla, długi czas kontaktu	Możliwość przenikania cząstek węgla przez złożo filtracyjne
Do wydzielonych komór mieszania	Dobre wymieszanie z wodą, wydłużenie czasu kontaktu	Dodatkowe koszty inwestycyjne

Celem pracy było przedstawienie postępu we wdrażaniu technologii oczyszczania wody pylistym węglem aktywnym w krajowych wodociągach. Zaprezentowano wybrane wyniki badań własnych realizowanych w skali laboratoryjnej, pilotowej i technicznej w kilku dużych i średnich zakładach wodociągowych: SUW Mosina, SUW Miedwie, SUW Zawada, SUW Jeziórko i SUW Sieniawa. W zakładach tych przewidywano zastosowanie technologii dozowania węgla aktywnego do wody przed filtry pośpieszne.

Zastosowanie pylistych węgli aktywnych w polskich SUW

SUW Mosina

W ramach modernizacji SUW Mosina, zaopatrującej w wodę aglomerację poznańską, przeprowadzono szereg badań technologicznych, które miały na celu oprar-

cowanie optymalnej technologii uzdatniania wody [3]. Jednym z ważnych elementów przyszłej technologii było zastosowanie pylistego węgla aktywnego dozowanego przed filtry pośpieszne w celu usunięcia z wody części materii organicznej i obniżenia zapotrzebowania na dezynfektanty. Zakład ten o wydajności 150 tys. m³/d ujmuje wodę podziemną i infiltracyjną. Zawartość materii organicznej w ujmowanej wodzie jest zbyt wysoka, stężenie OWO i utlenialność wynoszą ponad 4 mg/l. Powoduje to konieczność stosowania wysokich dawek środków dezynfekcyjnych (chlor, dwutlenek chloru), w wyniku czego tworzą się nadmierne ilości ubocznych produktów dezynfekcji.

Prace badawcze realizowane były w skali pilotowej i technicznej w latach 2003-2005. Testowano w tym czasie 10 różnych węgli aktywnych. Parametry fizykochemiczne niektórych testowanych węgli aktywnych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne węgli aktywnych badanych w skali technicznej w SUW Mosina

Table 2. Physicochemical properties of activated carbons examined in the technical scale at the Mosina Plant

Parametr	Węgiel A	Węgiel B	Węgiel C	Węgiel D	Węgiel E	Węgiel F
Surowiec	Drewno	Drewno	Drewno	Roślinny	W. kam.	W. kam.
Zawartość popiołu, %	3,15	3,64	4,95	6,75	n.o.	n.o.
Liczba metylenowa	28 ml	34 ml	31 ml	39 ml	250 mg/g	280 mg/g
Liczba jodowa, mg/g	980	1120	1170	1138	900	950
Liczba melasowa, mg	490	370	145	200	n.o.	n.o.

n.o. - nie oznaczano

Węgłe aktywne pochodzenia roślinnego, przedstawione w tabeli 2, charakteryzowały się wysoką zdolnością adsorpcyjną. Węgłe produkowane z węgla bitumicznego miały nieco gorsze właściwości adsorpcyjne.

W tabeli 3 przedstawiono wielkości zapotrzebowania na chlor i dwutlenek chloru oraz skuteczność obniżania trzech wskaźników materii organicznej w wodzie po filtrach pośpiesznych, uzyskane w wyniku dawkowania do wody przed filtry pośpieszne kilku węgli aktywnych.

Wyniki badań pokazały, że dzięki dozowaniu pylistego węgla aktywnego przed filtry antracytowo-piaskowe możliwe było uzyskanie bardzo dobrych efektów usuwania materii organicznej oraz obniżenie zapotrzebowania na środki dezynfekcyjne.

Najlepsze wyniki uzyskano dla węgli o najwyższych wartościach liczby jodowej i najniższych wartościach liczby melasowej.

W trakcie badań wykonywanych w skali technicznej testowano wpływ 5 wytypowanych węgli aktywnych na uzyskiwane efekty oczyszczania wody. Wyniki porównywano z efektami oczyszczania wody w filtrze referencyjnym, do którego nie wprowadzano węgla aktywnego.

Tabela 3. Średnie efekty obniżania zapotrzebowania na dezynfektanty oraz usuwania materii organicznej na pylistych węglach aktywnych dawkowanych przed filtr pośpieszny w SUW Mosina

Table 3. Average effects of lowering the demand on disinfectants and of removing the organic matter on powdered activated carbons dosed ahead of the rapid filter at the Mosina Plant

Warunki filtracji	Zapotrzebow. na chlor, mg/l	Zapotrzebow. na ClO ₂ , mg/l	Usuwanie, %		
			OWO	Utlenialność	BWO
Po filtracji bez węgla	0,80	0,75	3,0	7,9	0
Po filtracji z węglem A	0,71	0,70	16,8	21,1	27,2
Po filtracji z węglem B		0,55	19,4	28,6	48,8
Po filtracji z węglem C	0,57	0,54	21,0	30,8	60,9
Po filtracji z węglem D		0,51	16,5	23,8	22,7

BWO - biodegradowalny węgiel organiczny

W wyniku przeprowadzonych badań w skali technicznej ustalono szacunkowe dawki węgla konieczne dla uzyskania założonych efektów. Przyjęto, że w procesie oczyszczania wody w filtrach pośpiesznych zastosowanie pylistego węgla aktywnego powinno zapewnić obniżenie stężenia OWO o przynajmniej 15%, a utlenialności o minimum 20%. Dawki testowanych węgla, które zapewniały uzyskanie powyższych efektów, przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Dawki węgla aktywnych wymagane dla uzyskania obniżenia OWO o 15% w SUW Mosina

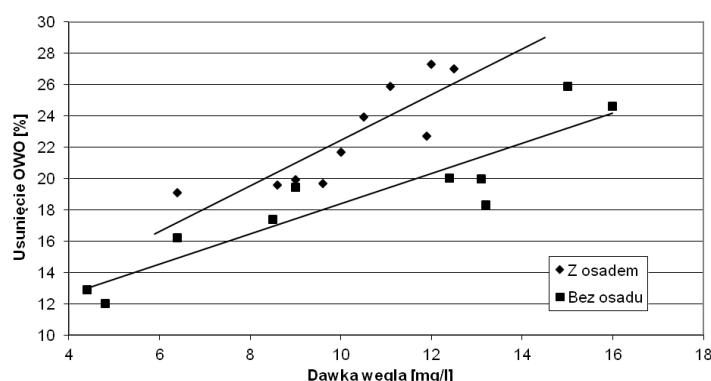
Table 4. Doses of activated carbons required for getting the decrease of DOC by the 15% at the Mosina Plant

Typ węgla	Wymagana dawka, g/m ³
Węgiel B	15,0
Węgiel C	8,5
Węgiel D	8,4
Węgiel E	28,4
Węgiel F	28,4

Dawki węgla o różnych właściwościach różniły się nawet ponad trzykrotnie. Oznacza to, że najniższe koszty uzdatniania wody nie zawsze są uzyskiwane dla węgla tanich, o niewielkiej zdolności adsorpcyjnej. Wybór najkorzystniejszego węgla powinien być dokonywany na podstawie ceny oczyszczania 1 m³ wody, a nie ceny tony węgla aktywnego.

Badania technologiczne wykonywane na potrzeby SUW Mosina wykazały, że efektywność oczyszczania wody w filtrach obok pylistego węgla aktywnego może poprawić zwracanie osadu otrzymanego z popłuczyn tych filtrów. Popłuczyny zawierały wcześniej dozowany do filtra węgiel aktywny. Pojemność adsorpcyjna nie była całkowicie wyczerpana w trakcie jednorazowego dozowania do wody. Na

rysunku 1 przedstawiono wpływ dozowania zawracanego osadu na efekty obniżania OWO w wodzie.



Rys. 1. Wpływ dawek węgla aktywnego C oraz recyrkulacji osadu z popłuczyn na efekty usuwania OWO z wody w SUW Mosina

Fig. 1. Influence of doses of the C activated carbon and the recirculation of sludge from backwash waters on effects of removing DOC from water at the Mosina Plant

Im wyższe były dawki węgla w procesie poprzedzającym płukanie, tym wpływ zawracanego osadu był korzystniejszy. Dzięki zawracaniu osadu z częściowo użytym węglem aktywnym efekt obniżania stężenia OWO był poprawiany o 3÷4%.

Badania wykazały ponadto, że dzięki stosowaniu pylistego węgla aktywnego poprawiana była skuteczność usuwania żelaza z wody w filtrach pośpiesznych.

W trakcie badań realizowanych w skali pilotowej technicznej zwracano szczególną uwagę na możliwość wystąpienia efektu przebiccia filtra pośpiesznego zawieszoną węglem aktywnego. W jednym przypadku stwierdzono nieznaczny wzrost mętności wody przefiltrowanej maksymalnie do wartości 1,5 NTU. Węgiel aktywny stosowany w tym przypadku charakteryzował się szczególnie drobnym uziarnieniem. Zawartość ziaren o wielkości poniżej 10 μm stanowiła w tym materiale około 50%. Pozostałe testowane węgle aktywne miały cząstki o większych rozmiarach. Poza jednym wyżej opisanym węglem pozostałe nie przenikały przez złoża filtracyjne przy szybkości filtracji do 8 m/h w czasie trwania cyklu do 6 dni.

Dla lepszego wymieszania wody z węglem oraz wydłużenia czasu kontaktu zastosowano komory, w których zawieszona PWA mieszana jest z wodą. Z komór tych woda przepływa na filtry pośpieszne.

Przedstawiona wyżej technologia stosowania pylistego węgla aktywnego została wdrożona w SUW Mosina. Zmodernizowana instalacja pracuje od 2015 r. Działa również system zawracania osadów.

SUW Miedwie

Wykorzystanie pylistego węgla aktywnego do poprawy właściwości wody poprzez dozowanie zawiesiny przed filtry pośpieszne zostało zastosowane również w SUW Miedwie już w 2009 r. Zakład ten o wydajności 120 tys. m^3/d zaopatruje

w wodę pitną miasto Szczecin. Uruchomienie tej technologii było poprzedzone badaniami w skali pilotowej i technicznej.

SUW Miedwie ujmuje wodę z jeziora Miedwie. Niektóre parametry jakości wody surowej przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Parametry jakości wody ujmowanej z jeziora Miedwie

Table 5. Parameters of the quality of water taken from the Miedwie lake

Parametr	Jednostka	Wartość średnia
Temperatura	°C	6,1
Mętność	NTU	1,42
Barwa	mg/l	12,1
Odczyn	-	7,96
Amoniak	mg/l	0,11
Utlenialność	mg/l	6,18
Absorb. UV	1/m	17,26
ChZT	mg/l	21,43
OWO	mg/l	8,31
Azot organiczny	mg/l	0,98

W procesie uzdatniania stosowane jest dwustopniowe ozonowanie, koagulacja, filtracja przez filtry pośpieszne antracytowo-piaskowe i filtry węglowe. Tak rozbudowana technologia nie gwarantowała skutecznego obniżenia stężenia materii organicznej. W procesie koagulacji wysokimi dawkami koagulantu glinowego nie uzyskiwano obniżenia OWO poniżej 5 mg/l. W skład materii organicznej obok naturalnych związków humusowych wchodziły produkty rozkładu osadów dennych. Jezioro Miedwie przez dziesiątki lat było silnie zeutrofizowane. Obecnie zakwity planktonu są mniej intensywne, dzięki czemu jakość wody ulega stopniowej poprawie. Jednakże nagromadzone osady ulegają przetwarzaniu w warunkach tlenowych i beztlenowych. Produktami są polarne związki organiczne o średniej wielkości cząstek (poniżej 1000 Da). Powstają między innymi organiczne formy azotu. Stężenie azotu organicznego w wodzie jest wysokie, wynosi średnio 1 mg/l, a maksymalnie osiąga wartość ponad 2 mg/l. Związki te słabo adsorbują się na kłaczkach pokoagulacyjnych. Usuwanie ich na węglach aktywnych jest również stosunkowo trudne.

W skali pilotowej testowano przydatność 11 węgli aktywnych, różniących się właściwościami adsorpcyjnymi i wielkością ziaren. Wytypowano wstępnie 4 węgle, na których uzyskiwano najlepsze wyniki. Efekty obniżania utlenialności i OWO w wodzie w wyniku stosowania wytypowanych węgli oraz filtracji na filtrach antracytowo-piaskowych przedstawiono w tabeli 6.

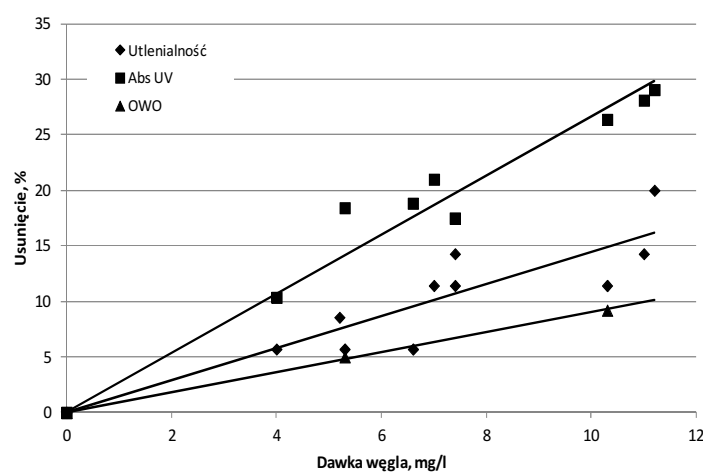
Węgiel C testowany był w skali technicznej. Zawiesina tego węgla dawkowana była do wody przed jeden filtr techniczny. Efekty oczyszczania wody w tym filtrze porównywane były z wynikami uzyskiwanymi na filtrze odniesienia. Wyniki badań w skali technicznej przedstawiono na rysunku 2. Na rysunku tym pokazano wpływ

dawk węglu aktywnego C na skuteczność obniżania trzech wskaźników obecności materii organicznej w wodzie.

Tabela 6. Średnie efekty poprawy jakości wody przefiltrowanej w wyniku stosowania węgla aktywnych dozowanych do wody przed filtr antracytowo-piaskowy. Dawka węgla - 10 mg/l

Table 6. Average effects of the improvement of filtered water quality as a result of applying activated carbons ahead of the anthracite-sand filter. Dose of carbon - 10 mg/L

Węgiel aktywny	Liczba jodowa, mg/g	Obniżenie utlenialności, %	Obniżenie OWO, %
Węgiel C	1080	22,9	10,9
Węgiel M	1000	14,8	8,5
Węgiel N	950	11,6	8,8
Węgiel B	950	9,4	5,2



Rys. 2. Wpływ dawek węgla aktywnego C na efektywność usuwania materii organicznej w SUW Miedwie

Fig. 2. Influence of doses of the C activated carbon on the effectiveness of removing the organic matter at the Miedwie Plant

Należy zwrócić uwagę na wysoką skuteczność obniżania absorpcji UV przy stosunkowo słabej efektywności obniżania OWO. Światło ultrafioletowe absorbowane jest przez zanieczyszczenia wielkocząsteczkowe bogate w wiązania podwójne. Do związków tych należą substancje humusowe. Udział substancji humusowych w wodzie był jednak stosunkowo mały.

SUW Sieniawa

Wprowadzanie technologii pylistego węgla aktywnego w dużych zakładach wodociągowych inspirowało mniejsze stacje do zastosowania tego procesu. W 2013 r. zakończono modernizację SUW Sieniawa, zaopatrującej Krosno w wodę pitną. Wydajność tej stacji wynosi 17 tys. m³/d.

Na stacji tej zastosowano technologię pylistego węgla aktywnego dozowanego przed filtry pośpieszne do usuwania z wody zanieczyszczeń organicznych, wpływających m.in. na wielkość zapotrzebowania na dezynfektanty. Najlepsze wyniki uzyskano na węglach charakteryzujących się liczbą jodową od 1000 do 1200 mg/g. Wymagane dawki były stosunkowo niskie, wynosiły od 4 do 8 g/m³.

SUW Jeziórko

Badania nad zastosowaniem technologii węgla pylistego są obecnie realizowane w SUW Jeziórko, dostarczającej wodę pitną dla Tarnobrzega. Na stacji tej uzdatniana jest woda podziemna, a wydajność stacji wynosi 8000 m³/d. Woda jest silnie zanieczyszczona związkami humusowymi, charakteryzującymi się wysoką barwą.

W tabeli 7 przedstawiono uzyskane w badaniach optymalne dawki węgla aktywnych, zapewniające usuwanie OWO w 15%.

Tabela 7. Dawki różnych węgli aktywnych konieczne do uzyskania 15% usunięcia OWO z wody w SUW Jeziórko

Table 7. Doses of different activated carbons necessary to get the 15% of the DOC removal from water at the Jeziórko Plant

Węgiel	Liczba jodowa, mg/g	Dawka dla 15% usunięcia OWO, mg/l
Węgiel C	1150	7,8
Węgiel D	1050	10,4
Węgiel G	1000	10,8
Węgiel H	800	12,1
Węgiel I	876	14,7
Węgiel J	916	16,0
Węgiel K	950	41,2

Przeprowadzone badania w skali laboratoryjnej wykazały, że najskuteczniejszym adsorbentem był węgiel C o wysokiej zdolności adsorpcyjnej. Wymagane dawki węgla o niższych zdolnościach adsorpcyjnych były wyższe nawet 5-krotnie.

Badania są kontynuowane.

SUW Zawada

Technologia oczyszczania wody pylistym węglem aktywnym została zastosowana również w wodociągu Zawada, zaopatrującym w wodę pitną miasto Zielona Góra. Woda uzdatniana w tym zakładzie jest mieszanką wody powierzchniowej i podziemnej. Średni udział obu wód w mieszance wynosi 1:1. Woda surowa charakteryzuje się podwyższoną zawartością materii organicznej. Stężenie OWO wynosi 5÷8 mg/l.

Badania realizowane w skali laboratoryjnej i technicznej również wykazały, że najbardziej ekonomiczne było zastosowanie węgla o wysokiej zdolności adsorpcyjnej. W tabeli 8 przedstawiono przykładowe wyniki badań prowadzonych w skali

technicznej, w których zawiesina węgla aktywnego była dozowana do wody przed filtr pośpieszny.

Tabela 8. Średnie efekty oczyszczania wody przy dawkowaniu węgla aktywnych do wody przed komorę B filtra nr 2 w porównaniu z komorą A tego filtra (komorą odniesienia)

Table 8. Average effects of the water purification at the dosage of activated carbons to water ahead of the chamber B of filter No. 2 compared with the chamber A of this filter (with chamber of reference)

Węgiel	Liczba jodowa mg/g	Dawka mg/l	Średnie usunięcie w porównaniu z filtrem odniesienia, %			
			OWO	Utlen.	Abs UV	Fe og.
Węgiel L	930	10	5,14	13,20	11,32	27,50
		15	9,60	16,89	18,21	40,13
Węgiel D	1050	8	9,43	13,39	13,03	33,43
		11	20,40	20,70	28,80	21,10

Dawka węgla D o wysokiej zdolności adsorpcyjnej była około 2-krotnie wyższa od dawki węgla L. W trakcie badań stwierdzono również, że w wyniku dawkowania węgla aktywnego dodatkowym efektem było poprawienie efektywności usuwania żelaza z wody.

Szybkość przyrostu oporów filtracji w filtrze zasilanym wodą z węglem aktywnym była identyczna jak dla filtra odniesienia, zasilanego wodą bez węgla.

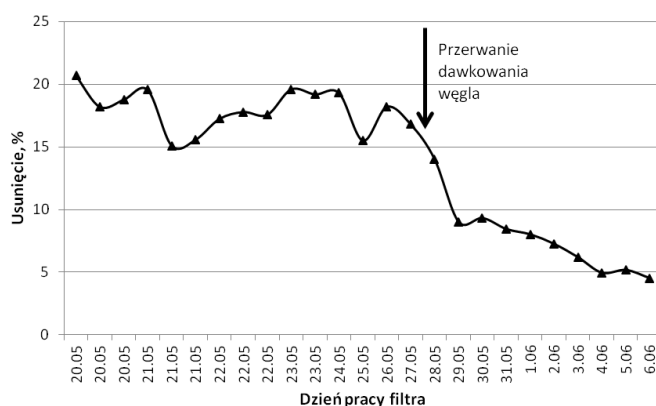
Cząstki pylistego węgla aktywnego mają zwykle wielkość od 1 do 120 μm . Ziarna takie mogą opadać w wodzie stosunkowo szybko. Dlatego w przypadku, kiedy zawiesina węgla jest dozowana do rurociągu daleko od punktu wprowadzenia do komory filtracyjnej, znaczna ilość tego materiału może pozostawać w tym rurociągu i nie docierać do filtra. Dlatego w SUW Zawada zawiesina PWA jest dozowana indywidualnie do każdego filtra pośpiesznego osobną pompą dozującą. Punkty wprowadzania węgla znajdują się w komorach dopływowych przy każdym filtrze.

Badania wykazały również, że możliwe jest uzyskiwanie poprawy efektów oczyszczania wody nie tylko w trakcie dawkowania węgla aktywnego, ale również przez jakiś czas po przerwaniu dozowania przed wypłukaniem filtra.

Na rysunku 3 przedstawiono zmiany efektywności oczyszczania wody w filtrze w trakcie dawkowania węgla i po przerwaniu dawkowania. Wyniki pokazane na tym rysunku są odniesione do efektów uzyskiwanych w filtrze odniesienia, do którego nie dozowano węgla.

Przez 10 dni po przerwaniu dawkowania zawiesiny pylistego węgla aktywnego przed filtr efekt obniżania absorbancji UV był wciąż lepszy o 5÷14% od efektu uzyskiwanego w filtrze odniesienia.

Wyniki te pokazują, że węgiel aktywny zgromadzony w złożu filtra pośpiesznego może oczyszczać wodę jeszcze przez kilka dni po zatrzymaniu dawkowania. Dzięki temu można lepiej wykorzystać zdolność adsorpcyjną węgla i w konsekwencji obniżyć zużycie tego materiału.



Rys. 3. Skuteczność obniżania absorpcji UV w wodzie przy użyciu okresowo dozowanego pylistego węgla aktywnego przed filtr pośpieszny w SUW Zawada

Fig. 3. Effectiveness of lowering the UV absorbance in the water using the periodically dosed powdered activated carbon ahead of the rapid filter at the Zawada Plant

Technologia oczyszczania wody pylistym węglem aktywnym w SUW Zawada została wdrożona w 2015 r.

Wnioski

Technologia stosowania pylistego węgla aktywnego w krajowych wodociągach dzięki niewielkim nakładom inwestycyjnym jest coraz bardziej popularna. Wiele zakładów wprowadza nowe rozwiązania wykorzystujące pylisty węgiel aktywny.

Proces oczyszczania wody węglem pylistym jest optymalizowany tak, żeby wykorzystać wszystkie możliwości wynikające ze stosowania tego adsorbentu. Przeniesienie punktu dozowania węgla z komór flokulacji do filtrów węglowych umożliwia lepsze wykorzystanie pojemności adsorpcyjnej węgla aktywnego.

Technika stosowania PWA dozowanego przed filtry pośpieszne nadaje się zarówno do oczyszczania wód powierzchniowych, jak i wód podziemnych.

Poprzez zwracanie osadów z popłuczyn do procesu oczyszczania uzyskuje się dodatkowy efekt poprawy jakości wody.

Koszty stosowania węgla można obniżyć poprzez stosowanie okresowego, przerywanego dozowania zawiesiny PWA do wody.

Przy wyborze najkorzystniejszego węgla aktywnego do procesu uzdatniania wody należy brać pod uwagę minimalny koszt metra sześciennego uzdatnionej wody zamiast minimum ceny tony węgla.

Literatura

- [1] Faust S.D., Aly O.M., Adsorption Processes for Water Treatment, Butterworths, 1987.
- [2] Najm I.N., Snoeyink V.L., Lykins B.W. Jr., Adams J.Q., Using powdered activated carbon: a critical review, Journal (American Water Works Association) 1991, January 83, 1, 65-76.

- [3] Wilmański K., Usuwanie substancji organicznych z wód podziemnych na pylistym węglu aktywnym, *Ochrona Środowiska* 2005, 3, 13-16.

Streszczenie

W pracy omówiono efekty stosowania pylistego węgla aktywnego w kilku dużych stacjach uzdatniania wody w Polsce. Pokazano wyniki uzyskiwane w trakcie badań technologicznych wykonywanych w skali pilotowej i technicznej. Przedstawiono również aspekty techniczne tego procesu. Zwrócono uwagę na możliwość dawkowania węgla aktywnego do wody kierowanej na filtry pośpieszne. Wprowadzono rozwiązania techniczne i technologiczne, które zapewniły optymalne wykorzystanie węgla aktywnego.

Słowa kluczowe: węgiel aktywny, pył, uzdatnianie, woda, technologia, rozwój