



Badania termicznej regeneracji zużytych węgli aktywnych

Stelmach S., Wasielewski R.
Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla
41-803 Zabrze, ul. Zamkowa 1, tel.032 271 00 41, fax.032 271 08 09
e-mail: sstel@ichpw.zabrze.pl

Streszczenie

Omówiono zagadnienie regeneracji zużytych adsorbentów węglowych. Przedstawiono wyniki badań regeneracji termicznej węgla aktywnego zużytego w procesie adsorpcyjnego oczyszczania ścieków zawierających biocydy syntetyczne. Testy regeneracji prowadzono w instalacji wyposażonej w reaktor ze złożem stacjonarnym oraz z wykorzystaniem pary wodnej jako czynnika aktywującego (regenerującego). Oceny jakości zregenerowanych adsorbentów wykonano w oparciu o wyznaczone izotermy adsorpcji-desorpcji azotu. Przeprowadzone testy regeneracji zużytego węgla aktywnego wykazały, że możliwe jest odtworzenie jego pierwotnej struktury porowatej.

Abstract

Investigation on thermal regeneration of spent activated carbons

The subject of regeneration of spent carbonaceous adsorbents has been discussed. The results of thermal regeneration of activated carbon, which was used for adsorptive cleaning of wastewaters containing synthetic biocides, has been presented. Regeneration tests have been done using testing stand equipped with fixed-bed reactor and steam has been exploited as a activating agent. The quality of regenerated adsorbents has been evaluated using standard method based on nitrogen adsorption-desorption isotherms. The results obtained show, that during thermal regeneration it is possible to re-create original microporous structure of activated carbon.

1. Wstęp.

Zastosowanie adsorbentów węglowych do usuwania śladowych zanieczyszczeń, zarówno z fazy ciekłej jak i gazowej, daje bardzo dobre rezultaty, trudne do osiągnięcia z wykorzystaniem innych metod [1]. Terminem „adsorbenty węglowe” określa się szeroki wachlarz wyrobów (węgli i koksów aktywnych) zróżnicowanych w pierwszym rzędzie pod względem własności sorpcyjnych, których podstawowym miernikiem jest wielkość powierzchni właściwej. Na ogół przyjmuje się, że dolną granicę, pozwalającą zaliczyć wyrób do grupy adsorbentów węglowych, stanowi powierzchnia właściwa wynosząca

50m²/g, natomiast górna wartość tego parametru dla adsorbentów produkowanych na skalę masową sięga 1000m²/g, ale niektóre produkty komercyjne charakteryzują się jeszcze większą powierzchnią właściwą, nawet powyżej 1500m²/g [2÷7].

Węgłe i koksy aktywne można wytwarzać w skali laboratoryjnej z wielu różnych materiałów pochodzenia organicznego, jednak w praktyce przemysłowej jako surowce stosuje się najczęściej torf, węgiel kamienny, węgiel brunatny, drewno i łupiny orzechów kokosowych [2÷7]. Generalnie, adsorbenty węglowe otrzymuje się w procesie karbonizacji surowca oraz aktywacji chemicznej, bądź fizycznej wytworzonego karbonizatu.

Proces adsorpcji z wykorzystaniem adsorbentów węglowych jest często stosowany jako końcowy etap oczyszczania ścieków i spalin, co umożliwia dotrzymanie bardzo wysokich wymagań środowiskowych w zakresie usuwania zawartych w nich zanieczyszczeń. Na drodze do większego upowszechnienia tej metody stoją przede wszystkim wysokie koszty stosowanych adsorbentów oraz problemy z regeneracją bądź utylizacją adsorbentów zużytych w procesie oczyszczania cieczy lub gazów.

2. Termiczna regeneracja adsorbentów.

Ze względu na wysokie ceny adsorbentów węglowych, często stosuje się różne procesy regeneracji adsorbentów zużytych, co pozwala na obniżenie kosztów aplikacji tych produktów. Każdy proces regeneracji adsorbentu węglowego musi zawsze bezwzględnie spełniać następujące warunki:

1. odtworzenie pierwotnej struktury porowatej - produkt regeneracji musi charakteryzować się rozwinięciem struktury porowatej porównywalnym lub lepszym w stosunku do świeżego adsorbentu,
2. pełne unieszkodliwienie powstających odpadów wtórnych - zagadnienie to dotyczy zwłaszcza eliminacji zanieczyszczeń emitowanych w strumieniu gazów odlotowych i sprowadza się do dopalania zdesorbowanych związków, a następnie doczyszczenia pozostałych odgazów,
3. opłacalność ekonomiczna - łączne koszty procesu (z uwzględnieniem pkt. 2) muszą być opłacalne w odniesieniu do kosztów wytworzenia produktu nowego oraz kosztów składowania produktu zużytego.

Znane z literatury metody regeneracji zużytych adsorbentów po procesach adsorpcji zanieczyszczeń z fazy ciekłej i gazowej można podzielić na:

- termiczne,
- chemiczne, ekstrakcyjne i utleniania „na mokro”,
- gazowe,
- próżniowe,
- elektrochemiczne i elektryczne,
- inne, np. biologiczne, wykorzystujące prom. rentgenowskie, a także mieszane [7].

Szczegóły techniczne i procesowe tych metod są zwykle utrzymywane w ścisłej tajemnicy.

Najczęściej stosowanymi w przemyśle metodami regeneracji zużytych adsorbentów po adsorpcji zanieczyszczeń lotnych są metody termiczne. Polegają one na regeneracji adsorbentów węglowych za pomocą termicznej obróbki, najczęściej w atmosferze przegrzanej pary wodnej i/lub spalin. Regeneracja prowadzona jest w piecach półkowych, w piecach obrotowych lub reaktorach fluidyzacyjnych, w temperaturze 870÷980°C. Czas przebywania cząstek regenerowanego materiału w strefie reakcji zawiera się zazwyczaj w przedziale 0,5÷1,5h, ale bywa również dłuższy.

Proces termicznej regeneracji przebiega z reguły dwustopniowo; w pierwszym etapie – w trakcie nagrzewania się złoża reaktywowanego adsorbentu - następuje termiczna desorpcja zaadsorbowanych zanieczyszczeń, natomiast w drugim - reaktywacja czynnikiem utleniającym (najczęściej parą wodną lub dwutlenkiem węgla i tlenem zawartymi w spalinach). W temperaturach 450÷700°C desorpcja połączona jest często z pirolizą zaadsorbowanych związków. W temperaturach wyższych, tj. 750÷900°C, następuje końcowa destrukcja termiczna zaadsorbowanych związków organicznych połączona z częściowym zgazowaniem węglowego szkieletu adsorbentu. Częściowe zgazowanie matrycy węglowej może prowadzić do polepszenia parametrów struktury porowatej adsorbentu, zwłaszcza w przypadku, gdy nie została ona w pełni wykształcona w procesie produkcyjnym (dotyczy to najczęściej koksów aktywnych). W niektórych przypadkach zbyt głębokie zgazowanie niszczy strukturę porowatą i osłabia wytrzymałość mechaniczną adsorbentu (głównie węgla aktywnych), czyniąc je nieprzydatnymi do dalszego użytkowania.

Zużyte adsorbenty węglowe kierowane do regeneracji muszą charakteryzować się wysoką wytrzymałością mechaniczną, co zapobiega ich ścieraniu się podczas tego procesu i pozwala na osiągnięcie odpowiedniego uzysku produktu. Doświadczenia eksploatacyjne instalacji regeneracji węgla aktywnych wskazują, że uzysk regeneratu - z uwzględnieniem strat wynikłych ze ścierania wsadu i częściowego zgazowania matrycy węglowej - wynosi w prawidłowo realizowanym procesie ok. 85-95% w przeliczeniu na suchą masę.

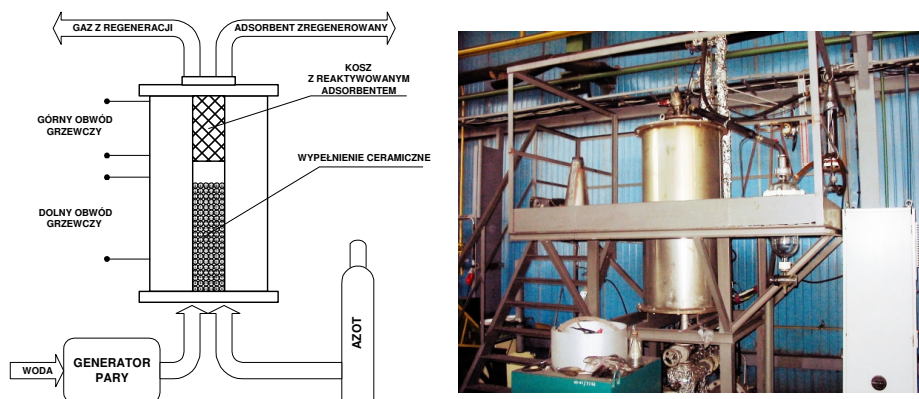
Przy omawianiu kwestii regeneracji zużytego węgla aktywnego, należy również zwrócić uwagę na niezwykle ważną kwestię, która w publikacjach dotyczących tego zagadnienia nie jest zazwyczaj poruszana. Jest kwestią dyskusyjną, czy węgiel aktywny kierowany do regeneracji powinien być traktowany jako odpad, czy też nie. Jeśli tak, to rodzi to określone wymagania legislacyjno-techniczne związane z gospodarowaniem tym materiałem. Zużyty węgiel aktywny w świetle obowiązującego prawa może być klasyfikowany jako odpad inny niż niebezpieczny o kodzie: 190904 (zużyty węgiel aktywny z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych) lub odpad niebezpieczny o kodach: 060702*, 061302*, 070509*, 190110*. W przypadku, gdy zużyty węgiel aktywny traktowany jest jako odpad, podczas jego termicznej regeneracji konieczne do spełnienia są m.in. wymagania legislacyjne związane z termicznym przekształcaniem odpadów. Należy do nich m.in. uzyskanie przez podmiot eksploatujący instalację zezwolenia na odzysk odpadów w procesie R3 (recykling lub regeneracja substancji organicznych, które nie są stosowane jako rozpuszczalniki), a w dalszej konsekwencji dotrzymanie odpowiednich wymagań przez instalację dopalającą uwolnione z regenerowanego węgla zanieczyszczenia. Instalację taką obowiązują parametry procesowe dla termicznego przekształcania odpadów oraz

standardy emisyjne dla spalarni odpadów. Należy również zauważyć, że spalanie zużytych węgla aktywnych jako odpadów w konwencjonalnych instalacjach celem pozyskania energii jest niedopuszczalne. Proces ten może być prowadzony (w zależności od kwalifikacji kodowej zużytego węgla aktywnego jako odpadu) jedynie w instalacjach posiadających zezwolenie na odzysk odpadów w procesie R1 (wykorzystanie jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii) lub unieszkodliwianie odpadów w procesie D10 (termiczne przekształcanie odpadów w instalacjach lub urządzeniach zlokalizowanych na lądzie).

Poniżej zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze, których zasadniczym celem była ocena możliwości termicznej regeneracji węgla aktywnego zużytego w procesie adsorpcyjnego oczyszczania ścieków zawierających biocydy syntetyczne [8].

3. Opis i metodyka badań.

Testy regeneracji zużytego adsorbentu węglowego prowadzono z wykorzystaniem instalacji ze złożem stacjonarnym, w której gorący gaz (bądź mieszanina gazów) jest wprowadzany bezpośrednio na izolowane cieplnie złożo poddawanego konwersji termicznej materiału. Jej uproszczony schemat oraz widok przedstawiono na rysunku 3.1.



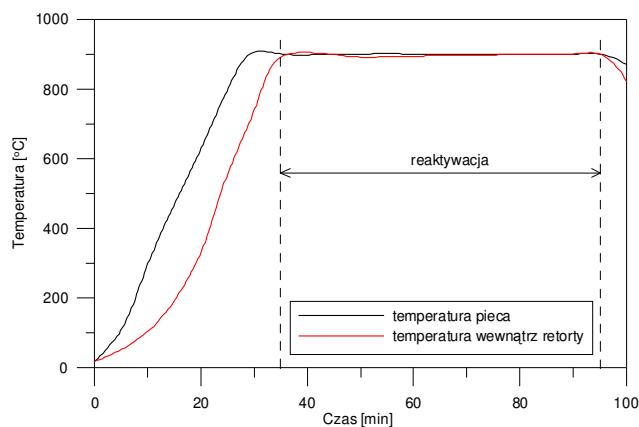
Rysunek 3.1. Schemat i widok instalacji termicznej regeneracji adsorbentów węglowych.

Instalacja ta pracuje w sposób periodyczny i pozwala na obróbkę termiczną maksymalnie ok. 4÷5kg ziarnowych surowców węglowych w temperaturze do 1000°C. Zasadniczą jej częścią jest ustawiony pionowo piec elektryczny-retorta z wbudowaną osiowo rurą wewnętrzną, przez którą przepływa gaz (mieszanina gazowa). W górnej części retorty instaluje się kosz z przerabianym materiałem wykonany ze stalowej blachy perforowanej, aby gaz mógł swobodnie penetrować złożo surowca.

Testom regeneracji termicznej poddano dwie próbki ziarnowego węgla aktywnego, przy czym jedna z nich została wysycona (zużyta) podczas testów adsorpcyjnego oczyszczania

ścieków zanieczyszczonych biocydami syntetycznymi, które prowadzono w instalacji doświadczalnej, natomiast druga próbka zużytego węgla aktywnego pochodziła z przemysłowej instalacji oczyszczania ścieków zawierających zanieczyszczenia o podobnym jak w przypadku instalacji doświadczalnej charakterze chemicznym. Obydwie próbki zużytego węgla aktywnego poddano regeneracji termicznej według procedury opisanej poniżej.

Półkilogramową próbkę zużytego, wilgotnego węgla aktywnego, umieszczono w retorcie (koszu), który wprowadzono do zimnego pieca. Przez retortę przepuszczano azot z natężeniem przepływu $100\text{dm}^3/\text{h}$. Następnie włączano piec i nagrzewano próbkę do temperatury 900°C . W momencie osiągnięcia przez próbkę temperatury 900°C rozpoczęto przepuszczanie pary wodnej przez złożę regenerowanego węgla, w celu jego reaktywacji (zgazowania ewentualnych pozostałości popirolitycznych z rozkładu zaadsorbowanych przez węgiel zanieczyszczeń). Parę wodną przepuszczano przez złożę z natężeniem przepływu $0,6\text{kg}/\text{h}$ przez 1 godzinę. Po zakończeniu przepuszczania pary wodnej przez złożę regenerowanego węgla aktywnego, retortę z węglem aktywnym wyjęto z pieca i schładzano ją azotem przepływającym wciąż przez złożę. Po ochłodzeniu retorty, próbkę wyjęto, zważono w celu określenia uzysku produktu i poddano analizom. Przebieg temperaturowy testu prezentuje rysunek 3.2.



Rysunek 3.2. Przebieg temperaturowy procesu regeneracji próbek wysyczonego węgla aktywnego.

Otrzymany zregenerowany węgiel aktywny poddano szczegółowym badaniom, w celu porównania jego własności z właściwościami produktu świeżego i zużytego oraz dla dokonania oceny skuteczności procesu regeneracji w przyjętych warunkach procesowych. Poddane badaniom próbki węgla aktywnych oznaczono następująco:

- próbka A – węgiel aktywny świeży,
- próbka B – węgiel aktywny zużyty w instalacji badawczej,

- próbka C – węgiel aktywny zużyty w instalacji przemysłowej,
- próbka D – węgiel aktywny zużyty w instalacji badawczej, zregenerowany,
- próbka E – węgiel aktywny zużyty w instalacji przemysłowej, zregenerowany.

Dla poddanych analizom próbek węgla aktywnych wykonano oznaczenia zawartości wilgoci, zawartości popiołu, wytrzymałości mechanicznej, liczby jodowej oraz analizę sitową. Zastosowano przy tym procedury badawcze, oparte o polskie normy dotyczące analityki węgla aktywnych. Wyznaczono również izotermy adsorpcji-desorpcji azotu za pomocą automatycznego analizatora ASAP2000 firmy Micromeritics. Określono wielkość powierzchni właściwej i rozkład rozmiarów porów wszystkich badanych próbek.

4. Analiza wyników badań.

W tablicy 3.1 zebrano rezultaty wykonanych badań wszystkich próbek węgla aktywnego. Uzysk próbek D i E z procesu regeneracji (w przeliczeniu na stan suchy) wyniósł odpowiednio 55 i 52%. Należy zaznaczyć, że wartości te są niskie i w przypadku podjęcia decyzji o ewentualnej komercyjnej regeneracji, uzyski produktu z regeneracji nie powinny być niższe niż 80% (w przeliczeniu na stan suchy). Tak niskie uzyski węgla zregenerowanego otrzymane w wykonanych testach wskazują na to, iż przyjęty arbitralnie czas reaktywacji był zbyt długi, bądź też temperatura zgazowania nieco za wysoka. Jej obniżenie wpłynęłoby na zmniejszenie szybkości reakcji, umożliwiając w oczywisty sposób zwiększenie uzysku zregenerowanego węgla.

Tabela 4.1. Wyniki badań analitycznych wykonanych dla próbek węgla aktywnego F-200.

Parametr	próbka A	próbka B	próbka C	próbka D	próbka E
zawartość wilgoci, %	4,2	32,4	33,4	~0	~0
zawartość popiołu, %	10,6	7,7	7,8	14,6	15,2
wytrzymałość mechaniczna, %	90,8	96,6	94,0	83,0	78,8
liczba jodowa, mg/g	820	430	520	1070	1070
analiza sitowa, %					
>2mm	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
2÷1,6mm	0,4	0,0	0,6	0,1	0,4
1,6÷1,25mm	12,6	27,3	31,2	20,0	22,5
1,25÷1,0mm	22,0	33,1	27,5	33,6	30,6
1,0÷0,8mm	40,2	31,0	28,0	34,3	30,6
0,8÷0,5mm	23,0	8,6	12,3	11,1	14,8
0,5÷0,2mm	1,6	0,0	0,2	0,5	0,7
>0,2mm	0,2	0,0	0,1	0,4	0,4
Powierzchnia właściwa S_{BET} , m ² /g	650	244	320	1054	1077
Powierzchnia mikroporów, m ² /g	590	50	255	742	774
Objętość porów (1÷300nm), cm ³ /g	0,1002	0,0814	0,0972	0,4093	0,4257
Objętość mikroporów, cm ³ /g	0,2840	0,0886	0,1172	0,3424	0,3616
Średnia średnica porów, nm	5,8	6,5	5,9	5,0	5,1

Na podstawie wyników analiz badanych próbek, przedstawionych w tabeli 4.1, widać wyraźnie zmiany parametrów jakościowych węgla zużytego zarówno podczas badań adsorpcyjnego oczyszczania ścieków w instalacji eksperymentalnej, jak i węgla wykorzystanego do oczyszczania ścieków w instalacji przemysłowej (próbki B i C).

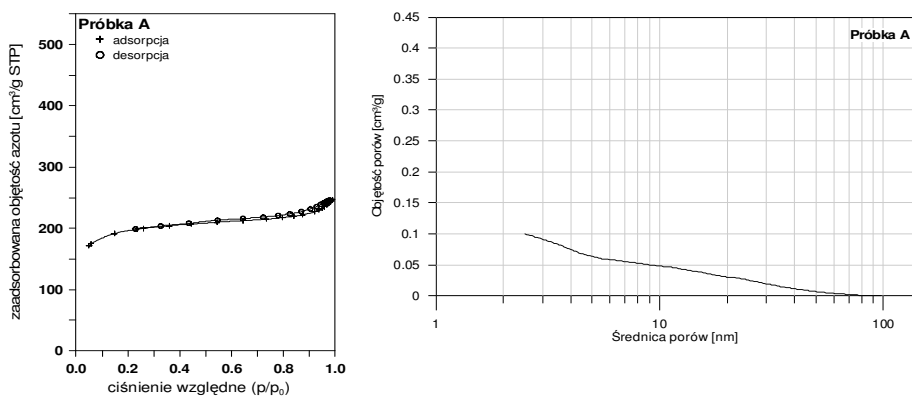
Istotne zmniejszenie się zawartości popiołu w próbkach B i C w porównaniu do próbki węgla świeżego (próbka A) świadczy o wypłukiwaniu się frakcji mineralnej z węgla aktywnego poddanego długotrwałej adsorpcji z fazy ciekłej, co jest zjawiskiem naturalnym dla takiego procesu. Mniej oczywisty jest wzrost wytrzymałości mechanicznej próbek wysyconego węgla aktywnego w porównaniu do próbki węgla świeżego. Można jedynie przypuszczać, że wypełnione zaadsorbowanymi związkami mikropory węgla aktywnego, zwiększają sztywność jego ziaren, poprzez zmniejszenie objętości wolnych przestrzeni (porowatości ziaren), co finalnie powoduje wzrost wytrzymałości ziaren węgla aktywnego. Fakt wypełnienia części porów zaadsorbowanymi zanieczyszczeniami usuwanymi ze ścieków, potwierdza również zmniejszenie się liczby jodowej dla próbek węgla zużytego do wartości 430mg/g (próbka B) i 520mg/g (próbka C). Zarówno wartość zawartości popiołu, wytrzymałości mechanicznej, jak i liczby jodowej wskazuje, że bardziej zużytą próbką węgla aktywnego była próbka pobrana z filtra badawczego.

Próbki węgla aktywnego poddane regeneracji termicznej (próbki D i E) wykazują typowy dla reaktywacji czynnikiem zgazowującym wzrost zawartości popiołu w produkcie (w tym przypadku nieco za wysoki, ze względu na zbyt duże zgazowanie substancji węglowej podczas reaktywacji). Zbyt mocne zgazowanie matrycy węglowej regenerowanego adsorbentu poskutkowało również zmniejszeniem się wytrzymałości mechanicznej ziaren obydwu próbek. Jednak głębsze zgazowanie próbek zużytego węgla aktywnego pozwoliło zwiększyć wartość liczby jodowej węgla zregenerowanego do 1070mg/g, a więc wartości charakteryzującej bardzo duże powierzchnie rozwinięte (bardzo dobre węgle aktywne).

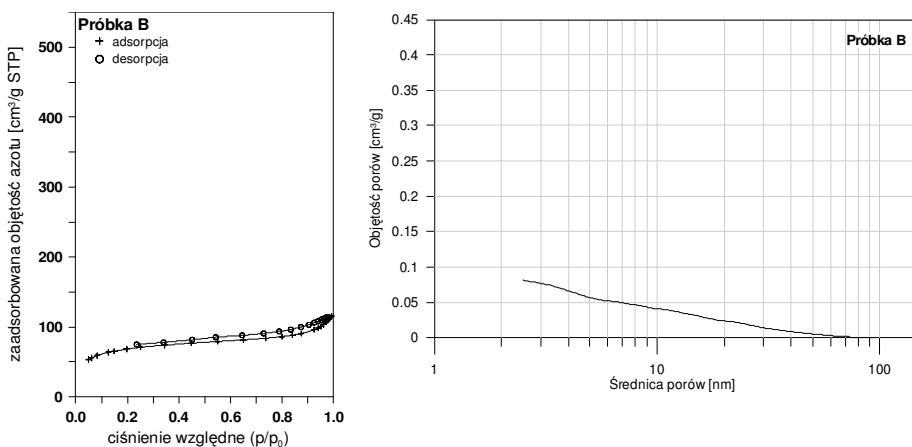
Na rysunkach 4.1÷4.5 przedstawiono wyznaczone dla badanych próbek izotermy adsorpcji-desorpcji azotu wraz z wyznaczonymi na ich podstawie wykresami objętości porów o średnicach w przedziale ~2,5÷80nm, a więc mezoporów i małych makroporów. W tablicy 1 zamieszczono również wyznaczone na podstawie pomiarów adsorpcji azotu wielkości powierzchni właściwej, powierzchni mikroporów, objętości porów o średnicach w przedziale 1÷300nm, objętości mikroporów oraz średniej średnicy porów.

Wyznaczone izotermy adsorpcji-desorpcji azotu dla badanych próbek można zakwalifikować do izoterm typu IV, których charakterystyczną cechą jest wystąpienie pętli histerezy, związanej ze zjawiskiem kondensacji kapilarnej w obszarze mezoporów i limitowanej zdolności adsorpcyjnej w wysokim obszarze ciśnień względnych p/p_0 [1, 9]. Wystąpienie pętli histerezy na wyznaczonej dla badanego materiału izotermie adsorpcji-desorpcji jest cechą charakterystyczną niektórych ciał porowatych [11]. Niezamykanie się pętli histerezy (próbki B i C), charakterystyczne dla wielu układów (szczególnie mikroporowatych), może wynikać z braku możliwości pełnego usunięcia adsorbentu na etapie desorpcji, co staje się możliwe dopiero poprzez odgazowanie adsorbentu w wyższych niż pomiarowa temperaturze. Zjawisko niepełnej desorpcji adsorbentu przy niskich ciśnieniach względnych może być związane z pęcznieniem niesztwnej struktury porowatej badanego materiału, nieodwracalną adsorpcją cząstek adsorbentu w porach (lub na ich wylocie) o zbliżonych rozmiarach do rozmiarów adsorbentowanych cząstek, lub

z nieodwracalnym oddziaływaniem chemicznym adsorbat-adsorbent [9], co jednak w przypadku adsorpcji azotu wydaje się mało prawdopodobne.



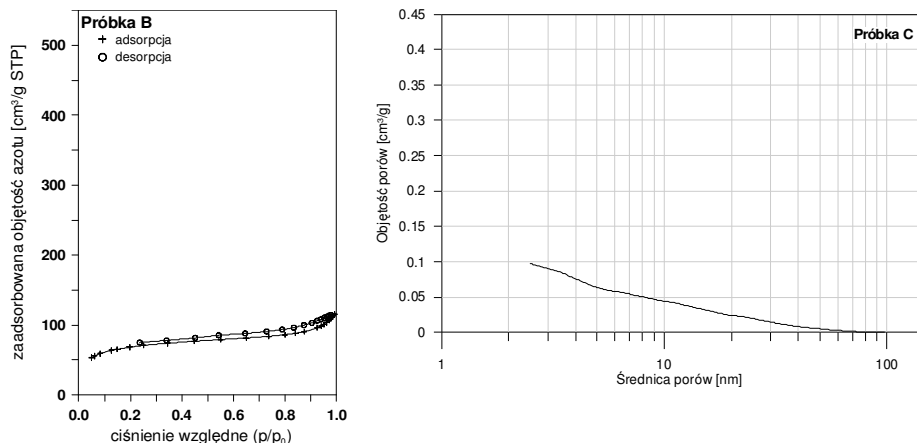
Rysunek 4.1. Izoterma adsorpcji-desorpcji azotu oraz skumulowana objętość porów – próbka A.



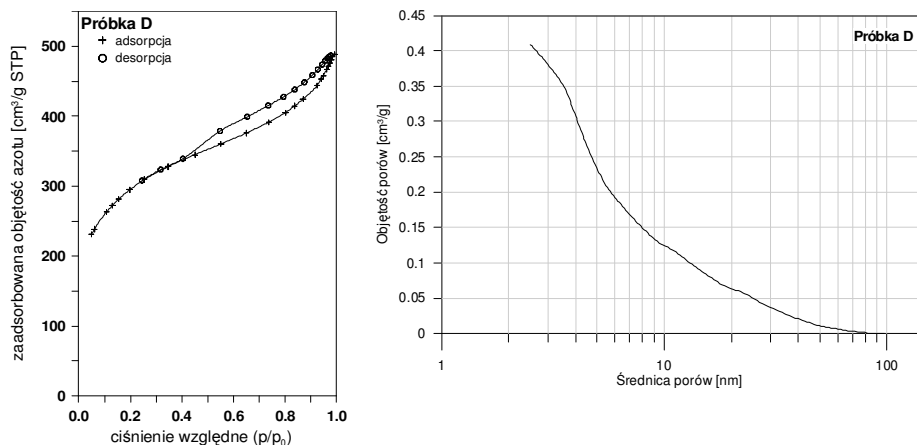
Rysunek 4.2. Izoterma adsorpcji-desorpcji azotu oraz skumulowana objętość porów – próbka B.

Analizując izotermy adsorpcji-desorpcji wyznaczone dla badanych próbek azotu należy stwierdzić, że w przypadku próbek A, D i E ich kształt wskazuje na dużą objętość mikroporów w badanych próbkach – wysokie odcinki krzywych w obszarze niskich ciśnień względnych (charakteryzujących objętościowe zapełnianie mikroporów [10]). W przypadku próbek C i D wysokość tych odcinków jest zdecydowanie mniejsza, co

wskazuje na wypełnienie mikroporów tych próbek zanieczyszczeniami zaadsorbowanymi z oczyszczanych ścieków.



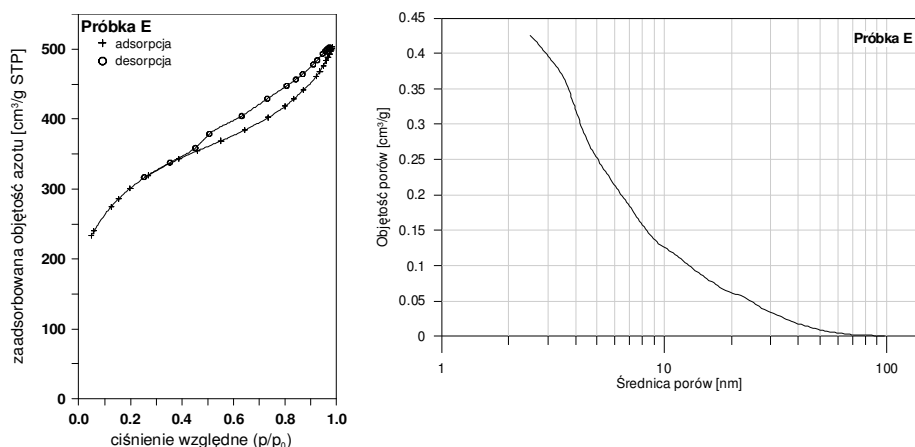
Rysunek 4.3. Izoterma adsorpcji-desorpcji azotu oraz skumulowana objętość porów – próbka C.



Rysunek 4.4. Izoterma adsorpcji-desorpcji azotu oraz skumulowana objętość porów – próbka D.

Analiza skumulowanych objętości porów badanych próbek wskazuje na nieznaczny spadek objętości porów o średnicach $\sim 2,5\div 80\text{nm}$ próbek wysyconych w stosunku do próbki węgla świeżego, co świadczy o zaadsorbowaniu zanieczyszczeń przede wszystkim w mikroporach próbek węgla użytego w adsorpcyjnym oczyszczaniu ścieków. Zdecydowany wzrost objętości porów o tych średnicach (ponad czterokrotny) odnotowano dla próbek poddanych

regeneracji, co świadczy o zajściu procesu zgazowania matrycy węglowej w obszarze mezoporów.



Rysunek 4.5. Izoterma adsorpcji-desorpcji azotu oraz skumulowana objętość porów – próbka E.

Wyznaczone na podstawie izoterm adsorpcji-desorpcji azotu parametry struktury porowatej badanych próbek (przedstawione w tabelicy 1) wskazują na zdecydowane pogorszenie się jakości próbek zużytych, jak również zdecydowane polepszenie się struktury porowatej próbek zregenerowanych w porównaniu do struktury węgla świeżego. Powierzchnia właściwa próbek poddanych regeneracji wyniosła ponad 1000m²/g, co świadczy o otrzymaniu w wyniku regeneracji węgla aktywnego o bardzo dobrych parametrach sorpcyjnych. Nieco większe objętości mikroporów próbek zregenerowanych w stosunku do węgla świeżego, świadczą o zajściu dodatkowego zgazowania matrycy węglowej, nienaruszonej w procesie produkcyjnym, co potwierdza również większa powierzchnia mikroporów tych próbek. Objętość porów o średnicach 1÷300nm świadczy o ok. czterokrotnym (o czym wspomniano wcześniej) zwiększeniu się objętości porów próbek zregenerowanych w porównaniu do próbki węgla świeżego, ale głównie w obszarze mezoporów i małych makroporów.

Generalnie można przyjąć (a obrazem tego są wyniki przedstawione w tabelicy 4.1), że większemu wysyceniu w trakcie adsorpcyjnego oczyszczania ścieków uległa próbka węgla aktywnego pobrana z filtra badawczego. Natomiast nieco głębsze zgazowanie matrycy węglowej (mniejszy uzysk) podczas regeneracji próbki węgla pobranej z filtra przemysłowego, poskutkowało uzyskaniem trochę lepszych parametrów struktury porowatej próbki E (filtr przemysłowy) w porównaniu z próbą D (filtr badawczy).

5. Podsumowanie

Przeprowadzone próbne testy regeneracji węgla aktywnego, zużytego w procesie adsorpcyjnego usuwania biocydów syntetycznych ze ścieków, wykazały, że możliwe jest odtworzenie pierwotnej struktury porowatej węgla aktywnego wykorzystanego do tego procesu. W wykonanych badaniach dokonano wprowadzenia zbyt głębokiego zgazowania matrycy węglowej wysyconych adsorbentów (uzyskując w ten sposób węgle aktywne o bardzo dobrych parametrach sorpcyjnych), co jednak świadczy o możliwości odtworzenia pierwotnej struktury porowatej przy realizacji procesu regeneracji w łagodniejszych warunkach czasowo-temperaturowo-stężeniowych. Dobór właściwych parametrów regeneracji wymaga wykonania większej liczby testów dla zoptymalizowania procesu.

Wykonane badania wykazały, że węgiel wybrany do procesu adsorpcji biocydów syntetycznych charakteryzuje się dużą „rezerwą” substancji węglowej, co umożliwia jego dalsze, dość głębokie zgazowanie, a jednocześnie pozwala mieć pewność, iż jego struktura porowata nie zostanie szybko zniszczona podczas termicznej reaktywacji czynnikiem zgazowującym. Odtworzenie struktury mikroporowatej węgla aktywnego świadczy o pełnym usunięciu zaadsorbowanych w procesie oczyszczania ścieków zanieczyszczeń i pozwala stwierdzić, że węgiel ten z powodzeniem może zostać ponownie wykorzystany do procesu adsorpcji zanieczyszczeń z fazy ciekłej. Należy jednak pamiętać, że uzysk produktu (w przeliczeniu na stan suchy), w ewentualnym procesie przemysłowej termicznej regeneracji, nie powinien być niższy niż 80%, co powinno zapewnić uzyskanie węgla o odpowiednich właściwościach adsorpcyjnych, jak i wytrzymałościowych, przy zachowaniu racjonalności ekonomicznej przedsięwzięcia. W przypadku założenia 20% strat materiału węglowego podczas regeneracji węgla zużytego można przyjąć, że po pięciu regeneracjach nastąpi pełne zużycie początkowego wsadu, a więc konieczne będzie uzupełnienie całkowitej, początkowo wykorzystanej ilości węgla aktywnego.

Sytuacja taka jest oczywiście czysto hipotetyczna. Powstające w każdym cyklu regeneracyjnym straty węgla uzupełnia się węglem świeżym, uzyskując za każdym razem jakościowo „nowy” wsad, który po zużyciu poddaje się ponownie regeneracji i ponownie uzupełnia straty węglem świeżym. Po wielokrotnym cyklu adsorpcja-regeneracja nie jest możliwym stwierdzenie, która z części przetwarzanego węgla jest „pierwotnego” pochodzenia, a która stanowi uzupełnienie strat. Właściwości sorpcyjne złoża są wypadkową właściwości wszystkich frakcji węglowych wchodzących w jego skład, choć trzeba przyznać, że będą one zawsze nieco gorsze (bądź z adsorpcyjnego, bądź wytrzymałościowego punktu widzenia) w porównaniu do węgla świeżego. Dlatego też, można powiedzieć, że węgiel aktywny zużyty w procesie adsorpcyjnego usuwania biocydów syntetycznych ze ścieków, może być regenerowany wielokrotnie (przy założeniu prawidłowości prowadzenia procesu regeneracji), gdyż za każdym razem jest nowym produktem, uzupełnionym węglem świeżym.

Literatura

- [1] Paderewski M.L.: Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej. WNT, Warszawa 1999.

-
- [2] Tengler Sz.: Niekonwencjonalne metody chemicznej przeróbki węgla. WSP, Kielce 1978.
- [3] Wigmans T.: Industrial aspects of production and use of activated carbons. Carbon, 1989, 27, s. 13-22.
- [4] Wigmans T.: Fundamentals and practical implications of activated carbon production by partial gasification of carbonaceous materials. Carbon and Coal Gasification. NATO ASI Series, Series E: Applied Sciences - No.105, 1986, s. 559-599.
- [5] Davidson H.W., Wiggs P.K.C., Churchouse A.H., Maggs F.A.P., Bradley R.S.: Manufactured Carbon. Pergamon Press, Oxford, 1968.
- [6] Schobert H.H., Song C.: Chemicals and materials from coal in the 21st century. Fuel, 2002, 81, s. 15-32.
- [7] Jankowska H., Świątkowski A., Choma J.: Węgiel aktywny. WNT, Warszawa, 1985.
- [8] Latkowska B.: Usuwanie zanieczyszczeń z wód odciekowych pochodzących ze składowiska odpadów do produkcji pestycydów. Środowisko i Rozwój, 2007, 2, s. 94-100.
- [9] Sing K.S.W., Everett D.H., Haul R.A.W., Moscou L., Pierotti R.A., Rouquérol J., Siemienińska T.: Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. Pure & Applied Chemistry, 1985, 57, s. 603-619.
- [10] Choma J., Jaroniec M.: Analiza strukturalnych i energetycznych właściwości mikroporowatych adsorbentów węglowych, Wiadomości Chemiczne, 1996, 50, s. 759-788.
- [11] Adamson A.W.: Chemia fizyczna powierzchni. PWN, Warszawa, 1963.