



Zmiany chemii powierzchni węgla aktywnego WD-extra po regeneracji reagentem Fentona zastosowanego do adsorpcji zieleni naftolowej B

Elżbieta Bezak-Mazur, Dagmara Adamczyk
Politechnika Świętokrzyska

1. Wstęp

Węglami aktywnymi określa się amorficzne materiały węglowe, charakteryzujące się wysokim stopniem porowatości i rozwiniętą powierzchnią wewnętrzną [1].

Węgłe aktywne stosowane są w technologiach uzdatniania wody, oczyszczaniu ścieków i gazów oraz jako katalizatory. Sorbenty te stosowane są do oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych ze związków organicznych m.in. związków halogenoorganicznych [1], naturalnych substancji organicznych [1], związków fenolowych [1, 16, 23], nitro- i amino związków [1], pestycydów [1, 3], detergentów [1], narkotyków [1] i toksyn [1]. Znalazły one także zastosowanie do usuwania związków nieorganicznych i metali ciężkich (miedzi, chromu, rtęci, kadmu, kobaltu, niklu, ołowiu, cynku, arsenu) [1, 21]. Nasycanie węgla aktywnych wybranymi metalami prowadzi do powstania węgla impregnowanych używanych do rozkładu gazów i oparów ze strumieni gazów odlotowych [1].

Węgłe aktywne stosowane są również w procesie oczyszczania ścieków przemysłowych takich jak ścieki farbiarskie czy tekstylne w celu usunięcia niebezpiecznych związków organicznych jakimi są barwniki [10, 19, 22].

Wyróżnia się kilka grup barwników m.in. kwasowe, zasadowe, reaktywne, bezpośrednie i inne. Związki te, ze względu na swoją toksyczność oraz charakter mutagenny i kancerogenny muszą być usuwane ze ścieków zanim dotrą one do zbiorników wodnych [1, 26].

Przebieg adsorpcji zanieczyszczeń na węglach aktywnych zależy od kilku warunków tj. [1]:

- masy cząsteczkowej adsorbentu,
- wymiaru i kształtu geometrycznego adsorbentu,
- rozpuszczalności i polarności adsorbentu,
- rodzaju grup funkcyjnych węgla aktywnego,
- wielkości porów,
- powierzchni właściwej sorbentu,
- temperatury, odczynu roztworu, stężenia początkowego barwnika, naważki węgla, czasu kontaktu.

Węgłe aktywne z powierzchniowymi grupami polarnymi i pozabawione grup funkcyjnych stosuje się do adsorpcji związków niepolarnych, natomiast węgle zawierające mezo- i makropory stosowane są do adsorpcji związków organicznych charakteryzujących się dużymi cząsteczkami [1, 13, 18].

Grupy funkcyjne znajdujące się na powierzchni węgla aktywnych warunkują ich właściwości adsorpcyjne, elektrochemiczne, katalityczne, kwasowo-zasadowe, utleniająco-redukujące, hydrofilowo-hydrofobowe i inne. Powierzchniowe tlenowe grupy funkcyjne można podzielić na dwa rodzaje [13, 18]:

- charakterze kwasowym – zobojętniane przez zasady: karboksylowe, hydroksylowe fenolowe, karbonylowe typu chinonowego, laktonowe normalne, laktonowe typu fluoresceiny, bezwodnikowe pochodząc z sąsiadujących grup karboksylowych
- charakterze zasadowym – zobojętniane przez kwasy: chromenowe, pironopodobne.

W wyniku utleniania węgla aktywnych np. kwasem azotowym (V) lub nadtlakiem wodoru na powierzchni węgla tworzą się liczne grupy tlenowe o charakterze grup funkcyjnych, analogicznych do tych jakie występują w typowych związkach organicznych [17].

Sorbenty węglowe o utlenionej powierzchni charakteryzują się silnymi właściwościami kationowymiennymi w wodnych roztworach. Pojemność jonowymienna węgla aktywnych zależy od stężenia powierzchniowego tlenowych grup funkcyjnych, rodzaju i stężenia elektrolitów i odczynu roztworu [14].

W pracy [14] zbadano adsorpcyjne i jonowymienne zdolności węgla aktywnych o utlenionej powierzchni (68% HNO_3) tj. węgiel AG i CWZ-3. Utlenienie spowodowało zwiększenie ilości grup karboksylowych, fenolowych, laktonowych i karbonylowych. Podobne informacje o zwiększeniu ilości grup kwasowych zwłaszcza karbonylowych, karboksylowych i fenolowych na powierzchni sorbentu węglowego utlenionego kwasami nieorganicznymi takimi jak: HNO_3 , HCl , HF i ich mieszaniny otrzymali Repelewicz i Choma [17, 12].

Jankowska [14] stwierdziła, że ważnym rodzajem oddziaływań pomiędzy powierzchnią sorbentu węglowego a zaadsorbowanym związkiem organicznym są oddziaływania dyspersyjne.

Na podstawie badań eksperymentalnych [14] stwierdzono, że wpływ utlenienia powierzchni sorbentów węglowych na ich właściwości adsorpcyjne przejawia się poprzez wzrost polarności i hydrofobowości powierzchni to znaczy zmianie ładunku powierzchniowych ziaren węgla.

Zwiększenie ilości grup o charakterze kwasowych oraz zmniejszenie ilości grup zasadowych na powierzchni węgla aktywnego stwierdzili także Santiago i in. [20]. Węgiel aktywny o utlenionej powierzchni zmniejszył swoje zdolności sorpcyjne względem fenolu.

W badaniach eksperymentalnych [17] zastosowano węgiel aktywny WG-15, który poddano modyfikacji kwasowej i wodnej. Modyfikacje węgla aktywnego WG-15 miały także istotny wpływ na strukturę porowatą sorbent, o czym świadczy zwiększenie się jego powierzchni właściwej. Dodatkowo odnotowano, że proces modyfikacji wodnej i kwasowej powoduje usuwanie substancji mineralnych, prowadzi do otwarcia znacznej części mikroporów i udostępnienia ich przestrzeni do adsorpcji azotu, co skutkuje polepszeniem zdolności sorpcyjnych węgla aktywnego w stosunku do azotu. Wyżej opisane modyfikacje mają niewielki wpływ na strukturę mezoporowatą [17].

Chiang i in [5] przeprowadzili modyfikację węgla aktywnego za pomocą ozonu i wodorotlenku sodu. Na podstawie danych eksperymentalnych odnotowano, że działanie O_3 , NaOH i mieszaniny obu odczynników na sorbent węglowy spowodowało wzrost zawartości grup kwasowych tj. fenolowych, karboksylowych i laktonowych. W przypadku działania ozonem i wodorotlenkiem sodu największy przyrost odnotowano w przypadku grup fenolowych. Według Valdes i in. [25] działanie ozonem spowodowało zwiększenie zawartości grup karboksylowych, lakto-

nowych i karbonylowych, co pogorszyło jego zdolności sorpcyjne w stosunku do azotu i błękitu metyloвого.

Efekt modyfikacji powierzchni węgla aktywnego był obserwowany również podczas jego regeneracji z wykorzystaniem utleniającego oddziaływania reagenta Fentona [7, 11]. Tak zregenerowany węgiel wykazuje zwiększenie zawartości kwasowych grup tlenowych.

Gaur i in. [9] wykazał, że chemiczna modyfikacja węgla aktywnych, w szczególności kwasami, jest stosowana najczęściej ze względu na jej dostępność i prostotę.

Według danych literaturowych [7, 18, 24] sorbenty węglowe charakteryzujące się największą zawartością tlenowych grup funkcyjnych miały największy ubytek masy w trakcie procesu utleniania. Należy podkreślić, że otrzymany ubytek masy był przede wszystkim związany z rozkładem powierzchniowych grup funkcyjnych, ponieważ badany węgiel zawierał niewiele zanieczyszczeń nieorganicznych.

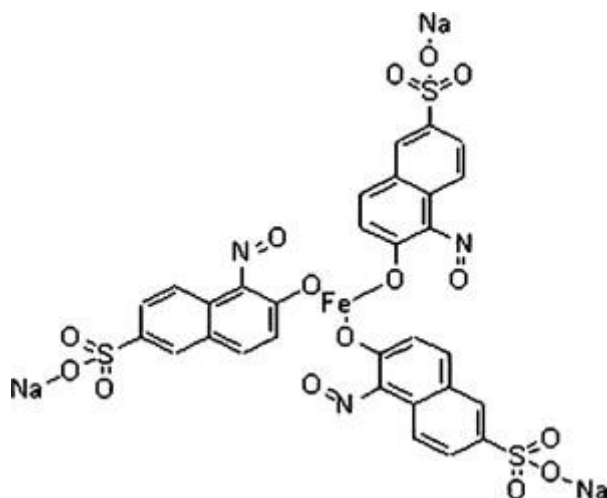
Na podstawie powyższego przeglądu literaturowego stwierdzić można, iż modyfikacja węgla aktywnych wpływa na ich chemiczną strukturę powodując zmiany w jego tlenowych powierzchniowych grupach funkcyjnych, co wpływa na zmianę zdolności sorpcyjnych węgla w stosunku do związków nieorganicznych i organicznych.

Celem pracy było zbadanie wpływu regeneracji reagentem Fentona na chemiczną powierzchnię handlowego węgla aktywnego WD-extra. W poniższej pracy omówiono badania modelowe dotyczące adsorpcji wybranego barwnika kwasowego tj. zieleni naftolowej B na świeżym i zregenerowanym reagentem Fentona węglu aktywnym WD-extra.

2. Metodyka badań

2.1. Charakterystyka barwników i węgla aktywnego

W eksperymencie zastosowano kwasowy barwnik – zieleń naftolową B (Acid green 1) o wzorze sumarycznym $C_{30}H_{15}FeN_3Na_3O_{15}S_3$. Należy on do grupy barwników nitrozowych i charakteryzuje się dobrą rozpuszczalnością w wodzie. Masa molowa zieleni naftolowej B wynosi 878,79 g/mol. Znalazła ona zastosowanie do farbowania wełny, nylonu i papieru oraz występuje ona w ściekach poligraficznych i farbiarskich. Wzór strukturalny przedstawia rysunek 1 [15].



Rys. 1. Zielen naftolowa B

Fig. 1. Naphthol green B

W eksperymencie zastosowano węgiel aktywny WD-extra (Gryfskand) otrzymywany z pyłu węgla kamiennego i lepiszcza poprzez wyprasowanie cylindrycznych granul, a następnie ich suszenie, karbonizowanie i aktywację parą wodną. Jest on używany do uzdatniania wody pitnej w dużych stacjach uzdatniania wody oraz w małych instalacjach filtrów i kontenerów. Węgiel ten może być stosowany do usuwania z wody zanieczyszczeń organicznych, detergentów, pestycydów, zapachu i chloru. Jak donoszą źródła literaturowe [12] jego zdolności sorpcyjne tj. powierzchnia właściwa (950–1050 m²/g), objętość porów (1,20 cm³/g), wytrzymałość mechaniczna (90%) oraz liczba jodowa (900–1000 mg/g) wskazują, że ten węgiel aktywny ma bardzo dobre zdolności sorpcyjne.

2.2. Przebieg eksperymentu

2.2.1. Adsorpcja na świeżym węglu aktywnym

Świeży handlowy węgiel aktywny WD-extra (odpowiednio 0,2 g, 0,5 g, 1 g, 1,5 g, 2 g) został umieszczony w kolbach stożkowych o pojemności 300 cm³. Następnie zalano go 100 cm³ roztworu wybranego barwnika tj. zieleni naftolowej B. Stężenie barwnika wynosiło 400 mg/L. Próbkę wytrząsano przez 10 godzin (pH 7–8), a po tym czasie rozdzielono fazy tj. roztwór barwnika i zużyty sorbent. Następnie zużyty sorbent węglowy został przemyty wodą destylowaną i wysuszony w suszarce.

2.2.2. Regeneracja węgla aktywnego WD-extra

Zużyty w procesie adsorpcji węgiel aktywny WD-extra został poddany procesowi regeneracji przy pomocy reagenta Fentona, który został przyrządzony w następujący sposób: do zlewki o pojemności 1 dm³ wiano wodę destylowaną, następnie dodano stężony kwas siarkowy (VI), tak aby pH było w zakresie 3. Do przygotowanego roztworu dodano 10 cm³ FeSO₄ · 7 H₂O (ilość jonów żelaza 9,27 mg) i 1,5 cm³ nadtlenu wodoru. Sorbent węglowy zadano przygotowanym w powyższy sposób roztworem odczynnika Fentona (500 cm³), wytrząsano w czasie 30 min. Zregenerowany węgiel aktywny został przepłukany wodą destylowaną i wodorotlenkiem sodu, a następnie wysuszony w suszarce.

Przygotowany węgiel aktywny został ponownie użyty do przeprowadzenia adsorpcji barwników na zregenerowanym węglu aktywnym WD-extra.

2.2.3. Oznaczanie stężenia barwnika

Stężenie barwnika było oznaczane metodą spektrofotometryczną (UV/VIS Marcel Media). Próbki barwnika po sorpcji pobierano pipetą z kolby stożkowej do plastikowej fiolki, następnie umieszczano je w kuwecie spektrofotometru i odczytywano na monitorze komputera stężenie barwnika, mierzone przy długości fali 715 nm.

2.2.4. Oznaczanie stężenia tlenowych grup funkcyjnych na powierzchni węgla aktywnego metodą Boehma – grupy o charakterze kwasowym

Metodą pozwalającą na ocenę ilościową powierzchniowych grup funkcyjnych sorbentów węglowych jest metoda Boehma [4]. Metoda ta polega na reakcji wymiany jonów H⁺ na jony Na⁺ z zasad o różnym pK. Poszczególne grupy kwasowe ulegają neutralizacji w następującej kolejności [10].

- karboksylowe – pod wpływem NaHCO₃
- karboksylowe + laktonowe – pod wpływem Na₂CO₃
- karboksylowe + laktonowe + fenolowe – pod wpływem NaOH
- karboksylowe + laktonowe + fenolowe + karbonylowe – pod wpływem C₂H₅ONa

Do oznaczeń odważono czterokrotnie po 0,2 g świeżego i zregenerowanego (po każdej z pięciu regeneracji) węgla aktywnego. Tak odważone próbki (łącznie 24) umieszczono w kolbach 100 cm³. Próbki podzielono na cztery grupy obejmujące węgiel świeży i sorbent po każdej z regeneracji i zalano 25 cm³ przygotowanego roztworu tj.:

- I grupa – zalano 0,1 mol/dm³ NaHCO₃,
- II grupa – zalano 0,05 mol/dm³ Na₂CO₃,
- III grupa – zalano 0,1 mol/dm³ NaOH,
- IV grupa – 0,1 mol/dm³ C₂H₅ONa.

Dodatkowo sporządzono próby ślepe dla każdego z odczynników. Roztwory wytrząsano w czasie 48 godzin. Po tym czasie roztwory przesączono, pobierano 10 cm³ przesączu i miareczkowano 0,05 mol/dm³ roztworem HCl wobec oranżu metylowego. W przypadku C₂H₅ONa przesącz wlewano do kolbki zawierającej wodę destylowaną i miareczkowano HCl w obecności oranżu metylowego.

Stężenie grup funkcyjnych na powierzchni węgla aktywnego WD-extra obliczono według wzoru:

$$A = \frac{(V_{sl} - V) \cdot M \cdot 2,5}{m} \quad (1)$$

gdzie:

V_{sl} – objętość HCl zużyta na miareczkowanie 10 cm³ roztworu wyjściowego w tzw. ślepej próbie [dm³],

V – objętość HCl zużyta na miareczkowanie 10 cm³ roztworu po zobojętnieniu [dm³],

M – stężenie roztworu HCl [mol/dm³],

m – masa naważki węgla [g].

2.2.5. Oznaczanie sumarycznego stężenia tlenowych grup funkcyjnych na powierzchni węgla aktywnego – grupy o charakterze zasadowym

Do oznaczeń odważono 0,2 g węgla aktywnego i umieszczono w kolbach 100 cm³ a następnie zalano 25 cm³ 0,05 M HCl. Roztwory wytrząsano w czasie 48 godzin. Po tym czasie roztwory przesączono, pobierano 10 cm³ przesączu i miareczkowano roztworem 0,05 M NaOH wobec oranżu metylowego.

Stężenie grup funkcyjnych o charakterze zasadowym na powierzchni węgla aktywnego wyznaczono według wzoru:

$$A = \frac{(V_{sl} - V) \cdot M \cdot 2,5}{m} \quad (2)$$

gdzie:

V_{sl} – objętość NaOH zużyta na miareczkowanie 10 cm³ roztworu wyjściowego w tzw. ślepej próbie [dm³],

V – objętość NaOH zużyta na miareczkowanie 10 cm³ roztworu po zobojętnieniu [dm³],

M – stężenie roztworu NaOH [mol/dm³],

m – masa naważki węgla [g].

2.2.6. Ubytek masy węgla aktywnego WD-extra

W trakcie eksperymentu kontrolowano ubytek masy węgla aktywnego WD-extra.

2.2.7. Wartość liczby jodowej

Do kontroli zdolności sorpcyjnych węgla aktywnego WD-extra jako bardzo wygodny w użyciu wybrano parametr liczby jodowej. Wyznaczono ją zgodnie z normą PN-83 C-97555.04.

3. Wyniki

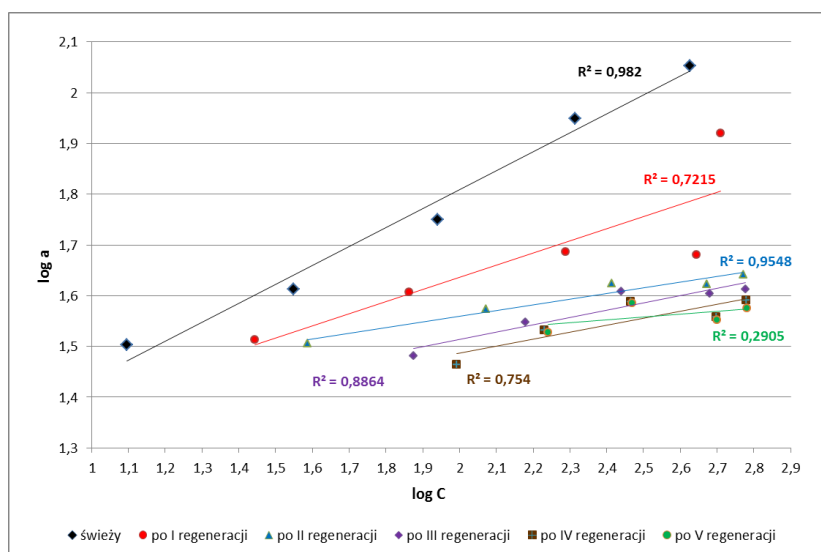
W pierwszym etapie badań obliczono adsorpcję właściwą, korzystając ze wzoru [1]:

$$A = \frac{(C_0 - C_i) \cdot V}{m_c} \quad (3)$$

gdzie: C_0 i C_i – odpowiednio stężenie początkowe i równowagowe barwnika, V – objętość roztworu, m_c – masa suchego węgla aktywnego.

Wyliczone wartości adsorpcji właściwej posłużyły do sporządzenia wykresów izoterm sorpcji (rys. 2).

Najwyższą pojemność adsorpcyjną ok. 130 mg/g otrzymano w przypadku świeżego sorbentu. Natomiast po regeneracji reagentem Fentona wartości adsorpcji były niższe i wynosiły od ok. 39 mg/g do ok. 72 mg/g. Pojemność adsorpcyjna została wyznaczona za pomocą izoterm Langmuira.



Rys. 2. Izotermy sorpcji zieleni naftolowej B na świeżym i zregenerowanym w czasie 30 min węglu aktywnym WD-extra (I–V), czas kontaktu 10 godzin
Fig. 2. The isotherms of naphthol green B on virgin and regenerated in 30 min (I–V) activated carbon WD-extra, contact time 10 hours

Tabela 1. Współczynniki równania Langmuira dla adsorpcji zieleni naftolowej B na węglu aktywnym WD-extra

Tabela 2. The coefficients of Langmuir equation of the adsorption of Naphthol green B before and after regeneration of active carbon WD-extra

Węgiel aktywny WD-extra	a_m	k	r^2
Świeży	129,87	0,013	0,971
Po I regeneracji	71,43	0,015	0,814
Po II regeneracji	44,64	0,053	0,999
Po III regeneracji	42,73	0,035	0,999
Po IV regeneracji	40,16	0,033	0,993
Po V regeneracji	38,76	0,04	0,994

Zdolności sorpcyjne świeżego i zregenerowanego węgla aktywnego WD-extra zostały określone na podstawie wartości liczby jodowej (tab. 2).

Obniżeniu wartości sorpcyjnych sorbentu w miarę krotności regeneracji towarzyszy zmniejszenie wartości liczby jodowej. Dla węgla

wyjściowego wynosiła ona 923,2, zaś po pięciu regeneracjach obniżyła się do 884,8.

Tabela 2. Wartości liczby jodowej

Table 2. Number of iodine adsorption number

Sorbent WD-extra	Wartość liczby jodowej
Świeży	923,3
Po I regeneracji	913,8
Po II regeneracji	907,5
Po III regeneracji	889,6
Po IV regeneracji	884,8
Po V regeneracji	884,8

W eksperymencie oznaczano stężenie kwasowych i zasadowych grup funkcyjnych na powierzchni węgla aktywnego metodą Boehma (tab. 3).

Reagent Fentona jako doskonały utleniacz, o bardzo wysokim potencjale utleniającym wynoszącym 2,8 V powoduje utlenienie powierzchni adsorbentu [6]. Na podstawie naszych wyników można stwierdzić, że regeneracja odczynnikiem Fentona powoduje zwiększenie zawartości grup o charakterze kwasowym i zmniejszenie zawartości grup o charakterze zasadowym. Ilość grup kwasowych wzrosła do 4,77 mmol/g z wyjściowych 1,74 mmol/g, natomiast zasadowych zmalała do 0,93 mmol/g z wyjściowych 2,56 mmol/g.

Działanie reagentem Fentona spowodowało pojawienie się grup karboksylowych (po IV regeneracji) i laktonowych (po V regeneracji). Po I regeneracji znacznie zwiększyła się zawartość grup karbonylowych (z 1,125 mmol/g na 3,75 mmol/g), aczkolwiek wraz z kolejnymi regeneracjami ich ilość ulegała obniżeniu. W przypadku grup fenolowym reagent Fentona spowodował zwiększenie ich zawartości z 0,625 mmol/g dla świeżego adsorbentu na 0,9375 mmol/g dla adsorbentu po V regeneracji. Reakcja Fentona spowodowała równocześnie obniżenie zawartości grup zasadowych z 2,5625 mmol/g dla świeżego węgla aktywnego na 0,9375 mmol/g dla sorbentu węglowego po V regeneracji.

W przypadku badanego przez nas barwnika – zieleni naftolowej B – wyniki przeprowadzonych badań wskazują na zmiany adsorpcji po regeneracji węgla, co jest związane ze wzrostem ilości grup kwasowych

na powierzchni adsorbentu i wpływa na obniżenie zdolności sorpcyjnych sorbentu węglowego wobec wybranego barwnika.

Tabela 3. Stężenie powierzchniowych grup funkcyjnych zawierających tlen dla węgla aktywnego WD-extra po pięciu regeneracjach

Table 3. Concentration of surface functional groups containing oxygen for activated carbon WD-extra after five regenerations

Rodzaj węgla	Nazwa grupy	Stężenie [mmol/g _{ads}]
WD-extra świeży	Karboksyłowa	Brak
	Laktonowa	Brak
	Fenolowa	0,62
	Karbonyłowa	1,12
	Suma grup kwasowych	1,74
	Suma grup zasadowych	2,56
WD-extra po I regeneracji	Karboksyłowa	Brak
	Laktonowa	Brak
	Fenolowa	0,56
	Karbonyłowa	3,75
	Suma grup kwasowych	4,31
	Suma grup zasadowych	2,5
WD-extra po II regeneracji	Karboksyłowa	Brak
	Laktonowa	Brak
	Fenolowa	0,78
	Karbonyłowa	3,63
	Suma grup kwasowych	4,41
	Suma grup zasadowych	2,12
WD-extra po III regeneracji	Karboksyłowa	0,15
	Laktonowa	Brak
	Fenolowa	0,68
	Karbonyłowa	3,65
	Suma grup kwasowych	4,48
	Suma grup zasadowych	1,68
WD-extra po IV regeneracji	Karboksyłowa	0,18
	Laktonowa	Brak
	Fenolowa	0,78
	Karbonyłowa	3,59
	Suma grup kwasowych	4,55
	Suma grup zasadowych	1,12
WD-extra po V regeneracji	Karboksyłowa	0,22
	Laktonowa	0,09
	Fenolowa	0,93
	Karbonyłowa	3,53
	Suma grup kwasowych	4,77
	Suma grup zasadowych	0,93

Podobny efekt był zaobserwowany przez Dąbek i in. [7] i Huang i in. [11] w odniesieniu do p-chlorofenolu.

Należy jednak podkreślić, że obniżenie zdolności sorpcyjnych jest znaczne, a zmiany po I i II regeneracji pozwalają na ponowne wykorzystanie sorbentu węglowego w tym samym procesie tj. adsorpcji barwnika.

Niestety w trakcie kolejnych regeneracji zmniejszyła się masa sorbentu (tab. 4).

Tabela 4. Ubytek masy sorbentu

Table 4. Weight loss of sorbent

Sorbent WD-extra	Masa węgla po adsorpcji zieleni naftolowej B	Ubytek masy [%]
Świeży	15,001	
Po I regeneracji	13,436	10,42
Po II regeneracji	12,996	13,36
Po III regeneracji	12,137	18,09
Po IV regeneracji	11,943	20,38
Po V regeneracji	11,563	22,91

Łączny ubytek masy handlowego węgla aktywnego wyniósł ok. 23%. Podobny rezultat otrzymał w swoich badaniach Toledo i in. [24] – 8–15%, Huang i in. [11] – 15%, Dąbek i in. [7] – 10%.

4. Podsumowanie

Reasumując opisane wyżej badania modelowe na wybranym barwniku – zieleni naftolowej B, można stwierdzić, że węgiel aktywny WD-extra wykazuje duże zdolności sorpcyjne w stosunku do wybranego barwnika. Zdolności sorpcyjne węgla aktywnego zostały w pewnym stopniu zachowane także po jego kolejnych regeneracjach reagentem Fentona, o czym świadczą z jednej strony uzyskane wartości adsorpcji właściwej a z drugiej wartości liczby jodowej. Ponadto regeneracja węgla aktywnego zużytego w procesie adsorpcji zieleni naftolowej B, reagentem Fentona, wpływa na tlenowe grupy funkcyjne obecne na powierzchni sorbentu węglowego. Na skutek reakcji Fentona zwiększeniu uległa zawartość grup kwasowych i zmniejszeniu ilość grup zasadowych, co skutkuje niewielkim obniżeniem zdolności sorpcyjnych węgla aktywnego po kolejnych regeneracjach. Niekorzystnym zjawiskiem towarzyszącym adsorpcji na regenerowanym sorbencie węglowym jest ubytek masy sorbentu.

Literatura

1. **Atkins P.W.:** *Chemia fizyczna*. Wydawnictwo Naukowe PWN. 2001.
2. **Bansal R.C., Goyal M.:** *Adsorpcja na węglu aktywnym*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2009.
3. **Baup S., Jaffre C., Wolbert D., Laplanche A.:** *Adsorption of Pesticides onto Granular Activated Carbon: Determination of Surface Diffusivities Using Simple Batch Experiments*. *Adsorption*. 6, 219–228 (2000).
4. **H.P. Boehm.:** *Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment*. *Carbon*. 40, 145–149 (2002).
5. **Chiang H.L., Huang C.P. Chiang P.C.:** *The surface characteristics of activated carbon as affected by ozone and alkaline treatment*. *Chemosphere* 47, 257–265. (2002).
6. **Dąbek L., Ozimina E.:** *Utlenianie zanieczyszczeń organicznych zaadsorbowanych na węglach aktywnych*. *Ochrona Środowiska i zasobów naturalnych*. Nr 41, 427–436 (2009).
7. **Dąbek L., Ozimina E., Picheta-Oleś A.:** *Wykorzystanie węgla aktywnego i nadtlenu wodoru w oczyszczaniu ścieków przemysłowych*. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. Nr 2 Tom 14, 181–189 (2011).
8. **Deryło-Marczewska A., Popiel S., Świątkowski A., Trykowski G., Biłniak S.:** *Badania wpływu ozonu i nadtlenu wodoru na właściwości sorpcyjne węgla aktywnego w stosunku do chlorofenolu*. *Ochrona Środowiska*. 4, 19–22 (2007).
9. **Gaur V. and Shankar P. A.:** *Surface modification of activated carbon for the removal of water impurities*. *Water Technology Online*. 2012.
10. **Gómez V., Larrechi M.S., Callao M.P.:** *Kinetic and adsorption study of acid dye removal using activated carbon*. *Chemosphere*. 69, 1151–1158 (2007).
11. **Huang H.H., Lu M.C., Chen J.N., Lee C.T.:** *Catalytic decomposition of hydrogen peroxide and 4-chlorophenol in the presence of modified activated carbons*. *Chemosphere*. 51, 935–943 (2003).
12. **Ignatowicz-Owsieniuk K.:** *Zastosowanie metod biologiczno-fizycznych do usuwania zanieczyszczeń pestycydowych z wody*. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, 4, 229–240 (2002).
13. **Jankowska H., Świątkowski A., Choma J.:** *Węgiel aktywny*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1985.
14. **H.Jankowska, S. Neffe.:** *Adsorpcyjne i jonowymiennie właściwości węgla aktywnych o utlenionej powierzchni*. *Ochrona Środowiska*. Wrocław. 521/2–3 (32–33), 43–48. (1987).
15. **Lillie RD.:** *Conn's Biological Stains*. Baltimore, MD, USA: Williams & Wilkins. 2010

16. **Panumati S., Chudecha K., Vankhaew P., Choolert V., Chuenchom L., Innajitara W., Sirichote O.:** *Adsorption of phenol from diluted aqueous solutions by activated carbons obtained from bagasse, oil palm shell and pericarp of rubber fruit.* Songklanakarin Journal of Science Technology. 30(2), 185–189 (2008).
17. **Repelewicz M., Choma J.:** *Fizykochemiczna charakterystyka chemicznie modyfikowanych węgla aktywnych.* Ochrona Środowiska. 28(3), 3–8 (2006).
18. **Repelewicz M., Jedynak K., Choma J.:** *Struktura porowata i chemia powierzchni węgla aktywnych modyfikowanych kwasami nieorganicznymi.* Ochrona Środowiska. Vol. 37, Nr 9, 45–50 (2009).
19. **Rodríguez A., García J., Ovejero G., Mestanza M.:** *Adsorption of anionic and cationic dyes on activated carbon from aqueous solutions: Equilibrium and kinetics* Journal of Hazardous Materials. 172. 1311–1320. (2009).
20. **Santiago M., Stüber F., Fortuny A., Fabregat A., Font J.:** *Modified activated carbons for catalytic wet air oxidation of phenol.* Carbon. 43, 2134–2145. (2005).
21. **Srivastava V.C., Mall I.D. Mishra I.M.:** *Adsorption of toxic metal ions onto activated carbon: Study of sorption behaviour through characterization and kinetics.* Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 47(8), 1269–1280 (2008).
22. **Syafalni S.:** *Treatment of Dye Wastewater Using Granular Activated Carbon and Zeolite Filter.* Modern Applied Science. 6(2), 37–52 (2012).
23. **Tancredi N., Medero N., Möller F., Píriz J., Plada C., Cordero T.:** *Phenol adsorption onto powdered and granular activated carbon, prepared from Eucalyptus wood.* Journal of Colloid and Interface Science. 279, 357–363 (2004).
24. **Toledo L.C., Silva A.C.B., Augusti R., Lago R.M.:** *Application of Fenton's reagent to regenerate activated carbon saturated with organochloro compounds.* Chemosphere. 50, 1049–1054 (2003).
25. **Valdés H., Sánchez-Polo M., Rivera-Utrilla J., Zaror C. A.:** *Effect of Ozone Treatment on Surface Properties of Activated Carbon.* Langmuir. 18, 2111–2116 (2002).
26. **Wawrzekiewicz M.:** *Zastosowanie sorbentów różnego typu w procesie usuwania barwników z roztworów wodnych i ścieków przemysłowych.* Przemysł Chemiczny, 91/1, 45–52 (2012).

Changes in the Chemistry of WD-extra Activated Carbon Surface after Fenton's Reagent Regeneration Used for Adsorption of Naftol Green B

Abstract

This paper describes the process of adsorption of selected acid dye such as naphthol green B on virgin and regenerated commercial activated carbon WD-extra (Gryfskand). Fenton's reagent regeneration was carried out five times. In the case of virgin activated carbon adsorption value was 130 mg/g, and for the regenerated it has ranged from 38 mg/g to 71 mg/g. At the same time the weight loss was controlled, which after five regenerations equal almost 23%. Sorption capacity of activated carbon was controlled with an iodine adsorption number in accordance to the PN-83 C-97555.04. It was noted that with the times of regeneration iodine number decreased slightly. In experiment the concentration of acidic and basic functional groups on the surface of the activated carbon was measured by Boehm method. According to the results it can be concluded that regeneration by Fenton's reagent increases the content of acid groups and reduce the basic groups. Amount of acid groups increased to 4.625 mmol/g, and the basic groups has decreased to 0.9375 mmol/g.