



Zastosowanie kompostu jako taniego sorbentu do usuwania barwników z roztworów wodnych

*Tomasz Józwiak, Urszula Filipkowska, Joanna Rodziewicz,
Artur Mielcarek, Dorota Owczarkowska
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn*

1. Wstęp

Rocznie, na potrzeby przemysłu tekstylnego, papierniczego i garbarskiego produkuje się około 700000 ton barwników. W zależności od zastosowanej technologii, do ścieków przemysłowych trafia od 2% do 50 barwników użytych w procesie produkcji [13]. Ze względu na obecność pierścieni aromatycznych, związki te wykazują bardzo niską podatność na biodegradację [6]. Skuteczność konwencjonalnych systemów oczyszczania ścieków opartych na osadzie czynnym wynosi względem barwników nie więcej niż 20% [3, 24]. Barwniki, które nie zostały usunięte podczas procesów oczyszczania ścieków trafiają do środowiska. Nawet niewielkie stężenia barwników w wodach rzędu 1 mg/dm^3 są bardzo widoczne, co ma negatywny wpływ na estetykę naturalnych zbiorników wodnych. Największym problemem dla środowiska wodnego jest jednak fakt, iż związki te hamują dyfuzję tlenu w środowisku wodnym oraz blokują dostęp światła do autotrofów [15]. Barwniki a także produkty ich rozkładu takie jak aminy aromatyczne mogą wykazywać ponadto właściwości nowotworowe [4, 33]. Problem usuwania barwników ze ścieków przemysłowych okazuje się być sprawą priorytetową.

Odbarwienie ścieków przemysłowych można osiągnąć stosując metody fizyko-chemiczne takie jak: koagulację/flokulację, ozonowanie, naświetlanie, ultrafiltrację czy sorpcję. Wśród nich sorpcja uważana jest za jedną z najbardziej efektywnych metod dekoloryzacji. Najczęściej

wykorzystywanym sorbentem jest węgiel aktywny. Stosowanie węgla aktywnego jest niestety bardzo kosztowne, dlatego obecnie poszukuje się jego tańszej alternatywy.

Z piśmiennictwa wynika, że jako tanie i łatwo dostępne sorbenty wykorzystywane były odpady przemysłowe takie jak skrawki opon, żużel, popioły czy ligniny [7] a także odpady rolnicze: łuski nasion zbożowych [31], obierki z warzyw, skórki po bananach [25] i owocach cytrusowych [20], wełna, trociny oraz torf [10]. Jako sorbent, może być także wykorzystywany produkt kompostowania, który nie spełnia kryteriów jakościowych dla kompostu [23].

W pracy zbadana została skuteczność sorpcji wybranych barwników anionowych (Reactive Black 5, Reactive Yellow 84) i kationowych (Basic Green 4, Basic Violet 10) na kompoście. Głównym celem badań było wyznaczenie optymalnych warunków procesu sorpcji barwników na danym biosorbencie (odczyn, czas równowagi reakcji) a także wyznaczenie maksymalnej pojemności sorpcyjnej kompostu wobec badanych sorbatów.

2. Materiały i metody

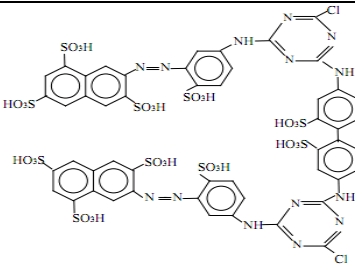
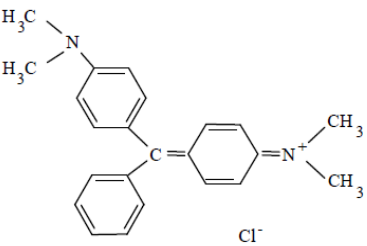
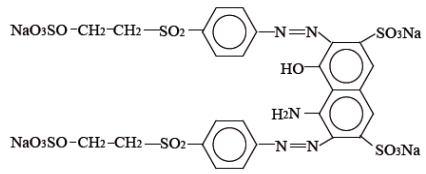
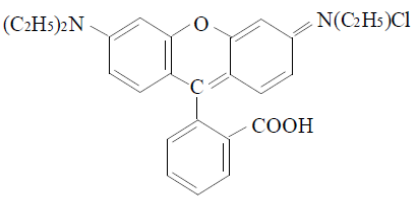
2.1. Materiały

Kompost wykorzystany w badaniach powstał w wyniku kompostowania osadu ściekowego z odpadkami roślinnymi w następujących proporcjach :

- osad ściekowy nadmierny z Oczyszczalni Ścieków w Olsztynku – 60%
- zrębki drewna z brzozy – 15%
- słoma rzepaczana – 22%
- zaszczerpienie (dojrzały kompost) – 3%

Anionowe barwniki reaktywne: ReactiveYellow 84 [RY84], Reactive Black 5 [RB5] oraz barwniki kationowe: Basic Green 4 [BG4], Basic Violet 10 [BV10], pochodziły z Zakładu Przemysłu Barwników „Boruta” w Zgierzu.

Tabela 1. Zastosowane w badaniach barwniki**Table 1.** Dyes used in the study

Barwniki anionowe (reaktywne)		Barwniki kationowe	
Reactive Yellow 84 – [RY 84]		Basic Green 4 – [BG 4]	
			
Masa molowa	1701 g/mol	Masa molowa	365 g/mol
λ_{\max}	357,5 [nm]	λ_{\max}	618 [nm]
Reactive Black 5 – [RB 5]		Basic Violet 10 – [BV 10]	
			
Masa molowa	991 g/mol	Masa molowa	479 g/mol
λ_{\max}	600 [nm]	λ_{\max}	547,5 [nm]

2.2. Metody

2.2.1. Przygotowanie biosorbentu

Kompost przed użyciem został wysuszony w temp. 60°C a następnie przesiany przez sito laboratoryjne o średnicy „oczka” 0,25 mm.

Podczas każdego doświadczenia, stężenie sorbentu w roztworze wynosiło 5 g s.m./dm³.

2.2.2. Przygotowanie roztworów podstawowych

Roztwór podstawowy barwnika został przygotowany poprzez odważenie na wadze analitycznej 1 grama czystego, sproszkowanego barwnika, który był następnie przenoszony ilościowo do kolby jednodmia-

rowej o pojemności 1 dm³. Po uzupełnieniu kolby wodą destylowaną, roztwór miał stężenie 1000 mg/dm³. Z roztworów podstawowych zostały sporządzone następnie roztwory robocze. Do korekty odczynu roztworów użyte zostały wodne roztwory HCl oraz NaOH.

2.2.3. Wyznaczenie optymalnego odczynu sorpcji

Doświadczenie zostało zaprojektowane w taki sposób aby sorpcja każdego z czterech badanych barwników odbyła się w trzech wariantach odczynu – 3 pH, 5 pH i 9 pH.

Do 12 erlenmajerek o pojemności 250 cm³ odważony został sorbent w ilości 1 g s.m. Następnie do kolb dodane zostały roztwory barwników o pożądanych odczynach w ilości 200 cm³ i stężeniu 100 mg/dm³. Erlenmajerki umieszczone zostały na wytrząsarce nastawionej na prędkość obrotów – 200 r.p.m. Po 2 h sorpcji pobierano z każdej kolby po 10 cm³ roztworu, odwirowywano w wirówce MPW-350 przez 5 min przy obrotach 15 tys/min. Ekstynkcja badanych roztworów zmierzona została za pomocą spektrofotometru UV-VIS SP 2000 przy optymalnej długości fali dla RB5 – 600 nm, RY84 – 357,5 nm, BG4 – 618 nm i 547,5 nm dla BV10. Podczas pomiaru zastosowane zostały kuwety szklane o szerokości 1 cm. Optymalny odczyn procesu sorpcji został wskazany przez wariant, przy którym końcowe stężenie barwnika było najmniejsze. Eksperyment wykonano w trzech powtórzeniach.

2.2.4. Wyznaczenie czasu równowagi sorpcji

Do czterech zlewek o pojemności 2000 cm³ odważony został sorbent w ilości 5 g s.m./dm³. Do każdego naczynia dodany został roztwór innego barwnika w ilości 2000 cm³ o stężeniu 200 mg/dm³. Zlewki zostały umieszczone na mieszadłach magnetycznych ustawionych na prędkość 200 r.p.m. Z roztworów pobrane zostały próbki po czasie 0; 5; 10; 15; 30; 45; 60; 120; 180; 240; 300; 360 min. Próbki o objętości 10 cm³ zostały odwirowane, po czym zmierzona została ekstynkcja roztworów. Czas po którym stężenie barwników w roztworach nie ulegało zmianie został uznany za czas równowagi adsorpcji.

Pomiar stężenia barwnika w roztworze odbywał się metodą spektrofotometryczną na spektrofotometrze UV-VIS SP 2000.

2.2.5. Wyznaczenie pojemności sorpcyjnej kompost

Wyznaczenie maksymalnej pojemności sorpcyjnej kompostu względem wybranych barwników zostało przeprowadzone po ustaleniu optymalnego odczynu sorpcji, wyznaczonego dla każdego barwnika.

Do szeregu erlenmajerek o pojemności 250 cm³ odważony został kompost w ilości 1 g s.m. Następnie do kolbek dodane zostały roztwory barwnika (200 cm³) z wyregulowanym pH o następujących stężeniach: 1; 10; 25; 50; 100; 250; 500 mg/dm³ – dla anionowych barwników reaktywnych (RB5 i RY84) i 1; 10; 25; 100; 200; 300; 600 mg/dm³ dla barwników kationowych (BG4 i BV10). Kolbki zostały umieszczone na wytrząsarce z ustawioną prędkością 200 r.p.m. Po wyznaczonym czasie (czas równowagi sorpcji), z każdej kolby pobrane zostały próbki roztworu (10 cm³), w których po odwirowaniu zmierzono spektrofotometrycznie stężenie pozostałego barwnika. Wszystkie obliczenia dotyczące maksymalnej pojemności sorpcyjnej sorbentów chitozanowych zostały przeprowadzone w programie Statistica v 10.

Wszystkie doświadczenia zostały przeprowadzone w temperaturze pokojowej T = 22°C.

2.2.6. Metody obliczeniowe

Ilość zasorbowanego barwnika liczona była z zależności (1):

$$Q_s = \frac{C_o - C_s}{m} \quad (1)$$

gdzie:

- Q_s – masa zasorbowanego barwnika [mg/g.s.m.],
- C_o – początkowe stężenie barwnika [mg/dm³],
- C_s – stężenie barwnika po sorpcji [mg/dm³],
- m – masa sorbentu [g.s.m.].

Do opisu danych użyte zostały dwa różne modele adsorpcji.

Heterogeniczny model Langmuira² (podwójne równanie Langmuira) (2):

$$Q = \frac{b_1 \cdot K_1 \cdot C}{1 + K_1 \cdot C} + \frac{b_2 \cdot K_2 \cdot C}{1 + K_2 \cdot C} \quad (2)$$

gdzie:

- Q – sorpcja rzeczywista sorbatu na sorbencie [mg/g.s.m.],
- b₁ – maksymalna pojemność sorpcyjna sorbentu (miejsca aktywne I typu) [mg/g.s.m.],

b₂ – maksymalna pojemność sorpcyjna sorbentu (miejsca aktywne II typu) [mg/g.s.m.],

K₁; K₂ – stałe w równaniu Langmuira [dm³/mg],

C – stężenie barwnika pozostałego w roztworze [mg/dm³].

Heterogeniczny model Freundlicha (3):

$$Q = K \cdot C^n \quad (3)$$

gdzie:

Q – sorpcja rzeczywista sorbatu na sorbencie [mg/g.s.m.],

K – stała równowagi sorpcji w modelu Freundlicha,

C – stężenie barwnika pozostałego w roztworze [mg/dm³],

n – parametr heterogeniczności.

3. Wyniki i dyskusja

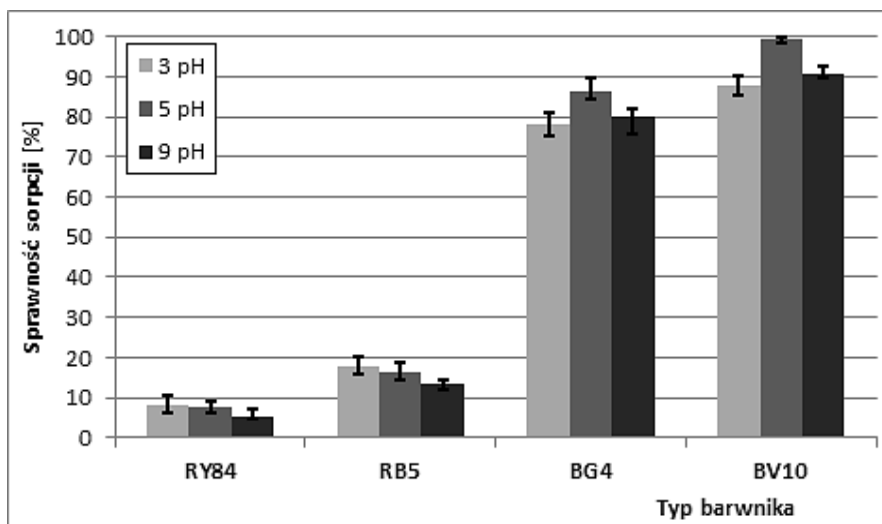
3.1. Wpływ odczynu na efektywność sorpcji

Sorpcja barwników anionowych na kompoście zachodziła najefektywniej w środowisku kwaśnym. Średnia skuteczność usuwania RY 84 i RB 5 przy 3 pH była większa od uzyskanej przy 9 pH – odpowiednio o 48,6% i 34,8% (rys. 1).

W niskim odczynie, karboksylowe i hydroksylowe grupy materii organicznej zawartej w kompoście – głównie kwasów humusowych, ulegają protonowaniu [28]. Dodatkowo naładowane grupy aktywne sorbentu przyciągają anionowe grupy barwników reaktywnych, przez co wspomagany jest proces ich sorpcji. Odwrotny efekt obserwuje się w przypadku wyższego odczynu. Zmniejszenie skuteczności sorpcji barwników reaktywnych wraz ze wzrostem odczynu zostało zaobserwowane także m.in. w badaniach nad sorpcją na otrębach pszennych [5], chitynie, [19], chitozanie [13], węglu aktywnym [2] i skrobi modyfikowanej [32].

Efektywność usuwania barwników kationowych na kompoście była najwyższa przy odczynie 5 pH. W porównaniu do 3 pH, skuteczność sorbowania BG4 i BV10 przy 5 pH była wyższa o 10,7% i 13,5% (rys. 1). Sorpcja barwników kationowych w środowisku kwaśnym jest utrudniona ze względu na konkurencję z jonami H⁺ [12] a także elektrostatyczne odpychanie od uprotonowanych grup kompostu. Negatywny wpływ niskiego pH na skuteczność sorpcji barwników zasadowych zaobserwowany został także w badaniach nad sorpcją na słomie ryżowej [15],

chitozanie [22] i popiołach lotnych [16]. Ograniczenie sorpcji barwników kationowych przy wysokim pH wynikać może z częściowego rozpuszczenia się materii organicznej a zwłaszcza kwasów humusowych przy odczynie >6 pH [34]. Prawdopodobnie w wysokim pH, rozpuszczone kwasy humusowe tworzą z barwnikami kationowymi nietrwałe kompleksy, które dają barwny efekt w roztworze.

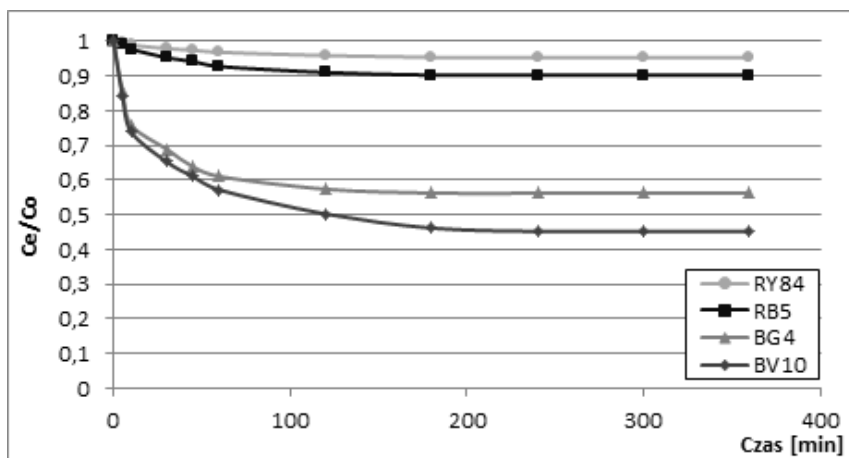


Rys. 1. Wpływ odczynu na skuteczność sorpcji barwników na kompoście
Fig. 1. Effect of pH on the effectiveness of the dyes sorption on the compost

3.2. Wyznaczenie czasu równowagi sorpcji

Czas osiągnięcia równowagi procesu sorpcji na kompoście w przypadku większości barwników (RY84, RB5, BG4) wyniósł 180 min (rys. 2). Sorpcja barwnika BV10 trwała dłużej – 240 min, co w konsekwencji mogło wpłynąć na wyższą skuteczność sorpcji. Porównywalne czasy równowagi sorpcji dla sorbentu kompostowego (3–5 h) został uzyskany w badaniach nad usuwaniem Reactive Red 2 i Basic Blue 9 z roztworów wodnych [30].

Względnie krótki czas równowagi sorpcji uzyskany na kompoście był spowodowany jego drobnym uziarnieniem ($<0,25$ mm), oznaczającym duży stosunek powierzchni do objętości.



Rys. 2. Stosunek stężenia końcowego barwników do stężenia początkowego w zależności od czasu sorpcji

Fig. 2. The ratio of final to initial concentration dyes, depending on the time of sorption

3.3. Wyznaczenie pojemności sorpcyjnej kompostu

Do opisu danych wykorzystano model Langmuira 2 oraz model Freundlicha. Heterogeniczny model Langmuira 2 wykazał najlepsze dopasowanie do uzyskanych danych eksperymentalnych (tabela 2).

Maksymalna pojemność sorpcyjna kompostu względem RY84 i RB5 wyniosła 2,15 i 4,79 mg/g s.m. (rys. 3-A;B), (tabela 2).

Podobną do kompostu zdolność sorpcyjną względem RB5 wykazały w badaniach popioły z elektrociepłowni (4,30 mg/g) a także popioły po spalaniu osadów ściekowych (6,00 mg/g) [11]. Sorpcja danego barwnika jest o wiele mniej skuteczna w przypadku wykorzystania nieprzetworzonych odpadków roślinnych jako sorbentu. Przykładowo pojemność sorpcyjna łupin nasion słonecznika dla RB5 wyniosła 0,87 mg/g, natomiast w przypadku skórki po mandarynkach 0,75 mg/g [27].

Z literatury wynika, że RY84 wykazuje o wiele wyższą skuteczność sorpcji na wełnie – 19,0 mg/g [29] oraz na popiołach lotnych – 28,0 mg/g [17].

Pojemność sorpcyjna kompostu względem BG4 i BV10 wyniosła 26,41 i 27,19 mg/g s.m. (rys. 3-C;D).

Tabela 2. Stałe wyznaczone z modelu Langmiura 2 i Freundlicha
Table 2. Constants determined of Langmuir 2 and Freundlich model

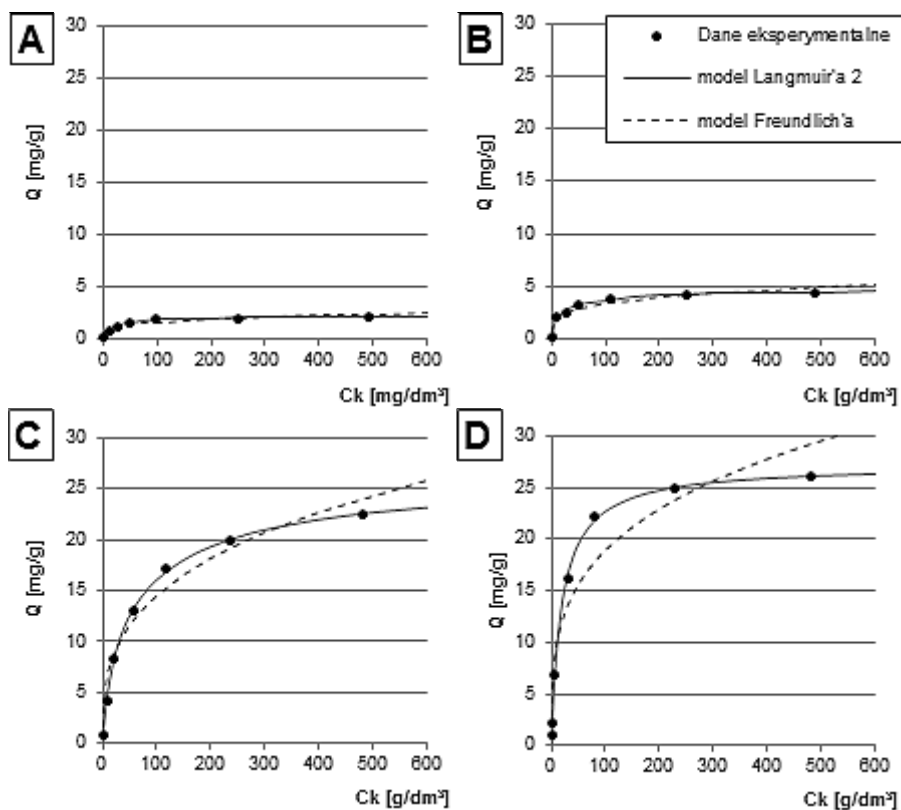
Model	Stałe w modelu sorpcji		Barwniki anionowe		Barwniki kationowe	
			RY84	RB5	BG4	BV10
Langmuir 2	b1+b2 [Q _{max}]	[mg/g.s.m.]	2,151	4,786	26,410	27,195
		[μmol/g.s.m.]	1,265	4,829	72,356	56,774
	b1	[mg/g.s.m.]	0,148	2,523	13,381	12,690
		[μmol/g.s.m.]	0,087	2,546	36,660	26,493
	K ₁		0,386	0,177	0,049	0,037
	b2	[mg/g.s.m.]	2,003	2,263	13,029	14,504
		[μmol/g.s.m.]	1,175	2,284	35,696	30,280
	K ₂		0,053	0,014	0,006	0,070
R²		0,998	0,994	0,997	0,995	
Freundlich	K		0,541	1,133	3,279	5,295
	n		0,235	0,236	0,323	0,276
	R²		0,875	0,904	0,968	0,910

Porównywalną skuteczność sorpcji BG4 można uzyskać na trocinach z tartaku (26,90 mg/g) [14]. Znacznie lepszy rezultat został osiągnięty podczas sorpcji danego barwnika na modyfikowanym torfie (350 mg/g) [9]. O wiele gorszą pojemność sorpcyjną względem BG4 wykazała w badaniach rozdrobniona trzcina cukrowa (4,88 mg/g) [18].

Zbliżona do kompostu efektywność sorpcji BV10 została uzyskana na skórkach po bananach (20,60 mg/g) oraz skórkach po pomarańczach (14,30 mg/g) [5]. Słabszy efekt został osiągnięty podczas sorpcji BV10 na włóknie kokosowym (2,56 mg/g) [26].

Zdolność sorpcyjna kompostu zależała przede wszystkim od charakteru sorbowanego barwnika. Pojemność sorpcyjna kompostu względem barwników kationowych była wielokrotnie wyższa niż anionowych barwników reaktywnych.

Kompost w roztworach wodnych ze względu na obecność karboksylowych grup funkcyjnych charakteryzuje się ujemnie naładowaną powierzchnią. Z tego powodu sorbent ten preferuje podczas sorpcji związki posiadające ładunek dodatni (barwniki kationowe). Elektrostatyczne odpychanie utrudnia adsorpcję barwników anionowych [1]. Barwniki anionowe, zawierające kwasowe grupy funkcyjne wykazują z kolei większe powinowactwo do sorbentów zawierających grupy zasadowe, np. do chitozanu [21].



Rys. 3. Izotermy sorpcji barwników na kompoście po czasie 240 min:

A – sorpcja RY84; B – sorpcja RB5; C – sorpcja BG4; D – sorpcja BV10

Fig. 3. Sorption isotherms of dyes on the compost after time 240 min:

A – RY84 sorption, B – RB5 sorption, C – BG4 sorption, D – BV10 sorption

4. Podsumowanie

Kompost może być wykorzystany jako tani sorbent do usuwania barwników ze ścieków poprodukcyjnych.

Efektywność usuwania barwników na kompoście w znacznym stopniu zależała od odczynu w jakim przeprowadzany był proces. W niskim odczynie (3 pH) część grup funkcyjnych kompostu ulegała protonowaniu co pozytywnie wpływało na sorpcję barwników anionowych (RB5; RY84), natomiast ograniczało wiązanie barwników kationowych (BG4; BV10). Wysoki odczyn (9 pH), ze względu na częściowe rozpuszczanie się sorbentu, wpływał negatywnie na sorpcję każdego typu barwnika. Op-

tymalny odczyn sorpcji dla anionowych barwników reaktywnych został ustalony na 3 pH, natomiast dla barwników kationowych – 5 pH.

Kompost wykazywał szczególną skuteczność przy usuwaniu barwników kationowych. Pojemność sorpcyjna kompostu względem BG4 i BV10 wyniosła 26,41 mg/g.s.m. i 27,20 mg/g.s.m. natomiast względem RY84 i RB5 – 2,15 mg/g.s.m. i 4,79 mg/g.s.m. Znacznie gorsza skuteczność sorbowania barwników anionowych powodowana była przez elektrostatyczne odpychanie danych związków od ujemnie naładowanej powierzchni biosorbentu.

Literatura

1. **Akkaya G., Ozer A.:** *Biosorption of Acid Red 274 (AR 274) on *Dicranellavaria*: Determination of equilibrium and kinetic model parameters.* Process Biochemistry 40: 3559–3568 (2005).
2. **Al-Degs Y.S., El-Barghouthi M.I., El-Sheikh A.H., Walker G.M.:** *Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon.* Dyes and Pigments. 77: 16–23 (2008).
3. **Anielak A.M.:** *Biodegradacja i wpływ wybranych barwników na pracę osadu czynnego.* Monografie 49. WSIInż. w Koszalinie 1993.
4. **Anielak A.M.:** *Odbarwianie ścieków pofarbiarskich w procesie współstrącania i sorpcji.* Monografie 50. WSIInż. w Koszalinie 1995.
5. **Annadurai G., Juang R.S., Lee D.J.:** *Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions.* Journal of Hazardous Materials. 92: 263–274 (2002).
6. **Bezak-Mazur E., Adamczyk D.:** *Adsorpcja barwników na świeżym i zregenerowanym węglu WExtra.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection), 13. 951–972 (2011).
7. **Bhatnagar A., Jain A.K.:** *A comparative adsorption study with different industrial wastes as adsorbents for the removal of cationic dyes from water.* Journal of Colloid and Interface Science. 281: 49–55 (2005).
8. **Cicek F., Ozer D., Ozer A., Ozer A.:** *Low cost removal of reactive dyes using wheat bran.* Journal of Hazardous Materials. 146: 408–416 (2007).
9. **Crini G.:** *Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review.* Bioresource Technology. 97: 1061–1085 (2006).
10. **Davila-Jimenez M.M., Elizalde-Gonzalez M.P., Pelaez-Cid A.A.:** *Adsorption interaction between natural adsorbents and textile dyes in aqueous solution.* Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 254: 107–114 (2005).

11. **Filipkowska U., Janczukowicz W., Rodziewicz J., Szmit R.:** *Adsorpcja barwników z roztworów wodnych na popiołach.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection), 13. 1173–1184 (2011).
12. **Filipkowska U., Rodziewicz J., Moczowska I.:** *Usuwanie barwnika Basic Violet 10 z roztworów wodnych na zeolicie.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection), 12. 747–760 (2010).
13. **Filipkowska U.:** *Adsorption and desorption of Reactive Dyes onto Chitin and Chitosan Flakes and Beads.* Adsorption Science and Technology. 24: 781–795 (2006).
14. **Garg V.K., Gupta R., Yadav A.B., Kumar R.:** *Dye removal from aqueous solution by adsorption on treated sawdust.* Bioresource Technology. 89: 121–124 (2003).
15. **Gong R., Jin Y., Chen J., Y. Hu, Sun J.:** *Removal of basic dyes from aqueous solution by sorption on phosphoric acid modified rice straw.* Dyes and Pigments. 73: 332–337 (2007).
16. **Janos P., Buchtova H., Ryznaro M.:** *Sorption of dyes from aqueous solutions onto fly ash.* Water Research. 37: 4938–4944 (2003).
17. **Kara S., Aydiner C., Demirbas E., Kobya M., Dizge N.X.:** *Modeling the effects of adsorbent dose and particle size on the adsorption of reactive textile dyes by fly ash.* Desalination. 212: 282–293 (2007).
18. **Khatti S.D., Singh M.K.:** *Colour removal from dye wastewater using sugar cane dust as an adsorbent.* Adsorption Science and Technology. 17: 269–282 (1999).
19. **Klimiuk E., Filipkowska U., Wojtasz-Pająk A.:** *The Effect of pH and Chitin Preparation on Adsorption of Reactive Dyes.* Polish Journal of Environmental Studies. 12: 575–588 (2003).
20. **Kumar K.V.:** *Optimum sorption isotherm by linear and non-linear methods for malachite green onto lemon peel.* Dyes Pigments 74: 595–597 (2007).
21. **Kumar M.N.V.R.:** *A review of chitin and chitosan applications.* Reactive and Functional Polymers 46: 1–27. (2000).
22. **Kyzas G.Z., Lazaridis N.K.:** *Reactive and basic dyes removal by sorption onto chitosan derivatives.* Journal of Colloid and Interface Science. 331: 32–39 (2009).
23. **Kyziol-Komosińska J., Rosik-Dulewska C., Dzieniszewska A., Pająk M.:** *Compost as biosorbent for removal of acid dyes from the wastewater generated by the textile industry.* Archives of Environmental Protection. 37: 3–14 (2011).
24. **Majewska-Nowak K.:** *Usuwanie barwników ze ścieków przemysłowych.* Ochrona Środowiska 488 (30): 17–22 (1986).
25. **Namasivayam C., Kanchana N., Yamuna R.T.:** *Waste banana pith as adsorbent for the removal of Rhodamine B from aqueous solution.* Waste Management. 13: 89–95 (1993).

26. **Namasivayam C., Kumar M.D., Selvi K., Ashruffunissa R.B., Vanathi T., Yamuna R.T.:** *Waste coir pith – a potential biomass for the treatment of dyeing wastewaters.* Biomass Bioenergy. 21: 477–483 (2001).
27. **Osma J.F., Saravia V., Toca-Herrera J.L., Couto S.R.:** *Sunflower seed shells: A novel and effective low-cost adsorbent for the removal of the diazo dye Reactive Black 5 from aqueous solutions.* Journal of Hazardous Materials. 147: 900–905 (2007).
28. **Prado A.G.S., Pertusatti J., Nunes A.R.:** *Aspects of Protonation and Deprotonation of Humic Acid Surface on Molecular Conformation.* Journal of the Brazilian Chemical Society. 22: 1478–1483 (2011).
29. **Sahin E.:** *Interpretation of Sorption Kinetics for Mixtures of Reactive Dyes on Wool.* Turkish Journal of Chemistry. 29: 617–626 (2005).
30. **Tsui L.S., Roy W.R., Cole M.A.:** *Removal of dissolved textile dyes from wastewater by a compost sorbent.* Coloration Technology. 119: 14–18 (2003).
31. **Vadivelan V., Kumar K.V.:** *Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk.* J. Colloid Interface Sci. 286: 90–100 (2005).
32. **Wang Z., Xiang B., Cheng R., Li Y.:** *Behaviors and mechanism of acid dyes sorption onto diethylenetriamine-modified native and enzymatic hydrolysis starch.* Journal of Hazardous Materials. 183: 224–232 (2010).
33. **Wong Y.C., Szeto Y.S., Cheung W.H., McKay G.:** *Adsorption of acid dyes on chitosan – Equilibrium isotherm analyses.* Proces Biochemistry. 39: 693–702 (2004).
34. **Zhou L.X., Wong J.W.:** *Effect of dissolved organic matter from sludge and sludge compost on soil copper sorption.* Journal of Environmental Quality. 30: 878–883 (2001).

Application of Compost as a Cheap Sorbent for Dyes Removal from Aqueous Solutions

Abstract

This study was aimed at determining the feasibility of using compost as an unconventional sorbent for dyes removal from aqueous solutions. Compost applied in the study was a product of sewage sludge composting with plant residues (birch wood chips and rapeseed straw). Experiments were conducted for two anionic reactive dyes: Reactive Yellow 84 [RY84] (1701 g/mol – λ_{\max} = 357.5 nm) and Reactive Black 5 [RB5] (991 g/mol – λ_{\max} = 600.0 nm), and for two cationic dyes: Basic Green 4 [BG4] (365 g/mol – λ_{\max} = 618.0 nm) and Basic Violet 10 [BV10] (479 g/mol – λ_{\max} = 547.5 nm).

The scope of the study included: determination of the optimal pH value of dyes adsorption onto compost, determination of equilibrium time of dyes sorption onto compost, determination of the maximum sorption capacity of the analyzed dyes on compost.

During each experiment, sorbent concentration in the solution was at 5 g d.m./dm³. The concentration of dye remaining in the solution was determined with the spectrophotometric method on a UV-VIS SP 2000 spectrophotometer. Analyses were conducted at a room temperature – T = 22°C. The pH value of solutions was adjusted with aqueous solutions of HCl and NaOH. Sorption of the anionic reactive dyes RY84 and RB5 was the most effective at pH = 3. The optimal pH value of cationic dyes sorption was established at pH = 5. At a high pH value (pH = 9), the sorption of each type of dye was impaired due to partial solubilization of the compost sorbent. The equilibrium time of dyes sorption on compost accounted for 180 min in the case of RY84, RB5 and BG4, and for 240 min in the case of BV10 – 240 min. Analyses of the maximum sorption capacity of the selected dyes on compost were carried out already after establishing the optimal pH value of the sorption process for each dye. Results obtained were described with the use of two sorption models: a heterogenous Langmuir 2 model (double Langmuir equation), and a heterogenous Freundlich model. The Langmuir 2 model showed the best fit to experimental data ($R^2 > 0.99$). Due to the presence of functional groups -COOH and -OH, compost is negatively charged in aqueous solutions owing to which it prefers compounds with a positive charge (cationic dyes) during sorption. Electrostatic repulsion significantly impairs the adsorption of anionic dyes. The maximum sorption capacity of compost in the case of RY84 and RB5 reached 2.15 mg/g d.m. and 4.79 mg/g d.m., whereas in the case of BG4 and BV10 – 26.41 mg/g d.m. and 27.20 mg/g d.m., respectively. Results of the maximum sorption capacity of dyes on compost were referred to results obtained with other unconventional and cheap sorbents.