

Ireneusz GRUBECKI, Ilona TRAWCZYŃSKA

e-mail: ireneusz.grubecki@utp.edu.pl

Katedra Inżynierii Chemicznej i Bioprosesowej, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Wpływ zawartości wilgoci na powierzchnię właściwą złoża biofiltracyjnego złożonego z nieregularnych cząstek drewna

Wstęp

Biofiltry znajdują coraz szersze zastosowanie przy usuwaniu zanieczyszczeń z gazów emitowanych w różnych gałęziach przemysłu [Oh i in., 2009]. Między innymi są wykorzystywane do usuwania odorów, które wydzielają się podczas intensywnej produkcji zwierzęcej w wielkich farmach. Taki sposób usuwania zanieczyszczeń gazowych jest szeroko rozpowszechniony ze względu na niski koszt, nieskomplikowane sterowanie procesem, niskie zapotrzebowanie energetyczne oraz wysoką efektywność oczyszczania gazów [Sun i in., 2002].

Dobór odpowiedniego wypełnienia stanowiącego biofiltr jest podstawowym i najistotniejszym zagadnieniem decydującym o efektywności jego pracy [Williams i Miller, 1992].

Chen i Hoff [2012] wykazali, że zastosowanie w biofiltrach zrębków drewnianych wiąże się ze znaczną redukcją złych zapachów oraz lotnych substancji organicznych.

Z doniesień literaturowych wynika, że zawartość wilgoci w złożu jest parametrem decydującym o stopniu redukcji zanieczyszczeń. Jednak dość niejasny jest wpływ zawartości wilgoci w złożu na jego zachowanie podczas przepływu gazów.

Przeprowadzono zatem eksperymentalne badania modelowe mające na celu określenie wpływu zawartości wilgoci w złożu biofiltracyjnym złożonym z nieregularnych cząstek drewna na opory powietrza przez nie przepływającego i w konsekwencji na wielkość jego powierzchni właściwej. Przeanalizowano przy tym siedem poziomów wilgotności w zakresie od 8,1 do 64,5% mas.

Badania doświadczalne

Materiały i metody

Pozyskane wypełnienie biofiltracyjne złożone ze zrębków drewnianych miało wilgotność $M = 8,1\%$ mas. Próbkę złoża o określonej masie umieszczono w naczyniu hermetycznie zamkniętym i zraszono ilością wody niezbędnej do uzyskania wilgotności $M = 18,2\%$. Po dodaniu wody próbkę mieszano w sposób ciągły przez 24 h. Po tym czasie dokonano oznaczenia wilgotności zgodnie z polską normą [PN-EN13183-1:2004]. Opisane czynności powtarzano uzyskując złoża biofiltracyjne o wilgotnościach 28,3; 38,4; 48,2; 59,4; 64,5%. Po osiągnięciu założonej wilgotności próbkę złoża biofiltracyjnego o odpowiedniej masie umieszczano w kolumnie i dokonywano pomiarów gęstości usypowej i spadku ciśnienia.

Gęstość złoża ρ_s określono metodą piknometryczną w temperaturze 22°C , co odpowiada warunkom prowadzenia pomiarów. W tym celu próbkę o znanej masie i odpowiedniej wilgotności umieszczono w piknometrze, który uprzednio zważono. Następnie do piknomietru ze złożem dodano *n*-heptan w ilości odpowiadającej 75% objętości piknomietru. W celu usunięcia pęcherzyków powietrza zawartość wymieszano. Po tym zabiegu piknometr wypełniono brakującą ilością *n*-heptanu i całość zważono. Identyczne czynności wykonano w odniesieniu do pustego piknomietru, w całości wypełnionego *n*-heptanem. Użycie *n*-heptanu jest uzasadnione ze względu na brak mieszalności w układzie *n*-heptan – woda.

Porowatość złoża ε wyznaczono poprzez pomiar gęstości usypowej ρ_v . Tę ostatnią określono dokonując pomiaru masy próbki złoża niezbędnej do wypełnienia kolumny eksperymentalnej do wysokości $H_S = 0,25$ m. Porowatość złoża obliczono według następującego wzoru:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_v}{\rho_s} \quad (1)$$

Pomiar spadku ciśnienia na złożu o różnej wilgotności

Pomiar spadku ciśnienia na badanym złożu filtracyjnym mierzono w aparaturze, której zasadniczym elementem była szklana kolumna o średnicy $D_K = 0,1$ m i wysokości $H_K = 1,5$ m, w której umieszczono przygotowaną uprzednio masę biofiltracyjną o ustalonej wilgotności przyjmującej wartości 8,1; 18,2; 28,3; 38,4; 48,2; 59,4; 64,5% (mas.). W każdym eksperymencie wysokość usypanego złoża wynosiła $H_S = 0,25$ m. Poniżej badanego złoża umieszczono warstwę kulek z tworzywa sztucznego, która zapewniała równomierny rozkład strumienia przepływającego gazu w kierunku promieniowym. Króćce znajdujące się pomiędzy warstwą kulek i badanym złożem oraz bezpośrednio nad nim połączono z ramionami wodnego manometru różnicowego, który mierzył spadek ciśnienia powietrza na złożu. Powietrze dopływające do kolumny tłoczyła sprężarka poprzez zbiornik naporowy i rotametr, za pomocą którego regulowano strumień przepływającego powietrza. Kolumna pracowała w temperaturze otoczenia $t = 22^\circ\text{C}$, pod ciśnieniem atmosferycznym.

Każdego pomiaru dokonano przy wzrastającej prędkości przepływu powietrza U_S zawartej w zakresie od 0 do 0,8 m/s. Procedurę pomiaru powtórzono dla każdej z analizowanych wartości zawartości wilgoci w i dla każdej z nich wyznaczono zależność $(\Delta P/H_S)_i = f(U_{S,i})$ ($i = 1, \dots, n$), stanowiącą podstawę analizy modelowej (Rys. 1). Należy zaznaczyć, że ostatni punkt serii pomiarowej odpowiada granicznej prędkości przepływu powietrza $U_{s,gr}$, po przekroczeniu której złożo ulega rozetrwaniu.

Wyniki badań

Opracowanie danych doświadczalnych

Istnieje wiele równań empirycznych opisujących związek między spadkiem ciśnienia na złożu i prędkością przepływu gazu [Allen i in., 2013]. Analiza wykazała, że równanie Erguna najlepiej określa spadek ciśnienia na badanym złożu biofiltracyjnym $(\Delta P/H_S)$ w zależności od prędkości przepływu powietrza U_S i wilgotności:

$$\Delta P/H_S = AU_S + BU_S^2 \quad (2)$$

$$A = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\eta}{d_S^2} \quad (3a)$$

$$B = 1,75 \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \frac{\rho}{d_S} \quad (3b)$$

gdzie:

d_S – średnica Sautera,

η – lepkość przepływającego gazu

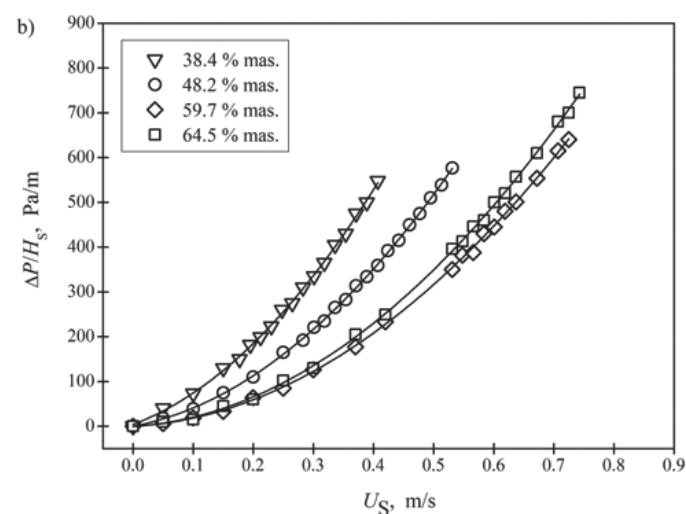
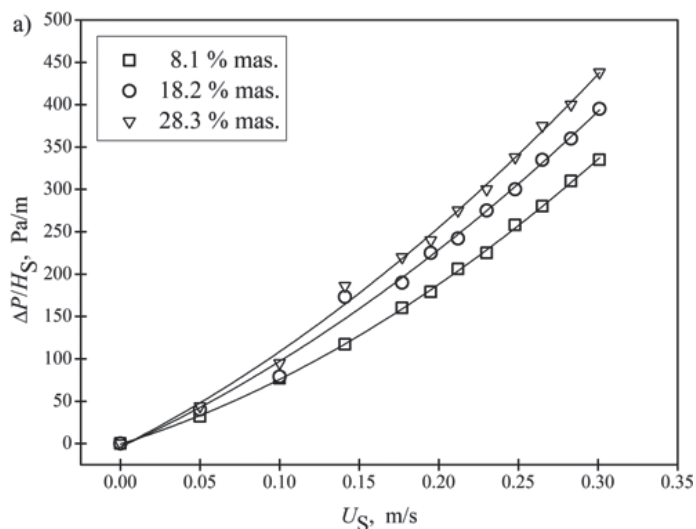
ρ – gęstość przepływającego gazu

Równanie to dopasowano do uzyskanych danych doświadczalnych (Rys. 1) posługując się metodą regresji nieliniowej, wyznaczając przy tym parametry A i B . Wyniki obliczeń podano w tab. 1 wraz z podstawowymi parametrami statystycznymi: współczynnikiem determinacji R^2 , sumą kwadratów odchyłań SSE , błędem średniokwadratowym MSE :

$$SSE = \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\Delta P}{H_S} \right)_{exp,i} - \left(\frac{\Delta P}{H_S} \right)_{odp,i} \right]^2 \quad (4)$$

$$MSE = \frac{SSE}{N - 2} \quad (5)$$

gdzie: N – liczba punktów pomiarowych.



Rys. 1. Zależność spadku ciśnienia ($\Delta P/H_s$) na złożu biofiltracyjnym od prędkości przepływu powietrza (U_s) i zawartości wilgoci w złożu: a) dla $w \leq 28,3\%$, b) dla $w \geq 38,4\%$

Znajomość parametrów A i B , uzależnionych od podstawowych wielkości fizycznych charakteryzujących złożo (porowatość, średnica zastępcza, sferyczność) jest podstawą dla dokonania przybliżonej charakterystyki złoża oraz stwierdzenia jego przydatności w określonych warunkach operacyjnych.

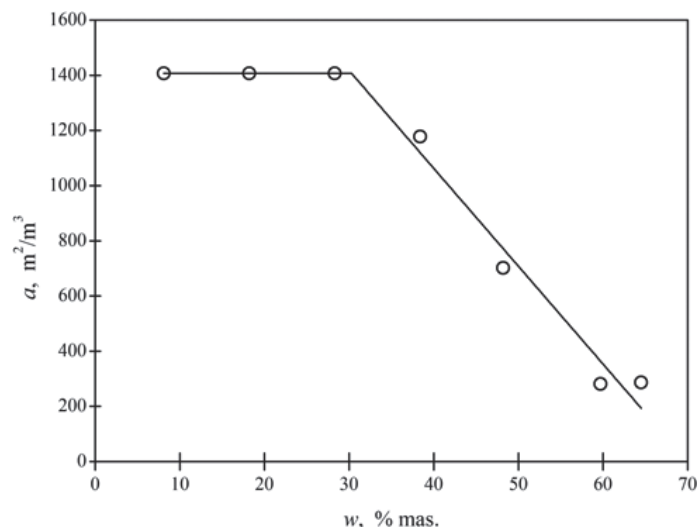
Tab. 1. Wartości parametrów występujących w równaniu Erguna dla różnych poziomów wilgotności złoża w

w, %	Współczynniki		R^2	SSE	MSE
	A	B			
8,2	580,6 ± 37,7	1796 ± 152	0,995	50,4	5,62
18,2	623,1 ± 59,6	1938 ± 225	0,998	128,2	14,21
28,3	691,4 ± 57,2	2169 ± 206	0,991	169,7	16,97
38,4	532,3 ± 44,0	1970 ± 134	0,999	399,6	26,63
48,2	252,1 ± 19,5	1567 ± 45	0,997	172,6	9,61
59,7	72,37 ± 24,9	1121 ± 41	0,995	375,1	23,43
64,5	81,36 ± 25,7	1235 ± 41	0,996	474,7	27,88

Analiza wyników

Na podstawie wyników zamieszczonych w tab. 1 oszacowano wartość średnicy Sautera, średnicy hydraulicznej i powierzchni właściwej a . Ta ostatnia wielkość jest jednym z najważniejszych kryteriów przy doborze odpowiedniego wypełnienia stanowiącego biofiltr, decydującym o efektywności jego pracy. Wyniki obliczeń pokazano na rys. 2.

Widać na nim, że wyraźnie zaznacza się dwojaki wpływ zawartości wilgotności złoża w na wielkość jego powierzchni właściwej a . Pierw-



Rys. 2. Wpływ zawartości wilgoci w złożu na jego powierzchnię właściwą a

szy z nich ujawnia się dla poziomu wilgotności $w \leq 28,3\%$. W tym zakresie powierzchnia właściwa złoża biofiltracyjnego jest wielkością stałą, w przybliżeniu równą

$$a = 0,023 \frac{\rho}{\eta} \quad (6)$$

i w warunkach pomiaru wynosi $a \approx 1400 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Z kolei dla zawartości wilgoci $w > 30\%$ mas. zauważa się odmienny wpływ wilgotności złoża w na wielkość powierzchni właściwej a . Mianowicie, ze wzrostem zawartości wilgoci w zauważa się gwałtowny spadek wartości a . Przykładowo, wzrost zawartości wilgoci od wartości około 30 % do 60 % mas. powoduje względny spadek powierzchni jednostkowej o około 80%.

Wnioski

Przeprowadzono badania mające na celu określenie zależności pomiędzy poziomem zawartości wilgoci w złożu biofiltracyjnym a jego powierzchnią właściwą.

Na tej podstawie stwierdzono, że do poziomu wilgotności ok. 30% mas. złożo wykazuje niezmienną wartość powierzchni właściwej. Po jej przekroczeniu zauważa się drastyczną redukcję powierzchni właściwej odpowiadającą względnemu stopniowi redukcji ok. 80%.

Nadmierna wilgotność złoża biofiltracyjnego może zatem spowodować obniżenie właściwości adsorpcyjnych, a w konsekwencji spadek efektywności biofiltru.

LITERATURA

- Allen K.G., von Backstorn T.W., Kroger D.G., 2013. Packed bed pressure drops dependence on particle shape, size distribution, packing arrangement and roughness. *Powder Techn.*, **246**, 590-600. DOI: 10.1016/j.powtec.2013.06.022
- Chen L., Hoff S.J., 2012. A two-stage wood chip-based biofilter system to mitigate odors from a deep-pit swine building. *Appl. Eng. Agricult.*, **28**, 6, 893-901. DOI: 10.13031/2013.42476
- Oh I.D., Song J., Hwang S. J., Kim J.Y., 2009. Effect of adsorptive properties of biofilter packing materials on toluene removal. *J. Hazard. Mater.*, **170**, 144-150. DOI: j.jhazmat.2009.04.120
- PN-EN13183-1:2004. *Wilgotność sztuki tarcicy – Część 1: Oznaczanie wilgotności metodą suszarkowo-wagową*
- Sun Y., Quan X., Chen J., Yang F., Xue D., Liu Y., 2002. Toluene vapour degradation and microbial community in biofilter at various moisture content. *Process Biochemistry*, **38**, 109-113. DOI: 10.1016/S0032-9592(02)00056-0
- Williams T.O., Miller F.C., 1992. Odor control using biofilters: Part 1, This overview of basic design and operating criteria explains how biofilters can be used more efficiently to control odors emanating from composting facilities. *Bio-Cycle*, **33**, 72-77