

*Stefan Wieczorek
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
w Warszawie Oddział w Gdańsku*

*Stanisław Stężała
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
w Warszawie Oddział w Gdańsku
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Szczecinie*

BADANIA WPŁYWU WYSOKOŚCI ZŁOŻA KORY DRZEWNEJ NA KINETYKĘ ADSORPCJI GAZOWEGO AMONIAKU

Streszczenie

Przeprowadzono badania laboratoryjne wpływu wysokości warstwy adsorbentu („kory iglastej”) i związanej z tym zmiany jego masy na charakter procesu oraz kinetykę procesu adsorpcji amoniaku z mieszaniny powietrze/amoniak. Serię pomiarową, której wyniki przedstawiono znamionowało niezmiennie stężenia NH_3 w gazie obojętnym (powietrzu) oraz stałe natężeniu strumienia jego przepływu przez adsorbent. Wyniki badań uzyskano przy różnej wysokości złoża i wynikającej z tego zmiennej masy adsorbentu. Wskazują na duży wpływ złoża adsorpcyjnego jako parametru statycznego na objętość przebiecia i pozwalają wyznaczyć parametry równania opisującego dynamikę procesu adsorpcji.

Słowa kluczowe: amoniak, emisja, adsorpcja, płynne odchody zwierzęce, kora drzewna

Wstęp

Autorzy niniejszego artykułu w swoich dotychczasowych pracach dotyczących problemu redukcji emisji gazowego amoniaku pochodzenia rolniczego, m. in. na etapie magazynowania odchodów zwierzęcych, opublikowali i prezentowali rezultaty analizy literaturowej dotyczącej tego zagadnienia oraz kolejne wyniki prowadzonych w IBMER O/Gdańsk badań laboratoryjnych [Wieczorek, Stężała 2002, 2003, 2004, 2005]. Wytypowano grupę adsorbentów gazowego amoniaku charakteryzującą się: dostępnością, niewielkimi kosztami jednostkowymi oraz rokujących możliwość dalszego ich wykorzystania w postaci karmy lub nawozu mineralnego (biodegradowalnych), tj. korę drzewną, słomę, siano, ziarna zbóż i plewy. Przedstawiono metodykę

badania laboratoryjnych. Uzyskane wyniki potwierdziły bardzo dobre własności adsorpcyjne kory drzewnej, szczególnie kory drzew iglastych, która została wytypowana do badań mających umożliwić wyznaczenie jej podstawowych parametrów jako złoża adsorpcyjnego gazowego amoniaku. Zakłada się, że po osiągnięciu punktu przebiccia zastosowany biodegradowalny adsorbent wraz z zagęszczonym na jego powierzchni amoniakiem będzie kompostowany i stosowany jako nawóz naturalny w gospodarstwach rolnych.

Celem pracy jest wyznaczenie wpływu wysokości warstwy kory drzewa iglastego, jako jednego z parametrów adsorpcji, wpływającego na efektywność oczyszczania przepływającego przez złożo adsorpcyjne strumienia powietrza zanieczyszczonego amoniakiem. Umożliwi to wyznaczenie i wykorzystanie wyznaczonych zależności matematycznych do poprawnego zaprojektowania instalacji do oczyszczania.

Warunki badań

Badania prowadzono przyjmując:

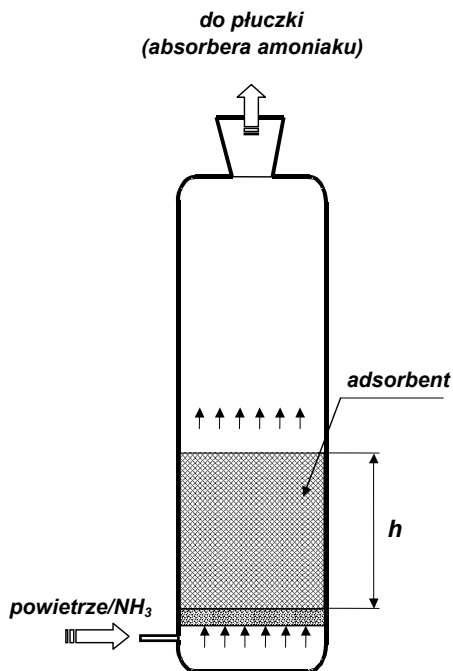
- wysokość warstwy adsorbentu h (mm): 10, 20, 40, 55, 80, 110 (rys. 1),
- masę adsorbentu (g): 0,9; 1,9; 3,5; 5,0; 7,5; 9,9,
- średnicę adsorbera (mm): 22,
- stężenie amoniaku: $1,5 \cdot 10^{-3}$ g/dm³,
- natężenie przepływu strumienia mieszaniny amoniak/powietrze: 1 dm³/10 min.,
- dozowanie adsorbentu: periodyczne.

Szczegóły metodyki badawczej, stosowane materiały oraz aparaturę badawczą przedstawiono we wcześniejszych publikacjach autorów [Wieczorek, Stężala 2004a, 2005a].

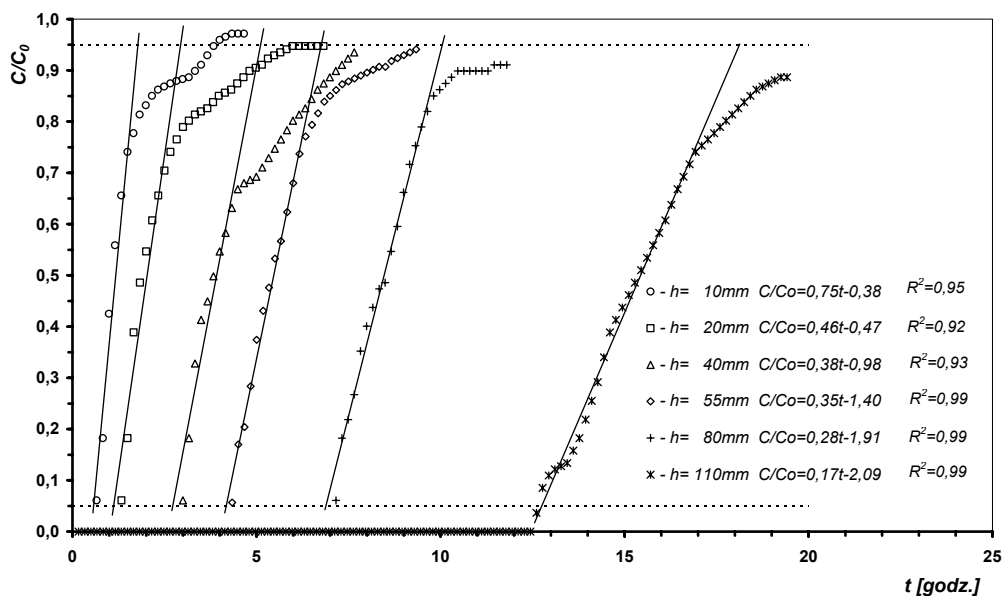
W publikacji przedstawiono wyniki laboratoryjnych badań nad efektywnością adsorpcji amoniaku w funkcji wysokości warstwy adsorbentu („kory iglastej”), co przy stałej średnicy adsorbera wpływało na zmianę masy adsorbentu. Inne parametry, takie jak: stopień rozdrobnienia adsorbentu, natężenie przepływu strumienia mieszaniny i stężenie adsorbentu (mieszaniny powietrze/amoniak), pozostawały niezmiennic.

Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki pomiarów w układzie współrzędnych $C/C_0 = f(t)$, gdzie C - stężenie eluatu (adsorbentu na wyjściu z kolumny), C_0 - stężenie adsorbentu na wejściu do adsorbera, t - czas, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat adsorbentu amoniaku
Fig. 1. Scheme of ammonia adsorbent



Rys. 2. Wykres zależności C/C_0 w funkcji czasu adsorpcji t dla różnych grubości warstw adsorpcyjnych „kory iglastej”

Fig. 2. Diagram of C/C_0 relationship in function of adsorption time t for different bed thickness of "coniferous bark" adsorbent

Na wykresie przedstawiono również wyznaczone funkcje regresji dla poszczególnych prostoliniowych odcinków $C/C_o = f(t)$, odpowiadających zakresowi stężeń eluatu C od 5% (przebiecie) do 95% (nasylenie) wartości wejściowej adsorbentu (C_o) [Kuroпка 1996; Paderewski 1999]. Uzyskana tendencja zmian przedstawionej zależności jest charakterystyczna dla cytowanych w literaturze krzywych wyjścia w funkcji wysokości złoża sorpcyjnego. Wyniki tych badań wskazują na znaczący wpływ podstawowego parametru statycznego kolumny adsorpcyjnej, tj. wysokości warstwy złoża, na czas po którym następuje efekt przebiccia adsorbentu oraz na ilość zaadsorbowanego gazu (efekt nasycenia złoża). Pozwalają one również na wyznaczenie parametrów równania opisującego dynamikę procesu adsorpcji [Sziłow, Lepin 1928]:

$$T_p = k \cdot h - T_o'$$

gdzie:

T_p - czas przebiccia złoża adsorbentu (czas działania ochronnego),

h - wysokość złoża,

k - współczynnik kinetyczny,

T_o' - wielkość zależna od wysokości strefy wymiany i czasu formowania się czoła adsorpcji.

Wielkości k oraz T_o' wymagają empirycznego wyznaczenia. Charakteryzują one adsorbent i jego parametry (m. in.: porowatość, stopień rozdrobnienia, gęstość właściwą) oraz substancję pochłanianą przez adsorbent (adsorbat) i jej cechy fizyko-chemiczne (głównie: powinowactwo chemiczne, stężenie, a także natężenie przepływu strumienia gazu).

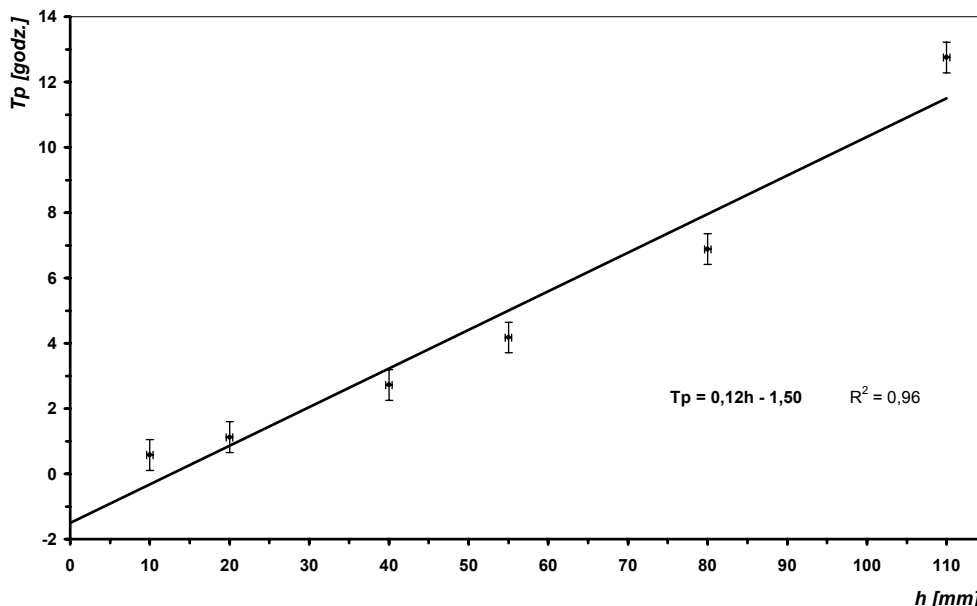
Wartości T_p (czas przebiccia adsorbentu z zależności $C/C_o=f(t)$ dla $C/C_o=0,05$) wyznaczone z równań regresji (rys. 2) dla poszczególnych wysokości złóż zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości czas przebiccia adsorbentu T_p uzyskane dla amoniaku wyznaczone z równań regresji (rys. 1), dla różnych wysokości wypełnienia (kora iglasta) kolumny adsorpcyjnej

Table 1. Time of adsorbent break-through (T_p) for ammonia determined by regression equations (fig.1), at various depths of coniferous bark bed in adsorption column

Badany parametr statyczny kolumny $h_{\text{adsorbentu}}$ (mm)	Dane dotyczące przebiccia złoża	
	czas T_p (godz.)	ilość zaadsorbowanego amoniaku $(\text{g NH}_3) \cdot 10^{-3}$
10	0,58	5,18
20	1,12	10,11
40	2,72	24,51
55	4,17	37,58
80	6,88	61,96
110	12,75	114,78

Przebieg zależności czasu przebicia (T_P) od wysokości złoża (h) (rys. 3) dla uzyskanych podczas badań laboratoryjnych wartości opisano równaniem, które pozwala na wyznaczenie empirycznych jego współczynników.

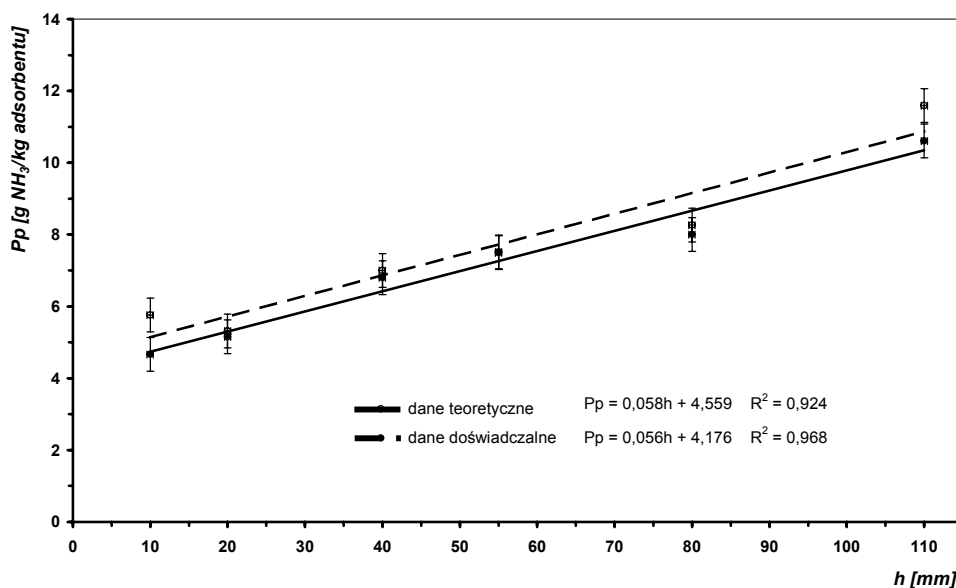


Rys. 3. Zależność czasu przebicia (T_P) od wysokości warstw adsorpcyjnych (h) „kory iglastej” (ilość adsorbentu = 0,9; 1,9; 3,5; 5,0; 7,5; 9,9 g; $C_o = 1,5 \text{ mgNH}_3/\text{dm}^3$)
 Fig. 3. The break-through time (T_P) depending on the depth of adsorbent (coniferous bark) beds (adsorbent amounts: 0.9; 1.9; 3.5; 5.0; 7.5; 9.9 g; $C_o = 1.5 \text{ mg NH}_3/\text{dm}^3$)

Dla materiału i parametrów poddanych badaniom, a więc adsorbentu: mieszaniny powietrze/amoniak o stężeniu NH_3 $1,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$ i natężenia strumienia jego przepływu – $1 \text{ dm}^3/10 \text{ min}$ oraz adsorbentu: kory drzewa iglastego, wyznaczone empirycznie współczynniki równania Szilowa wynoszą: $k = 0,118 \text{ godz./mm}$, $T_o' = 1,502 \text{ godz.}$

Korzystając z równań aproksymacji danych empirycznych przedstawionych na rysunku 2 oraz wyznaczonych teoretycznych wartości czasu przebicia T_P dla poszczególnych wysokości warstw adsorpcyjnych (tab. 1), na rysunku 4 przedstawiono zależność ilości zaadsorbowanego amoniaku P_P (do czasu przebicia złoża) w funkcji jego wysokości. Uzyskano bardzo wysoką korelację tych wartości. Ponadto stwierdzono około 2-krotny wzrost ilości zaadsorbowanego NH_3 (do momentu przebicia) w przeliczeniu na jednostkę masy adsorbentu, przy 11-krotnym wzroście wysokości wypełnienia.

Ilość zaadsorbowanego amoniaku przez badany adsorbent odnoszącą się do momentu uzyskania nasycenia złoża (dla $C/C_o = 0,95$), w przeliczeniu na jednostkę masy adsorbentu, przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 4. Zależność ilości zaadsorbowanego amoniaku do momentu przebicia złoża (P_p) od wysokości warstw adsorpcyjnych (h) „kory iglastej” (ilość adsorbentu = 0,9; 1,9; 3,5; 5,0; 7,5; 9,9 g; $C_o = 1,5 \text{ mg NH}_3/\text{dm}^3$)

Fig. 4. Amount of ammonia adsorbed until the bed break-through (P_p) as affected by the height (h) of adsorbent (coniferous bark) beds (adsorbent amounts: 0.9; 1.9; 3.5; 5.0; 7.5; 9.9 g; $C_o = 1.5 \text{ mg NH}_3/\text{dm}^3$)

Tabela 2. Wartości czas nasycenia adsorbentu T_n uzyskane dla amoniaku wyznaczone z równań regresji (rys. 1), dla różnych wysokości wypełnienia (kora iglasta) kolumny adsorpcyjnej

Table 2. Time of adsorbent saturation (T_n) for ammonia determined by regression equations (fig. 1) at various depths of coniferous bark beds in adsorption column

Badany parametr statyczny kolumny $h_{\text{adsorbentu}}$ (mm)	Dane dotyczące nasycenia złoża	
	czas T_n (godz.)	ilość zaadsorbowanego amoniaku P_n (g NH ₃ /kg adsorbentu)
10	1,78	17,78
20	3,08	14,58
40	5,11	13,14
55	6,76	12,17
80	10,05	12,06
110	18,12	16,48

Wyznaczone wartości P_n (tab. 2) nie wskazują na analityczną zależność od badanego parametru statycznego złoża sorpcyjnego. Po odrzuceniu skrajnych wartości uzyskanych dla najmniejszej i największej wysokości warstwy kory drzewnej, pozostałe wyniki odbiegają maksymalnie $\pm 10\%$ od średniej wartości $P_n = 12,98 \text{ g NH}_3/\text{kg adsorbentu}$.

Podsumowanie

1. Przyjęta metodyka pomiarowa oraz wykonany zestaw do badań laboratoryjnych umożliwia prowadzenie badań nad wyznaczeniem zależności parametrów statycznych procesu adsorpcji amoniaku z wykorzystaniem kory drzewnej jako adsorbentu.
2. Wyniki badań uzyskane w warunkach zmiennej wysokości złoża, a tym samym przy zmiennej jego masie (stałe wymiary średnicy adsorbera) pozwalają na wyznaczenie parametrów równania opisującego dynamikę procesu adsorpcji.
3. Uzyskano bardzo wysoką korelację dla wartości przebiecia złoża adsorpcyjnego w zakresie badanych wysokości, wyznaczonych eksperymentalnie, w porównaniu z tym parametrem wyznaczonym z równań opisujących przebieg krzywych wyjścia na odcinkach od przebiecia do nasycenia adsorbentu.

Bibliografia

- Kuropka J. 1996. Oczyszczanie gazów odlotowych z zanieczyszczeń gazowych. PW, Wrocław
- Paderewski M.L. 1999. Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej. WNT, Warszawa
- Sziłow N.A., Lepin A. 1928. Prom. Fiz. Chim. 61, s. 1107
- Warych J. 1998. Oczyszczanie gazów. Procesy i aparatura. WNT, Warszawa
- Wieczorek S., Stężyła S. 2002. Redukcja emisji amoniaku na etapie magazynowania odchodów zwierzęcych jako zadanie proekologiczne. VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa nt. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i przepisów UE. IBMER, Warszawa, ss. 133-138
- Wieczorek S., Stężyła S. 2003. Wstępna ocena ekologicznych adsorbentów amoniaku emitowanego w produkcji zwierzęcej. IX Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i przepisów UE”. IBMER Warszawa, s. 195-199
- Wieczorek S., Stężyła S. 2004a. Próba wytypowania efektywnego, biodegradowalnego adsorbentu i parametrów adsorpcji amoniaku z fazy gazowej powietrze/amoniak. Problemy Inżynierii Rolniczej, 1(43): 77-86
- Wieczorek S., Stężyła S. 2004b. Badania efektywności adsorpcji amoniaku z fazy gazowej powietrze/amoniak na wybranych, biodegradowalnych adsorbentach organicznych. XII Międzynarodowa Konferencja Naukowa z cyklu Problemy Inżynierii Rolniczej nt. Inżynieria Rolnicza a Środowisko. Międzyzdroje, ss. 92-93

Wieczorek S., Stężala S. 2004c. Ocena parametrów statycznych złoża kory drzewnej jako adsorbentu amoniaku z fazy gazowej. X Międzynarodowa Konferencja Naukowa nt. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i przepisów UE. IBMER, Warszawa, ss. 255-259

Wieczorek S., Stężala S. 2005a. Ocena drewnianej kory jako adsorbentów gazowego amoniaku. Priorytetowe prace naukowo-techniczne nauczno-technicznego ośrodka APK Sewiero-Wostoka. Zbiór prac naukowych. T. 7, Kirow, NIISCh Sewiero-Wostoka, ss. 202-208

Wieczorek S., Stężala S. 2005b. Ocena adsorbentów amoniaku wybranych z niektórych rolniczych materiałów. Priorytetowe prace naukowo-techniczne nauczno-technicznego ośrodka APK Sewiero-Wostoka. Zbiór prac naukowych. T. 7, Kirow, NIISCh Sewiero-Wostoka, ss. 350-357

Recenzent: Jacek Namieśnik