

Zbigniew Czyszczoń
Kazimierz Gaj
Jan D. Rutkowski

ZASTOSOWANIE KOLUMNY Z WYPEŁNIENIEM RUCHOMYM DO BIOLOGICZNEGO OCZYSZCZANIA GAZÓW ODLOTOWYCH Z PROCESU PRASOWANIA PŁYT WIÓROWYCH

Biologiczne metody oczyszczania gazów z toksycznych substancji organicznych polegają w ogólności na absorpcji zanieczyszczeń, a następnie na ich biodegradacji poprzez mikroorganizmy tlenowe [1—5]. Sorpcja może być realizowana w biopłucze zraszanej wodną zawiesiną drobnoustrojów (osadem czynnym), natomiast biodegradacja zachodzi głównie w komorze napowietrzania, w której przetrzymywany jest recyrkulowany osad czynny.

W ramach prac prowadzonych w Instytucie Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej wykonano badania mające na celu dobór właściwego wypełnienia kolumny absorpcyjnej (pełniącej rolę bioskrubera) oraz określono parametry technologiczne przebiegu procesu unieszkodliwiania zanieczyszczeń powietrza, uwalnianych podczas prasowania i chłodzenia płyt wiórowych. Badania przeprowadzone zostały szczegółowym rozpoznaniem źródła emisji, którego charakterystykę zamieszczono w pracy [6]. Doświadczenia prowadzono w poligonowej instalacji półtechnicznej w Wielkopolskich Zakładach Przemysłu Sklejek w Ostrowie Wielkopolskim. W badaniach stosowano rzeczywiste gazy odlotowe, odciągane z nad prasy hydraulicznej oraz z nad stanowiska do chłodzenia płyt wiórowych.

Prace te stanowią kontynuację wcześniejszych badań [7], w których określono przydatność dwóch typów wypełnień stacjonarnych (pierścieni I-15M oraz „pakietów z siatek”) w tym samym układzie instalacji. Jak udowodniono, oba te wypełnienia wykazują szereg wad i nie nadają się do szerszego zastosowania przemysłowego. Zdyskwalifikowano zwłaszcza pierścienie I-15M, jako nieodporne na kolmatację. Pakiety z siatek z kolei charakteryzują się stosunkowo niską efektywnością wymiany masy, wynikającą m. in. z ich małej powierzchni właściwej oraz z nierównomiernego rozprzewadzenia cieczy na powierzchni wypełnienia. Ponadto nie są one produkowane seryjnie (były wykonane na zamówienie jedynie do celów badawczych).

Stąd też wynika konieczność dalszych poszukiwań odpowiednich wypełnień, mogących pracować w sposób stabilny i skuteczny z zawieszoną osadą czynnego, jako medium sorpcyjnym. Coraz powszechniej stosowane są kolumny z wypełnieniem ruchomym, zarówno do prowadzenia absorpcji w zawieszynie ciała stałego, jak i do odpylania gazów. Ich najważniejsze zalety, w porównaniu do kolumn z wypełnieniem stacjonarnym, to: możliwość znacznego zwiększenia obciążeń fazą gazową i cieczą, mniejsze gabaryty, zdolność do samooczyszczania, a także mniejsze wymagania odnośnie dokładnego i równomiernego rozprzewadzenia cieczy w przekroju poprzecznym aparatu.

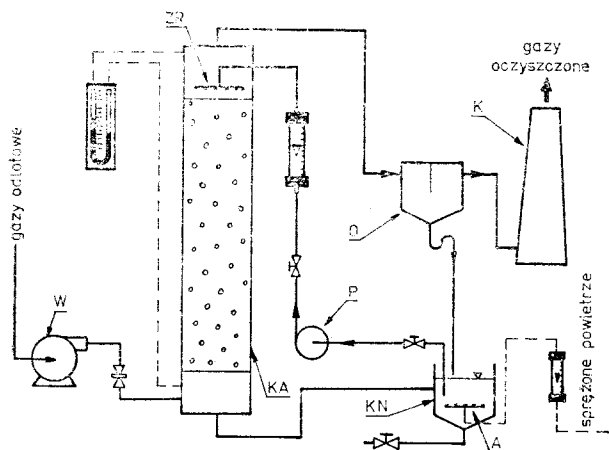
Do badań wytypowano dostępne na rynku krajowym kule polietylenowe (produkowane przez Zakłady Chemiczne ERG w Częstochowie) o średnicy 0,033 m i gęstości 108 kg/m³ (tab. 1).

Tabela 1
CHARAKTERYSTYCZNE PARAMETRY STOSOWANYCH
WYPEŁNIENI

Rodzaj wypełnienia	H m	N —	α m ² /m ³	ε %	$d_h \cdot 10^5$ m	$d_z \cdot 10^4$ m
Pierścienie I-15M z polipropylenu	2,0	9231	156,6	86,5	33,1	5,19
Pakiety z siatki polietylenowej	3,0	20	78,7	92,4	47,0	5,78
Kule polietylenowe ϕ 0,038 m, $\rho=108$ kg/m ³	0,25 0,50	13930	63,2	40,0	2,5	38,00

H — wysokość warstwy wypełnienia,
N — ilość elementów w objętości 1 m³,
 α — powierzchnia 1 m³ wypełnienia,
 ε — porowatość,
 d_h — średnica hydrauliczna elementu wypełnienia,
 d_z — średnica zastępcza elementu wypełnienia.

Istotną przesłanką zastosowania wypełnienia ruchomego był fakt, że samooczyszczanie złoża z osadu czynnego likwiduje trudności eksploatacyjne związane ze wzrostem oporów przepływu gazu oraz — co nie mniej ważne — zabezpiecza przed zagniwaniem biomasy w aparacie. Wyższe prędkości mediów i związana z tym większa burzliwość przepływu sprzyjają ponadto intensywniejszemu natlenianiu zawiesziny osadu czynnego w kolumnie.



Rys. 1. Schemat instalacji doświadczalnej (A — aerator, K — komin, KA — kolumna absorpcyjna, KN — komora napowietrzania, O — odkraplacz, P — pompa, W — wentylator, ZR — zraszacz)

Opis instalacji badawczej

Schmat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunku 1. Zanieczyszczone gazy tłoczono na wentylator (W) do dolnej części kolumny absorpcyjnej (KA) o średnicy 0,4 m, skąd po oczyszczeniu trafiały do separatora kropli (O) i poprzez komin (K) usuwane były na zewnątrz. Cyrkulowana zawiesina osadu czynnego podawana była z komory napowietrzania (KN) za pomocą pompy (P) na szczyt kolumny (KA) za pośrednictwem zraszacza (ZR). Do komory napowietrzania (KN) doprowadzane było sprężone powietrze poprzez aerator (A).

Parametry kontrolowane podczas badań, ich zakres oraz sposoby pomiaru zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

KONTROLOWANE PARAMETRY PRACY INSTALACJI			
Parametr	Zakres pomiarowy	Jedn.	Metoda pomiaru (urządzenie)
Stężenie formaldehydu w gazach na wlocie do kolumny	20 ÷ 100	mg/m ³	metoda kolorymetryczna z kwasem chromotropowym (na bazie PN-76/Z04045)
Stężenie formaldehydu w gazach na wylocie z kolumny	0,2 ÷ 40	mg/m ³ jw.	
Stężenie formaldehydu w zawieszinie	2 ÷ 13	g/m ³ jw.	
Temperatura gazu na wlocie do kolumny	300 ÷ 325	K	termometr rtęciowy
Temperatura gazu na wylocie z kolumny	290 ÷ 300	K	jw.
Temperatura zawiesziny w komorze napowietrzania	290 ÷ 300	K	jw.
Spadek ciśnienia w kolumnie	50 ÷ 2300	Pa	mikromanometr typu „U”-rurka
Natężenie przepływu gazów	226 ÷ 1584	m ³ /h	kryza ISA (wg PN-65/M-53950)
Natężenie przepływu cieczy sorpcyjnej	1,2 ÷ 5,0	m ³ /h	przepływomierz typu „rotometr”
pH zawiesziny	4 ÷ 8		pH-metr
ChZT	120 ÷ 1100	gO ₂ /m ³ wg [9]	

Sposób interpretacji wyników

Badania wykonano dla przeciwnieprądowego przepływu faz w kolumnie z jedną sekcją wypełnienia. Zastosowano półkę rusztową o porowatości 40% i szerokości szczelin 0,016 m. Badania hydrauliczne wykonano w układzie: powietrze/zawiesina osadu czynnego, dla następującego zakresu zmienności parametrów:

- prędkość gazu (liczona na pustym przekroju aparatu): 0,5 : 4,0 m/s,
- gęstość zraszania: 0 : 40 m³/m²h,
- wysokość statyczna złoża: 0,25 m i 0,50 m.

Wyniki badań przedstawiono graficznie za pomocą zależności spadku ciśnienia gazu w kolumnie (ΔP) od prędkości gazu (u) i gęstości zraszania (L), dla ustalonych wysokości statycznych złoża (H_{st}). Badania wymiany masy przeprowadzono dla najgroźniejszego (z toksykologicznego punktu widzenia) zanieczyszczenia obecnego w gazach odlotowych, jakim jest formaldehyd, uwalniany w trakcie produkcji płyt wiórowych [6]. Uzyskane wyniki interpretowano graficznie za pomocą zależności objętościowego współczynnika przenikania masy ($k \cdot a$) od prędkości gazu (u) i gęstości zraszania (L). Wartość współczynnika $k \cdot a$ wyznaczono przy założeniu, że stężenie formaldehydu w absorbencie jest pomijalnie małe wskutek jego samogeneracji (stosowano takie obciążenia osadu czynnego ładunkiem formaldehydu, że średnie stężenie CH₂O w cieczy nadosadowej wynosiło ok. 5 g/m³, co odpowiada stężeniu równowagowemu nad roztworem 0,08 mg/m³ w temperaturze 303 K [10] i może być pominięte).

Opór wnikania masy po stronie fazy ciekłej przyjęto zatem za równy zero, a objętościowy współczynnik przenikania masy ($k \cdot a$) określano za pomocą równania:

$$k \cdot a = \frac{u \cdot \ln(C_1/C_2)}{H_D} \quad (1)$$

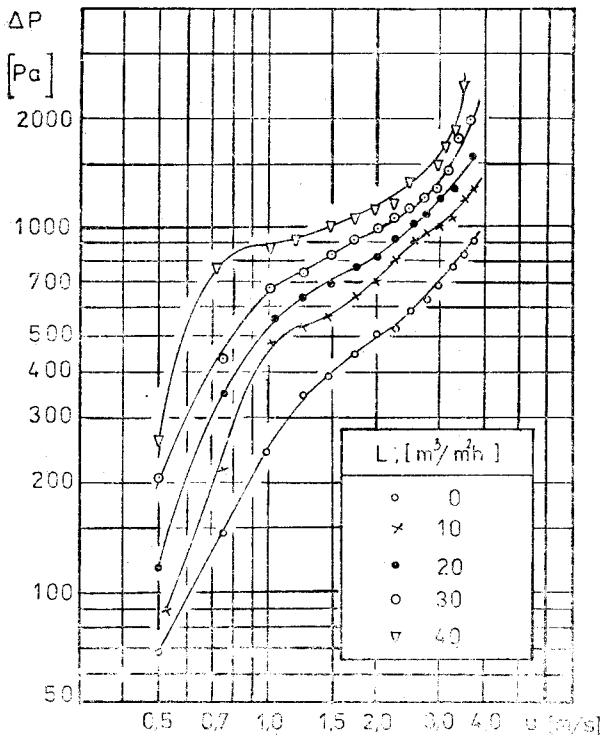
w którym:

- H_D — wysokość dynamiczna złoża,
- u — prędkość liczona na pustym przekroju aparatu,
- C_1 — stężenie CH₂O w gazach na wlocie do kolumny,
- C_2 — stężenie CH₂O w gazach na wylocie z kolumny.

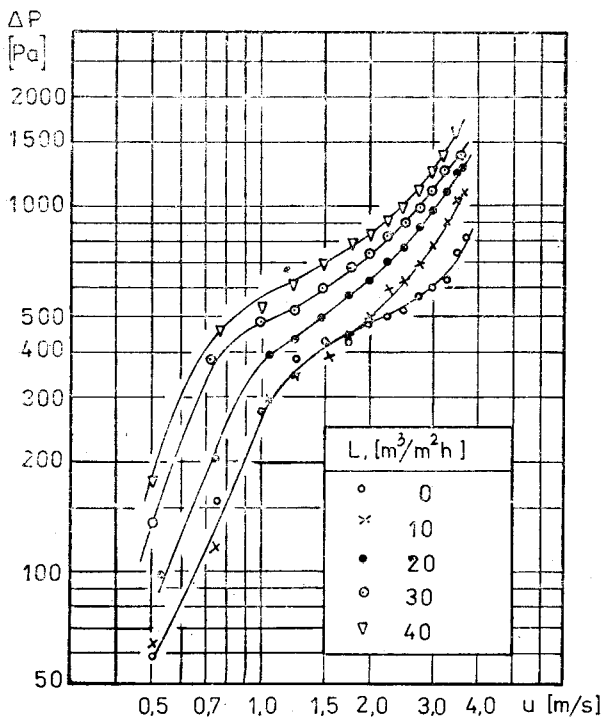
Słuszność powyższych założeń potwierdzono podczas badań porównawczych absorpcji formaldehydu w wodzie i w wodnej zawieszinie osadu czynnego (wykonanych na tej samej instalacji), podczas których uzyskano bardzo zbliżone wyniki dla obu badanych układów [8].

Wyniki badań

Wyniki pomiarów hydraulicznych przedstawiono graficznie na rysunkach 2 i 3. Uzyskane przebiegi krzywych są typowe dla kolumn



Rys. 2 Zależność oporów przepływu gazu od prędkości gazu i gęstości zraszania, dla wysokości statycznej złoża $H_{st}=0,25$ m; układ: powietrze/zawiesina osadu czynnego



Rys. 3. Zależność oporów przepływu gazu od prędkości gazu i gęstości zraszania, dla wysokości statycznej złoża $H_{st}=0,50$ m; układ: powietrze/zawiesina osadu czynnego

z wypełnieniem ruchomym. Nieco wyższe spadki ciśnień od podanych np. w pracy [11] wynikają z następujących przyczyn:

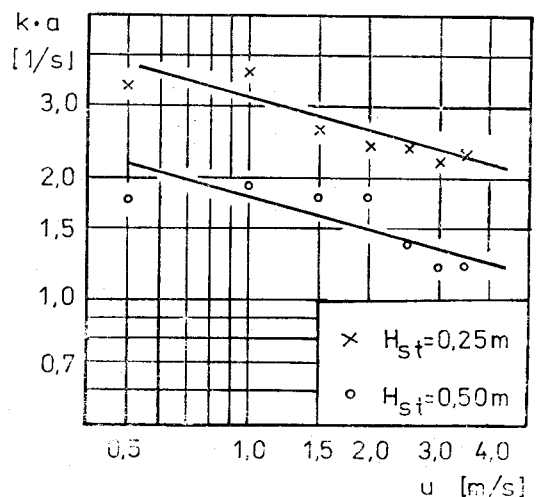
— zastosowania blach kierujących spływającą po ścianie kolumny ciecz w kierunku jej osi,

— sposobu rozmieszczenia punktów odbioru impulsów ciśnienia, które zamontowane były pod rusztem dolnym i pod zraszaczem,

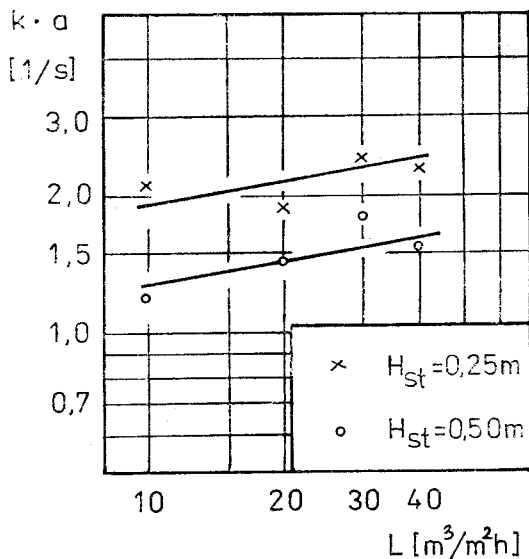
— zastosowania zawiesiny osadu czynnego jako medium zraszającego.

Graficznie przedstawione zależności spadku ciśnienia gazu (ΔP) od prędkości gazu (u), przy ustalonej gęstości zraszania (L) charakteryzują się występowaniem jednego punktu przegięcia. Dla prędkości gazu $u \leq 1$ m/s powodzą zmianą wartości tej zmiennej powoduje stosunkowo duże zmiany wartości oporów przepływu ΔP . W tym zakresie prędkości przepływu gazu złożo pozostaje nieruchome; drgają pojedyncze elementy wypełnienia lub przetrzucane są z miejsca na miejsce kilkuelementowe porcje złoża; złożo nieznacznie zwiększa swoją objętość. W zakresie prędkości gazu od ok. 1,0 m/s do ok. 3,5 m/s wpływ zmian prędkości gazu na wartość oporów przepływu jest łagodniejszy niż poprzednio. Na początku tego obszaru większość elementów złoża znajduje się w ruchu, który określić można „mieszaniem złoża”. Stopniowy wzrost prędkości gazu powoduje zwiększenie ruchliwości poszczególnych elementów wypełnienia do stanu, w którym wszystkie znajdują się w stanie intensywnego mieszania. Dalsze zwiększenie prędkości gazu powoduje wprowadzenie wypełnienia w stan pełnej fluidyzacji trójfazowej. Objętość złoża ruchomego zwiększa się od 3 do 5 razy w stosunku do stanu początkowego. Znacznie wzrasta ilość zatrzymanej cieczy w sekcji. Wpływ zmian prędkości gazu na wartość oporów przepływu jest słabszy. Od wartości $u=3$ m/s następuje ponowne wzmocnienie zależności oporów przepływu od prędkości gazu. Wartości oporów przepływu gazu (ΔP), przy ustalonej prędkości gazu (u), wzrastają wraz ze wzrostem gęstości zraszania (L) oraz wysokości statycznej złoża (H_{st}).

Wyniki badań absorpcji przedstawiono graficznie na rysunkach 4 i 5. W zakresie zmienności



Rys. 4. Zależność objętościowego współczynnika przenikania masy od prędkości gazu, dla gęstości zraszania $L=30$ m³/m²h; układ: CH₂O — gazy odlotowe/zawiesina osadu czynnego



Rys. 5. Zależność objętościowego współczynnika przenikania masy od gęstości zraszania, dla prędkości gazu $u=2$ m/s; układ: CH_2O — gazy odlotowe/zawieszina osadu czynnego

ci przebadanych parametrów stwierdzono wzrost objętościowego współczynnika przenikania masy ($k \cdot a$) wraz ze wzrostem gęstości zraszania (L) — dla ustalonej prędkości gazu ($u=2$ m/s). Wzrost ten jest wyraźny dla $L \leq 30$ $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$, a po przekroczeniu tej wartości powyższa zależność jest słabsza. Natomiast dla ustalonej gęstości zraszania ($L=30$ $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$) najwyższe wartości współczynnika $k \cdot a$ uzyskano dla prędkości gazu $u \leq 1$ m/s, po czym (w zakresie $u=1-3$ m/s) następował jego spadek. Na podstawie wcześniejszych badań laboratoryjnych [12] można przypuszczać, że dla prędkości gazu $u \geq 3,5$ m/s nastąpi wzrost objętościowego współczynnika przenikania masy ($k \cdot a$). Wzrost wysokości statycznej złoża (od 0,25 m do 0,5 m) powoduje obniżenie wartości współczynnika $k \cdot a$.

Wnioski

1. Podczas wielotygodniowych badań nie zaobserwowano odkładania się osadu czynnego w przestrzeni roboczej aparatu ani też na elementach wypełnienia. Na tej podstawie można stwierdzić, że w absorberze z ruchomym wypełnieniem, pracującym z zawiesziną osadu czynnego jako medium sorpcyjnym, następuje samooczyszczanie złoża i przestrzeni roboczej aparatu.

2. Wypełnienie ruchome gwarantuje stabilną pracę aparatu zraszane zawiesziną osadu czyn-

nego i należy je zalecać dla rozpatrywanego układu, zwłaszcza w przypadku obecności pyłu w gazach odlotowych. Miejscem newralgicznym kolumny z wypełnieniem ruchomym, w którym gromadzić się mogą niewielkie ilości osadu, są brzozy i szczeliny rusztu. W związku z tym, przy projektowaniu instalacji przemysłowej należy zapewnić możliwość przemywania rusztów. Korzystniejsze wydaje się również zastosowanie kul o większej gęstości ($200-300$ kg/m^3) [11], dzięki czemu, przy nieznacznym wzroście oporów przepływu gazu, można uzyskać możliwość obniżenia wysokości aparatu i zwiększenie trwałości wypełnienia.

LITERATURA

1. W. STEINMULLER, G. GLAUS, H. J. KUTZNER: Grundlange der biologischen Abluftreinigung, Teil II — Mikrobiologischer Abbau von Luftverunreinigenden Stoffen. Staub-Reinhaltung der Luft, 39, 1979, nr 5, s. 1-9.
2. M. GUST, F. SPORENBERG, E. SCHIPPERT: Grundlagen der biologischen Abluftreinigung, Teil IV — Abgasreinigung durch Mikroorganismen mit Hilfe von Biowaschern. Staub-Reinhaltung der Luft, 39, 1979, nr 9, s. 308.
3. M. GUST, H. GROCHOWSKI, K. SCHIRZ, S. SCHIRZ: Grundlagen der biologischen Abluftreinigung, Teil V — Abgasreinigung durch Mikroorganismen mit Hilfe von Biowaschern. Staub-Reinhaltung der Luft, 39, 1979, nr 11, s. 393.
4. H. KOHLER, U. LACHENMAYER, E. PAUL: Biologische Abluftreinigung Wasser. Luft und Betrieb, 1983, nr 1-2, s. 64.
5. H. BRAUER: Biologische Abluftreinigung. Chem.-Ing.-Techn., 56, 1984, nr 4, s. 279.
6. M. SZKLARCZYK, J. D. RUTKOWSKI, J. ŚWIETLIK: Emisja gazowych zanieczyszczeń powietrza w procesie prasowania płyt wiórowych. Ochrona Powietrza, 1986, nr 3, s. 75.
7. M. SZKLARCZYK, J. D. RUTKOWSKI, Z. CZYSZCZOŃ: Próby zastosowania osadu czynnego do oczyszczania wybranych gazów odlotowych zawierających formaldehyd. Ochrona Powietrza, 1986, nr 6, s. 143.
8. J. D. RUTKOWSKI, Z. CZYSZCZOŃ, K. GAJ: Sravnitelnye issledowanija effektivnosti sorbcii v vode i v vodnoj vzwiesi aktivnogo ila formaldegida emittirnogo v atmosferu v procesie formirovanija drevnostuzecznych plit. Ocistka vozducha ot durnopachnuschich veshestv. Kolokvium po teme IV.2, IV.5, IV.7, s. 27.
9. W. HERMANOWICZ i in.: Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa 1976.
10. J. D. RUTKOWSKI, M. SZKLARCZYK, J. ŚWIETLIK: Ocena przydatności wybranych roztworów do unieszkodliwiania formaldehydu. Raport Inst. Inż. Ochr. Środow. Pol. Wr., seria SPR nr 14/79.
11. A. A. ZAMINJAN, W. M. RAM: Absorberty s pseudoczyznojj nasadkoj. Chimija, Moskwa 1980.
12. L. KĘDZIERSKI, J. D. RUTKOWSKI, S. SUDER: Badania hydrauliki i kinetyki wymiany masy w kolumnie wypełnionej z lekkim złożem ruchomym. Raport Inst. Inż. Ochr. Środow. Pol. Wr., seria SPR nr 4/84.

ON THE APPLICATION OF MOVABLE-BED COLUMNS TO THE BIOLOGICAL TREATMENT OF PROCESS GASES FROM CHIPBOARD PRESSING

The hydraulics and kinetics of mass transfer in a column packed with a lightweight movable bed.

Consideration was given to the following system: CH_2O -flue gas/activated sludge suspension. The experiments were run in a pilot system involving actual flue gases. The results obtain give good support to the concept of applying a movable-bed column to the biological treatment of the process gases from chipboard pressing.