

„MIESZANIE GAZÓW W MIESZALNIKU STATYCZNYM”

„GAS MIXING IN A STATIC AGITATOR”

STRESZCZENIE:

W pracy przedstawiono badania procesu mieszania amoniaku i powietrza, przeprowadzone w mieszalniku statycznym własnej konstrukcji, z oryginalnymi elementami mieszającymi [1]. Przebadano także opory przepływu mediów procesowych w mieszalniku. Opracowano równania umożliwiające projektowanie mieszalnika dla wymaganych parametrów procesowych.

SUMMARY:

This paper presents researches of ammonia and air mixing process in the static agitator of own construction with original mixing elements [1]. There have been also examined pressure drops of process media in the agitator. The equations useful in agitator designing for required process parameters have been elaborated

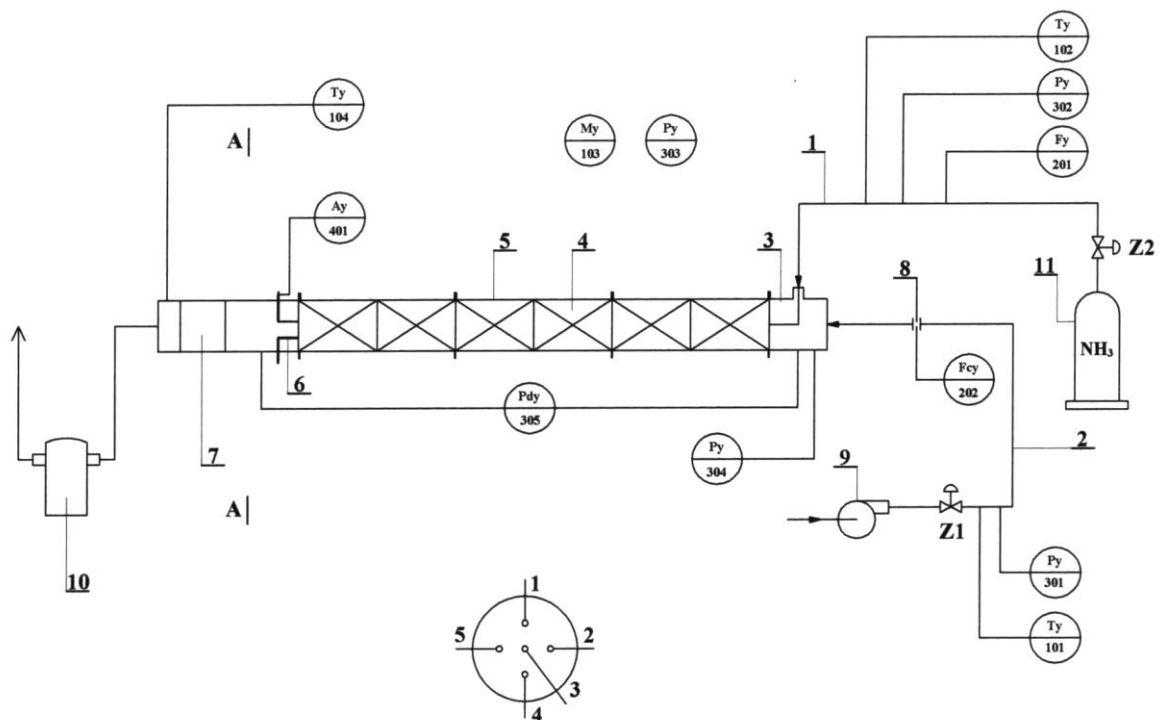
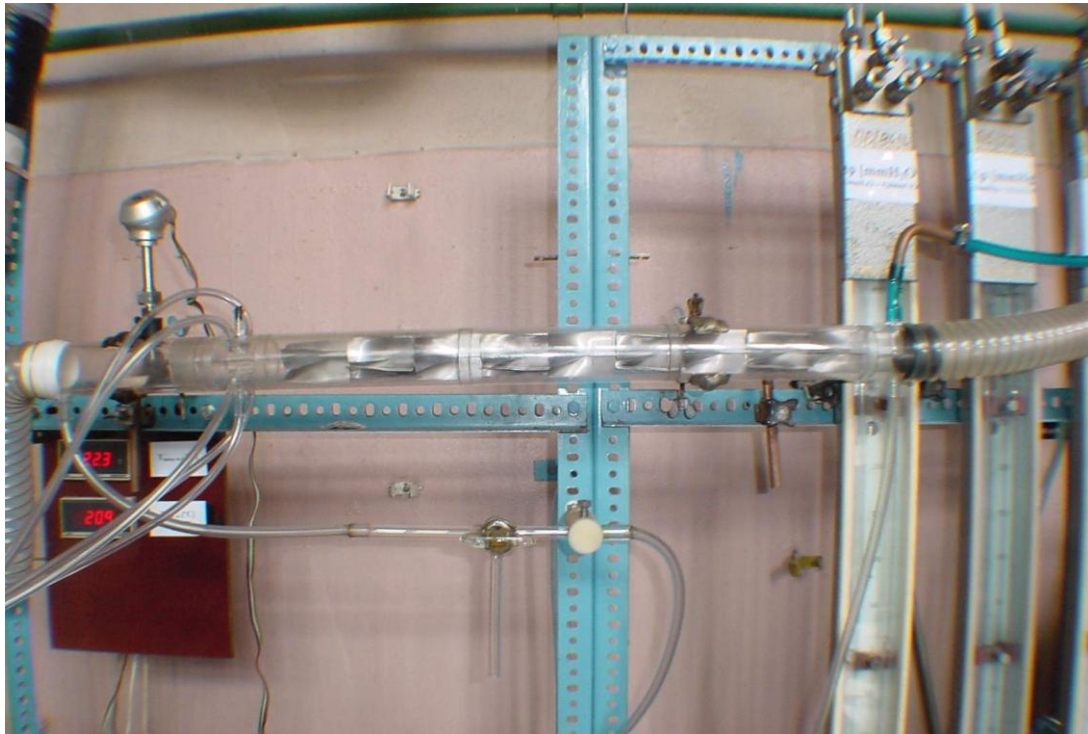
WPROWADZENIE

W wielu technologiach przemysłu chemicznego efektywny przebieg procesu jest uwarunkowany jednorodnym wymieszaniem strumieni gazowych. Jednym z przykładów może być proces katalitycznego spalania amoniaku w technologii produkcji kwasu azotowego. Niejednorodność mieszanki reakcyjnej powoduje zróżnicowanie lokalnych stopni przemiany, co objawia się lokalnym wzrostem temperatury, prowadzącym do przepalania katalitycznych siatek platynowo – rodowych oraz zaburzeniem składu gazów poreakcyjnych. Sytuacja taka może wystąpić w każdej reakcji katalitycznej [2÷6].

Przedmiotem pracy są badania procesu mieszania amoniaku i powietrza jako układu modelowego o znaczeniu utylitarnym.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie zarówno wpływu zmian parametrów procesowych na skuteczność mieszania strumieni gazowych w mieszalniku z zastosowaniem oryginalnego elementu mieszającego, jak i oporów przepływu. Badania przeprowadzono na instalacji laboratoryjnej, której schemat przedstawia rys.1.

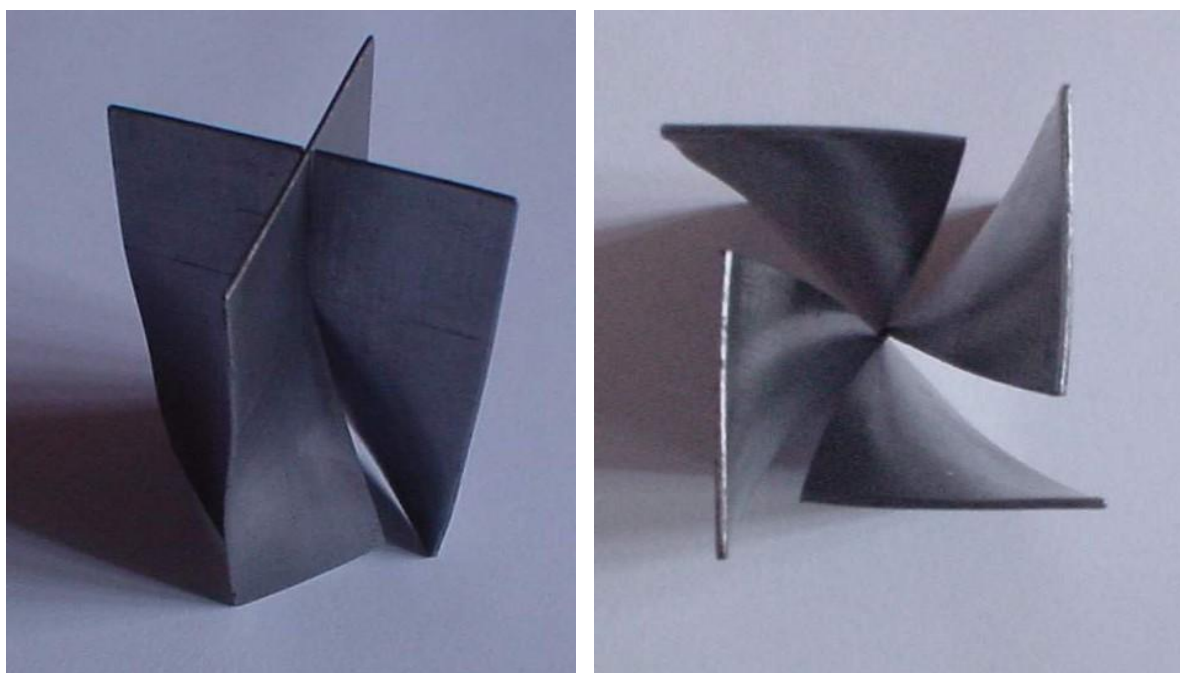


Rys.1. Schemat instalacji laboratoryjnej.

Mieszalnik statyczny (5), składa się z przewodu rurowego wykonanego ze szkła organicznego o średnicy wewnętrznej 0,04 m i długości dostosowanej do ilości

użytych elementów mieszających (4). Powietrze doprowadzane jest do głowicy mieszalnika (3) za pomocą wentylatora (9), którego wydajność reguluje się za pomocą zaworu kulowego (Z1). Amoniak z butli (11) podawany jest do głowicy mieszalnika (3) przez przewód (1). W końcowym odcinku tego przewodu umieszczone są wymienne dysze o średnicach $\langle 0,004; 0,005; 0,01 \rangle$ m, tak usytuowane, że końcówka dyszy styka się z pierwszym elementem mieszalnika, a więc strumień amoniaku już przy wylocie z dyszy rozdziela się na cztery strugi. Próbkę do oznaczania stężenia na wylocie z mieszalnika pobierane są poprzez 5 sond (6), o średnicy 0,004 m, umieszczonych w głowicy wylotowej (7). Końcowa mieszanina kierowana jest do płuczki (10), w której znajduje się 25% roztwór kwasu siarkowego, zobojętniający amoniak. Pozostały składnik mieszaniny (powietrze) odprowadzany jest do atmosfery.

Zasadniczym elementem aparatu są wkładki mieszające oryginalnej konstrukcji, przedstawione na rys.2 [1]. Pojedynczy element ma długość 0,06 m i wykonany jest z blachy o grubości 0,001 m. Wkładka posiada część krzyżową (1/3 długości) i część wyprofilowaną (2/3 długości). Elementy stykają się ze sobą z 45° kątem obrotu. Przepływające gazy ulegają na każdym elemencie podziałowi na 4 strumienie, które ulegają osiowemu przepływowi wirowemu. Taka budowa i układ elementów w mieszalniku powoduje, że całkowity efekt mieszania jest następstwem sekwencyjnego podziału i rekombinacji strumieni gazu.



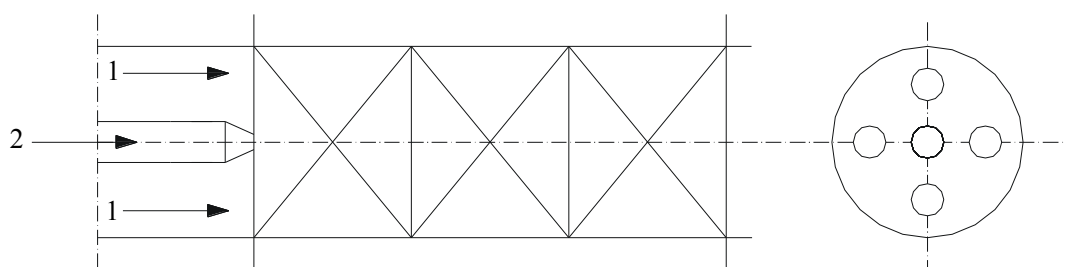
Rys.2. Wkładki mieszające zastosowane w badaniach, [1].

Badania przeprowadzono dla następującej zmienności parametrów:

- ilość elementów mieszających: $\langle 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 \rangle$,
- prędkość przepływu powietrza w mieszalniku: $\langle 5 \div 12 \rangle$ m/s,
- stężenie nominalne amoniaku w mieszaninie: $\langle 0,005 \div 0,0212 \rangle$ m³/m³,
- średnica dysz dolotowych: $\langle 0,004; 0,005; 0,01 \rangle$ m,
- prędkość amoniaku w dyszy: $\langle 2 \div 10 \rangle$ m/s.

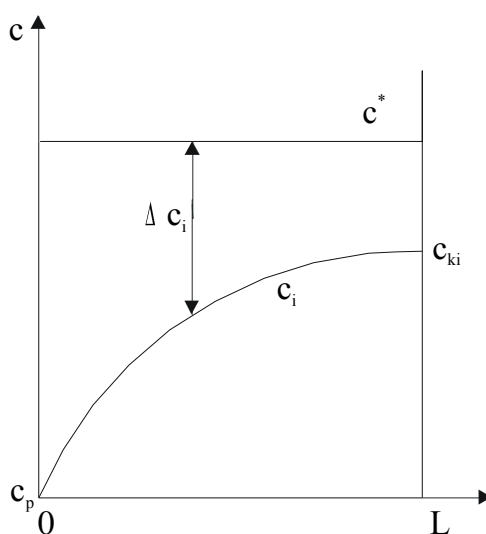
OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań opracowano według modelu procesu mieszania statycznego przyjętego za [1].



Rozkład sond do pomiaru stężeń końcowych

Strumień 2 ulega rozproszeniu w strudze 1 o stężeniu początkowym amoniaku c_p , która przy idealnym wymieszaniu osiągnie stężenie równowagowe c^* .



Rys.3. Ideowy proces mieszania.

Dla ustalonego procesu przepływowego mieszania gazów, opracowano równanie skuteczności procesu w postaci [5]:

$$\eta_p = \frac{c_k - c_p}{c^* - c_p} = 1 - e^{-(Mo^*)} \quad (1)$$

Zmodyfikowana liczba Margulesa (Mo^*) jest opisana funkcją kryterialną [5], oddającą podobieństwo procesu mieszania statycznego gazu w postaci:

$$Mo^* = 0,0656 \cdot Re_2^{0,36} \cdot Fr_2^{-0,164} \cdot \left(\frac{\dot{g}_1}{\dot{g}_2} \right)^{0,112} \cdot \left(\frac{n}{n_o} \right)^{0,625} \cdot \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{0,708} \quad (2)$$

Średni błąd względny tego równania wynosi $\delta = \pm 7,12\%$.

Równocześnie przeprowadzono badania oporów przepływu mediów przez mieszalnik, a uzyskane wyniki stanowiły podstawę opracowania funkcji parametrycznej w postaci równania modułowego [5]:

$$Eu_1 = 196,278 \cdot Re_2^{-0,573} \cdot \left(\frac{\dot{g}_1}{\dot{g}_2} \right)^{-0,611} \cdot \left(\frac{n}{n_o} \right)^{0,74} \cdot \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{-0,696} \quad (3).$$

Średni błąd względny równania wynosi $\delta = \pm 24,25 \%$.

Opracowane równania (2) i (3) obowiązują dla następującego zakresu zmienności liczby bezwymiarowych:

$$Re_2 \in \langle 295 \div 7575 \rangle;$$

$$Fr_2 \in \langle 1,3 \div 13071 \rangle;$$

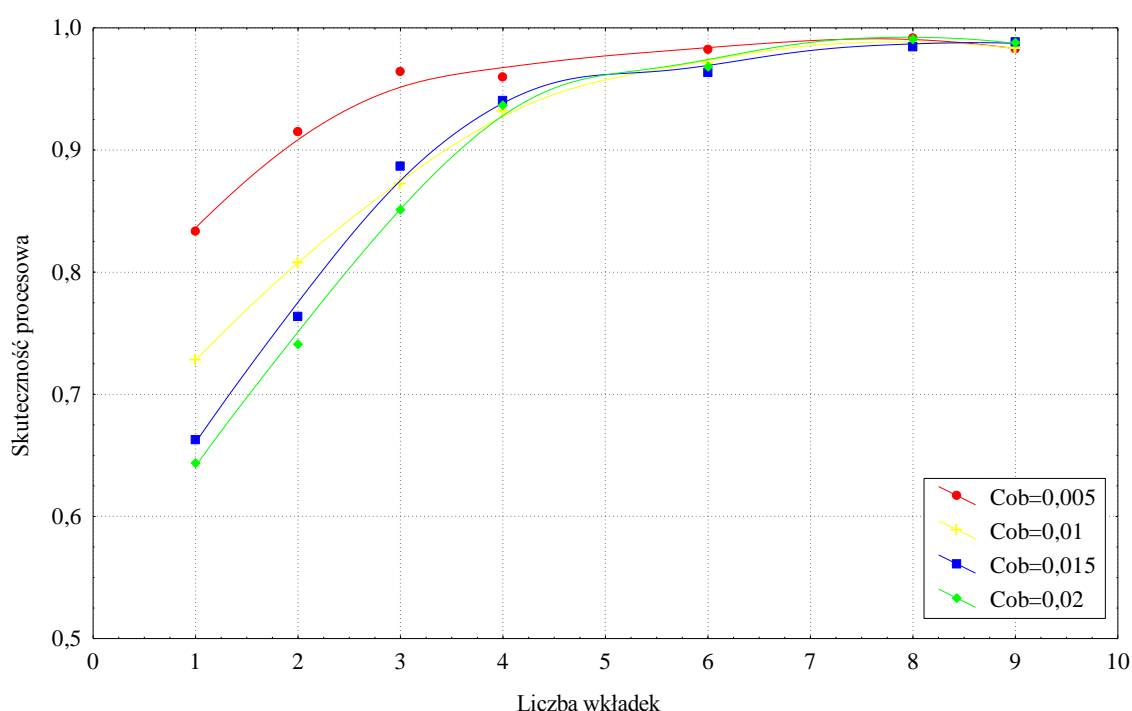
$$(\dot{g}_1/\dot{g}_2) \in \langle 0,8 \div 21,6 \rangle;$$

$$(d_1/d_2) \in \langle 4 \div 10 \rangle;$$

$$(n/n_o) \in \langle 0,5 \div 4,5 \rangle.$$

PODSUMOWANIE

Opracowane równania mają charakter projektowy, umożliwiając technologiczne i procesowe optymalizowanie pracy reaktorów przemysłowych i urządzeń stosowanych w ochronie środowiska, zaś przebadany proces rzeczywisty, dotyczący uzyskiwania jednorodnej mieszaniny gazowej powietrze – amoniak jest procesem o istotnym znaczeniu praktycznym w technologii produkcji kwasu azotowego.



Rys.4. Wpływ liczby elementów mieszających na skuteczność procesową mieszania dla nominalnych wartości stężeń amoniaku.

SPIS OZNACZEŃ

- c^* - stężenie równowagowe [m^3/m^3],
- c - stężenie amoniaku w mieszaninie [m^3/m^3],
- d_1 - średnica rurowego mieszalnika statycznego [m],
- d_2 - średnica dyszy [m],
- F - powierzchnia przekroju mieszalnika [m^2],
- f_2 - powierzchnia przekroju dyszy wylotowej [m^2],
- g - przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
- \dot{g} - prędkość masowa [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$],

n - liczba elementów mieszających,
 $n_o = 2$ - liczba elementów mieszających stanowiących układ podstawowy,
 Δp - spadek ciśnienia [Pa],
 w - prędkość przepływu [m/s],
 η_p - skuteczność procesowa,
 η - dynamiczny współczynnik lepkości [Pa·s],
 ρ - gęstość [kg/m³],

Indeksy

1 - dotyczy powietrza, p - początkowy
 2 - dotyczy amoniaku, k - końcowy

Liczby bezwymiarowe

$Mo^* = \left(\frac{k \cdot F}{w_2 \cdot f_2} \right)$ - zmodyfikowana liczba Margulesa [5],

$Eu_1 = \frac{\Delta p}{w_1^2 \cdot \rho_1}$ - liczba Eulera,

$Re_2 = \frac{w_2 d_2 \rho_2}{\eta_2}$ - liczba Reynoldsa dla strumienia amoniaku

$Fr_2 = \frac{w_2^2}{d_2 g}$ - liczba Froude'a dla strumienia amoniaku

(η_2/η_1) - moduł lepkości,

(g_1/g_2) - moduł prędkości masowych,

(d_1/d_2) - moduł geometryczny.

LITERATURA

1. J. Pikoń, J. Hehlmann: Patent UPRP nr105096.
2. A. Selecki, L. Gradoń: Podstawowe procesy przemysłu chemicznego, W-wa, WNT, 1985
3. F. Stręk: Mieszanie i mieszalniki, Warszawa, WNT, 1981.
4. J. Freyer, A. Tomaszewski: Inż. i Ap. Chem.
5. J. Hehlmann: Inż. i Ap. Chem. 2-3, (1991). 19, 6, (1976).
6. K. Werner, A. Cybulski: Inż. i Ap. Chem. 13, 4, (1982)