

Bolesław PRZYBYLIŃSKI

e-mail: przyb@utp.edu.pl

Instytut Eksploatacji Maszyn i Transportu, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Rozwłókniacz odpadów produkcji płyt włókno-cementowych**Wstęp**

Włókno-cementowe prefabrykaty są od wielu lat doskonałym materiałem budowlanym powszechnie stosowanym szczególnie w rolnictwie. Zastąpiły bardzo popularny w XX wieku eternit. Płyty faliste *Eurofala*, płytki *Newland*, *Zeeland*, płyty płaskie i deski ze względu na szereg zalet są bardzo dobrym materiałem stosowanym do budowy lub renowacji dachów, elewacji, ścian zewnętrznych i wewnętrznych.

Szczególnie do tych zastosowań nadaje się włókno-cementowa płyta falista o różnej kolorystyce. Od 1998 roku największym producentem takich płyt jest firma *Cembrit S.A.* (poprzednia nazwa *Izopol*) z Trzemeszna. Uruchomiła ona w 2009 roku najnowocześniejszą w Europie i najbardziej zaawansowaną technicznie linię na świecie do produkcji tych płyt [1]. Kilkudziesięciometrowej długości linia produkcyjna zakupiona została we Włoszech.

Celem niniejszej pracy jest zaprojektowanie i wykonanie rozwłókniacza jako podstawowego elementu linii recyrkulacji - odzysku odpadów z produkcji płyt.

Rozwłóknianie odpadów z produkcji płyt włókno-cementowych

Jedną z ostatnich operacji na linii produkcyjnej płyt włókno-cementowych jest ich formatowanie, czyli poprzeczne w stosunku do kierunku przesuwu wstęgi płyty falistej cięcie zgodnie z wymaganą długością płyty oraz cięcie wzdłużne obrzeży płyty. Powstające na stanowisku cięcia płyt odpady lub całe płyty niespełniające wymagań jakościowych kierowane są do maszyny zwanej rozwłókniaczem (w przemyśle celulozowym hydropulperem [2, 3]).

Ścinki lub płyty kierowane do rozwłókniacza mają mokrą formę zestaloną, ale jeszcze nie stwardniałą. Masa odpadów wpadających do rozwłókniacza zmienia się w czasie od 4 kg/s, jeśli odpadami są tylko ścinki do 40 kg/s w przypadku potrzeby rozwłóknienia płyty o długości 3900 mm, szerokości 1250 mm i grubości 7 mm (masa jednej takiej płyty w stanie wilgotnym to około 170 kg). Do rozwłókniacza podawana jest w odpowiedniej ilości również woda i w wyniku mieszania mechanicznego następuje rozwłóknienie odpadów. Po rozwłóknieniu zawiesina ma stężenie odpowiednie do dalszej obróbki. Najważniejszym zadaniem rozwłókniacza jest otrzymanie mieszaniny (zawiesiny) w miarę jednorodnej, w której fazą rozpraszającą jest woda, a fazą rozpraszaną włókna celulozowe, mikrokrzemionka, cement oraz kreda.

Mieszanie układów wieloskładnikowych jest procesem, w którym charakterystyka składników, typ urządzenia mieszającego oraz warunki prowadzenia procesu mają istotny wpływ na jego przebieg. Efekt procesu obserwowany jest przez lepsze zmieszanie lub wtórną segregację składników. Jak wykazują badania, istotny wpływ na przebieg procesu mieszania wywierają proporcje udziałów masowych lub objętościowych w mieszaninie.

Z procesem mieszania wieloskładnikowych, niejednorodnych układów ziarnistych mamy do czynienia w wielu gałęziach przemysłu, w tym w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, kosmetycznym czy rolniczym. Do opisu praw rządzącym tym procesem może posłużyć szeroko stosowana w statystyce matematycznej analiza skupień [4].

Obrazem jakości stanu mieszaniny jest rozkład koncentracji poszczególnych składników. W wypadku mieszania komponentów różniących się w dużym stopniu własnościami fizycznymi, tj. gęstością i średnią wielkością, niemal zawsze w trakcie procesu mieszania występuje segregacja i przez to nigdy nie osiąga się stanu tzw. nieporządku doskonałego. Segregacja polega na tym, że ziarna drobne, które początkowo znajdują się w górnej części, przechodzą w czasie procesu mieszania do

dolnej części, w której już pozostają, mimo że proces nie zostaje przerywany. Nazywa się to efektem sitowym lub zjawiskiem perkolacji [5].

Projektowanie rozwłókniacza**Dane wejściowe do projektowania**

Podstawowymi danymi wejściowymi do projektu rozwłókniacza były: wymagana gęstość medium (woda, cement, kreda, celuloza, mikrokrzemionka) w rozwłókniaczu 1,15 g/cm³, objętość medium 2 m³, temperatura pracy równa temperaturze otoczenia, maksymalna wydajność 45 m³/h, stężenie SM 21%. Ponadto zadanie należało wykonać z uwzględnieniem założeń przestrzennych wynikających z dokumentacji projektowej linii wytwarzania płyt włókno-cementowych opracowanej przez *Poyry Forest Industry Sp. z o.o.* z Łodzi, a w tym z narzuconą geometrią rozwłókniacza – zbiornik pionowy walcowo-stożkowy o całkowitej wysokości 1,4 m, średnicy walca 1,8 m i wysokości 1,1 m, dno płaskie, materiał zbiornika i wszystkich elementów – stal 304L.

Realizacja założeń wymagała przeprowadzenia analizy znanych rozwiązań mieszalników, wyboru na tej podstawie najkorzystniejszego, własnego rozwiązania technicznego oraz po wykonaniu odpowiednich obliczeń wykonania dokumentacji konstrukcyjnej.

Charakterystyka warunków pracy rozwłókniacza

O przebiegu i efektach mieszania w dużej mierze decyduje rodzaj zastosowanego mieszadła, jego konstrukcja oraz usytuowanie w mieszalniku, a także jego geometria.

Dla układów wielofazowych do rozpraszania ciała stałego stosuje się mieszadła wysokoobrotowe, które zależnie od swojej konstrukcji generują w mieszalniku różne strumienie cieczy [6]. Obracające się w cieczy mieszadło wprawia ją w ruch wirowy, stanowiący strumień cyrkulacji pierwotnej. Siła odśrodkowa działająca na wirującą ciecz wywołuje cyrkulację wtórną, mającą decydujące znaczenie dla przebiegu mieszania. Ponieważ mieszanie w układach wielofazowych jest na ogół przepływem burzliwym, w zbiornikach montuje się na ścianie wewnętrznej pionowe przegrody o szerokości $B = (0,10 \div 0,12)d$ niwelujące cyrkulację pierwotną, a wzmacniające wtórną.

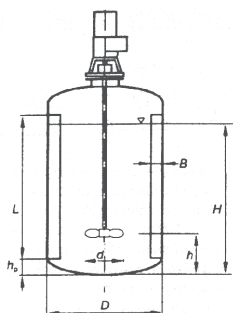
W układach ciecz – ciało stałe wymagających uniesienia cząstek ciała stałego z dna zbiornika i zawieszenia ich w cieczy, przy niewielkiej mocy, najsilniejszą cyrkulację daje przepływ osiowy, który wytwarza ją mieszadła śmigłowe. Pracują z prędkościami obwodowymi końców łopatek $w_m = 3 \div 20$ m/s, a ich średnice d wynoszą przeważnie $1/4 \div 1/3$ średnicy D wnętrza zbiornika.

Klasyczne mieszadła śmigłowe, wytwarzane metodą odlewania o postaci śruby okrętowej, mają zazwyczaj trzy łopatki. Ze względu na wysoką cenę tych mieszadeł obecnie coraz częściej mieszadła wykonuje się jako spawane lub skręcane o różnych kształtach [7].

Podstawowymi parametrami procesu mieszania są:

- *stopień zmieszania* jako stosunek rozprzodzenia wzajemnego składników odniesiony do stanu rozprzodzenia idealnego, który zostaje osiągnięty po doskonałym wymieszaniu układu,
- *intensywność mieszania* (częstość obrotowa mieszadła n , prędkość obwodowa końca łopatek w_m , zastępcza liczba *Reynoldsa* dla procesów mieszania, moc mieszania liczona na jednostkę objętości),
- *efektywność mieszania* rozumiana jako nakład energetyczny potrzebny do osiągnięcia założonego celu technologicznego.

Literatura procesu mieszania [2, 6, 9] wykazuje, z najkorzystniejsze warunki mieszania uzyskuje się w mieszalnikach pionowych z umieszczonymi wewnątrz (2÷4) przegrodami. Ogólną geometrię mieszalnika przedstawiono na rys. 1. Za mieszalnik o standardowej geometrii uważa się taki, w którym: $d = D/3$, $H = D$, $h = D/3$, $B = d/10$, $d = (0, 25 \div 0,5)D$, $H = (0, 75 \div 5,5)D$.



Rys. 1. Ogólna geometria mieszalnika

Jedną z najważniejszych wielkości rzutujących na przebieg mieszania jest moc mieszania. Jej znajomość jest niezbędna do obliczeń inżynierskich procesów zachodzących w mieszalniku, doboru rodzaju napędu i wymiarowania elementów konstrukcyjnych przenoszących ruch obrotowy z silnika na mieszadło.

Moc mieszania przedstawia się w postaci bezwymiarowej, wprowadzając liczbę mocy Newtona Ne , definiowaną jako:

$$Ne = \frac{P}{n^3 d^5 \rho} \quad (1)$$

gdzie:

P – moc mieszania [W], d – średnica mieszadła [m],
 n – częstość obrotów mieszadła [s⁻¹], ρ – gęstość cieczy [kg/m³].

Liczba mocy Newtona jest funkcją liczby Reynoldsa Re_m :

$$Re_m = \frac{nd^2 \rho}{\eta} \quad (2)$$

gdzie: η – dynamiczny współczynnik lepkości zawiesiny [Pa·s].

Współczynnik lepkości zawiesiny wyznaczyć można, w oparciu o różne wzory, w zależności od stężenia zawiesiny:

$$\eta = \eta_c [1 + 2,5 \Phi_r + 10,05 \Phi_r^2 + 0,00273 \exp(16,6 \Phi_r)] \quad (3)$$

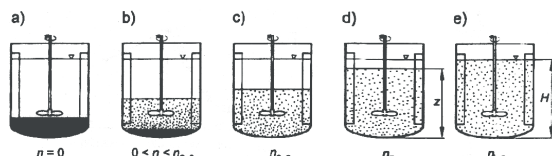
gdzie:

Φ_r – udział objętościowy cząstek fazy rozproszonej w cieczy,
 η_c – dynamiczny współczynnik lepkości cieczy (wody) [Pa·s].

Zależności $Ne = f(Re_m)$ stanowią charakterystyki mocy poszczególnych mieszadeł i przedstawiane są w literaturze w postaci wykresów [2, 6, 9].

Stopień rozproszenia cząstek ciała stałego w mieszanej cieczy (Rys. 2) zależy od częstości obrotów mieszadła n oraz geometrii rozwałkniacza. Przy częstości obrotów n_{c-s} mieszadła, zwaną minimalną częstością obrotów, większość cząstek znajduje się już w ruchu, a dalsze jej zwiększanie ($n_z > n_{c-s}$) powoduje unoszenie cząstek do góry na większą wysokość. Przy częstości obrotów n_{j-s} uzyskuje się jednorodną zawiesinę ciała stałego w cieczy.

Tak wysoki stopień rozproszenia układu nie jest w rozwałkniaczu wymagany, gdyż i tak masa włókno-cementowa kierowana jest na początek linii produkcyjnej, gdzie nastąpi właściwe jej przygotowanie. W rozwałkniaczu wystarczy uzyskać zawiesinę całkowitą lub niejednorodną, bez zalegania na dnie cząstek stałych, a więc zbytnie zwiększanie częstości obrotów n_{c-s} nie jest uzasadnione, gdyż towarzyszy temu szybki wzrost mocy mieszania.

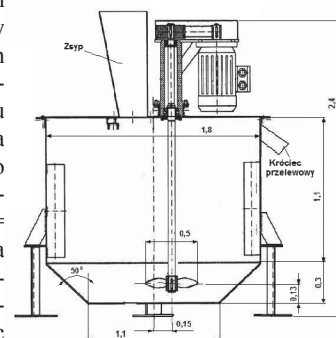


Rys. 2. Charakterystyczne stadia rozpraszania ciał stałego w mieszanej cieczy [2]

Minimalna częstość obrotów mieszadła n_{c-s} wymagana do wytworzenia zawiesiny o wymaganym charakterze przepływu zależy od konstrukcji mieszadła, jego wymiarów i usytuowania w zbiorniku, a także lepkości cieczy. Częstości obrotów mieszadeł, przy których powstaje całkowita zawiesina, maleje wraz ze zwiększaniem średnicy mieszadła, ale jednocześnie ze wzrostem średnicy mieszadła szybko rośnie moc mieszania. Biorąc to pod uwagę zwykle stosuje się mieszadła o średnicy $d = (0,33 \div 0,4)D$ [2, 6]. Przy dużych średnicach mieszadeł, na wytworzenie całkowitej zawiesiny, wpływ odległości mieszadła od dna zbiornika jest niewielki, przy małych – przeciwnie. Dlatego też stosując mieszadła o małych średnicach, należy je umieszczać możliwie blisko dna mieszalnika. Przy zalecanych średnicach mieszadeł podanych wyżej niezależnie od rodzaju mieszadła oraz kształtu dna zbiornika, najczęściej przyjmuje się $h = (0,3 \div 0,8)$

d . Dla projektowanego rozwałkniacza przyjęto średnicę mieszadła śmigłowego $d = 0,5$ m (tj. $0,28D$), natomiast odległość od dna ustalono na $h = 0,13$ m (tj. $0,26d$). Na przebieg wytwarzania zawiesiny ciała stałego w cieczy ma wpływ także geometria zbiornika, przede wszystkim kształt jego dna oraz rodzaj, wymiary i usytuowanie w nim przegród. Najkorzystniejsze mieszanie, przy niedużych częstościach i niezależnie od rodzaju mieszadła, występuje w zbiornikach z kulistym dnem. Większe częstości są wymagane w mieszalnikach z dnem stożkowym i wypukłym elipsoidalnym. Zgodnie z danymi literaturowymi zdecydowanie najgorszym rozwiązaniem jest zawsze mieszalnik walcowy z płaskim dnem [2, 6]. Na płaskim dnie cząstki ciała stałego zalegają na jego obwodzie, w pierścieniowej przestrzeni przy ścianie oraz w środku. Najdłużej pozostają w okolicach połączenia dna i ścianki poboczniczy. Przeciwdziała się temu poprzez umieszczenie w tym miejscu pierścieniowego profilowanego elementu. Gromadzeniu się ziaren ciała stałego na środku dna można z kolei zapobiegać, umieszczając pod mieszadłem element w kształcie stożka [2].

W celu uniknięcia zalegania ziaren ciał stałych w rozwałkniaczu przy połączeniu dna z pobocznica, a tym samym teżeniu mieszanek włókno-cementowej i niebezpieczeństwu „zabetonowania” śmigła mieszadła w zbiorniku, płaskie dno połączone z częścią walcową pobocznica stożkową o kącie rozwarcia stożka $\alpha = 110^\circ$. Gromadzenie się ziaren ciała stałego pod mieszadłem wyeliminowano poprzez umieszczenie mieszadła ekscentrycznie zachowując bardzo małą odległość śmigła od dna ($h = 0,13$ m). Wymiary geometryczne rozwałkniacza przedstawiono na rys. 3, a niektóre dane techniczne poniżej:



Rys. 3. Podstawowe wymiary geometryczne rozwałkniacza

– maksymalna temperatura pracy 45–50°C,

- poziom emisji hałasu nie przekracza 70 dB(A),
- prędkość obrotowa mieszadła 290 obr./min.,
- obroty silnika 970 obr./min.,
- całkowita moc zainstalowana 11 kW,
- masa własna urządzenia 1500 kg.

Wnioski i podsumowanie

Uzyskanie w wyniku mieszania w pełni jednorodnej mieszaniny wielofazowej jest bardzo trudne i wymaga dużych nakładów energetycznych, niewspółmiernych do uzyskanych efektów. W przypadku linii produkcyjnej płyt włókno-cementowych jednorodność mieszaniny wymagana jest na początku linii produkcyjnej, natomiast nie jest konieczna dla odpadów produkcyjnych.

Głównym zadaniem linii recyrkulacji jest rozwałknienie w dużym stopniu zestalonych fragmentów płyt do postaci bezgrudkowej. Realizuje to rozwałkniacz, którego proces projektowania przedstawiono w niniejszej pracy.

W projektowaniu rozwałkniacza wykorzystano zalecenia literaturowe, wymagania inwestora oraz przemyslenia własne konstruktora. Jak wykazuje dotychczasowa, kilkumiesięczna, niezawodna praca urządzenia podjęte zadanie zostało wykonane pomyślnie.

LITERATURA

- [1] Cembrit S.A. – nowa linia produkcyjna (20.02.2010): <http://www.dachowy.pl/node/1381/print>
- [2] J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych. WNT, Warszawa 2004.
- [3] R. Leroch: FARMER nr 17 (2008).
- [4] A. Andrzejewski: EKOPARTNER 11 (2008).
- [5] J. Królczyk, M. Tukiendorf: Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria 4, nr 2, 21 (2005).
- [6] F. Strępek: Mieszanie i mieszalniki. WNT, Warszawa 1981.
- [7] <http://mieszanie.republika.pl/index1.html> (21.03.2010)
- [8] Produkty (21.03.2010) <http://www.euronit.pl/produkty/pr/products.html>
- [9] P. Wesolowski, W. Szafarski, J. Borowski: Aparatura Chemiczna i Procesowa. Część II. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.