

Temat ćwiczenia:

Badanie procesów rozdzielania zawiesin w procesach recyklingu metodami fizycznymi – sedimentacja.

1. Podstawy teoretyczne

W analizie procesów przetwarzania odpadów wyróżnić należy trzy grupy technologii, tj. technologie mechaniczne, chemiczne oraz biologiczne, a także ich wzajemne powiązania (np. mechaniczno-chemiczne, biochemiczne, biologiczno-mechaniczne itp.). Do grupy technologii mechanicznych zaliczyć należy pozyskiwanie odpadów, ich transport zarówno wewnętrzny, jak i zewnętrzny, pakowanie, rozdrabnianie, segregację, przesiewanie, separację, belowanie i peletowanie.

Poznanie procesu sedimentacji nie może nastąpić bez poznania układów zwanych mieszaninami.

Mieszanina jest układem złożonym z co najmniej dwóch substancji, który spełnia następujące warunki:

- substancje składowe występują w niej w dowolnych proporcjach ilościowych,
- substancje składowe zachowują swoje właściwości choćby częściowo,
- składniki mieszaniny możemy rozdzielić metodami fizycznymi.

Mieszaniny dzielimy na jednorodne fizycznie (homogeniczne) i niejednorodne fizycznie (heterogeniczne).

Mieszaninę jednorodną fizycznie nazywamy roztworem. Każda próbka makroskopowa takiej mieszaniny, bez względu na miejsce z którego została pobrana, ma ten sam skład i te same właściwości fizyczne tj. gęstość, stan skupienia, barwę, zapach. Fazę rozpraszającą nazywa się rozpuszczalnikiem, fazę rozproszoną – substancją rozpuszczoną.

Mieszaninę niejednorodną nazywamy układem dyspersyjnym. Jest to układ fizycznie niejednorodny złożony z fazy rozpraszającej (ciągłej, dyspersyjnej) i fazy rozproszonej (zdyspergowanej). Obie fazy mogą występować w stanie stałym, ciekłym lub gazowym. Mogą one być nawet jednorodne chemicznie, np. parę wodną z kropelkami wody traktuje się jako mieszaninę niejednorodną.

Mieszaniny niejednorodne to takie, w których gołym okiem lub za pomocą mikroskopu czy lupy można wyróżnić przynajmniej jeden składnik.

Nomenklatura oraz stan skupienia składników i samych mieszanin niejednorodnych fazowo podana jest w tabeli 1.

Tab. 1. Mieszaniny niejednorodne fazowo

Faza rozproszona	Faza ciągła	Mieszanina
<i>ciało stałe</i>	<i>ciecz</i>	<i>zawiesina (suspensja)</i>
<i>ciecz</i>	<i>ciecz</i>	<i>emulsja</i>
<i>gaz</i>	<i>ciecz</i>	<i>piana</i>
ciało stałe	gaz	pył, dym
ciecz	gaz	mgła
ciecz	ciało stałe	pasta

Zawiesina jest układem dwufazowym składającym się z cząsteczek ciała stałego rozproszonych w cieczy. Zawartość ciała stałego w zawiesinie (stężenie ciała stałego) może być różna.

Ciekłe mieszaniny niejednorodne (wyróżnione w tabeli 1) możemy rozdzielać poprzez:

- filtrację – oddzielanie ciał stałych od cieczy po przepuszczeniu mieszaniny przez przegrodę porowatą (filtr),
- wirowanie – rozdzielanie z wykorzystaniem różnicy gęstości faz i siły odśrodkowej,
- sedymentację – opadanie cząstek ciała stałego w cieczy pod wpływem sił ciężkości i różnicy gęstości faz,
- dekantację – zlewanie cieczy znad osadu, który pod wpływem sił grawitacji opadł na dno,
- desaturację – wydzielanie gazu z cieczy pod wpływem zmian temperatury.

Sedymentacją nazywamy opadanie pod wpływem sił ciężkości, cząstek ciała stałego rozproszonych w cieczy. Sedymentacja wywołana jest różnicą gęstości fazy stałej (rozproszonej) i ośrodka dyspersyjnego (rozpraszającego). Jest to najtańsza operacja rozdzielania ciała stałego od cieczy jednakże długotrwała. Różnica gęstości ciała stałego i cieczy jest warunkiem koniecznym zaistnienia procesu.

Na cząstkę zawieszoną w ośrodku lepkiem działają siły: ciężkości, wyporu oraz oporu ośrodka.

Na ruch każdej cząstki w zawiesinie wpływa obecność opadających cząstek

sąsiednich. Prędkość opadania cząstek zależy więc od stężenia zawiesiny. Tempo osadzania cząstek zależy głównie od wielkości, kształtu i gęstości, jak również od gęstości fazy ciekłej. Cząstki, osadzając się, przyspieszają do momentu, aż siła tarcia o ciecz na ich powierzchni zrówna się z ciężarem cząstki w cieczy. Dla cząstki osadzającej się w cieczy prędkość swobodnego jej opadania v_0 wyznaczyć można z zależności (1):

$$v_0 = \frac{d^2 \cdot g(\rho - \rho_c)}{18\eta_c} \quad [1]$$

gdzie:

v_0 – szybkość opadania, m/s

g – przyspieszenie grawitacyjne, 9,80665 m/s²

ρ – gęstość ciała stałego, kg/m³

ρ_c – gęstość cieczy, kg/m³

η_c – lepkość dynamiczna cieczy, kg/m·s

d – średnica cząstki, m,

przy czym równanie to słuszne jest dla $d < 100 \mu\text{m}$ i liczby $Re \leq 0,2$.

W przypadku, gdy: $Re = \frac{v_0 \cdot d \cdot \rho_c}{\eta_c} > 0,2$ prędkość tę wyznacza się na podstawie liczby

Archimedesesa $Ar = \frac{g \cdot d^3(\rho - \rho_c) \cdot \rho_c}{\eta_c^2}$ uwzględniając, że: $v_0 = \frac{Re \cdot \eta_c}{\rho_c \cdot d}$ a wartość Re

określona jest zależnościami: dla $Ar < 84 \cdot 10^3$; $Re = 0,0719(Ar)^{0,7143}$ oraz dla $Ar > 84 \cdot 10^3$; $Re = 1,71(Ar)^{0,5}$

Ze względu na warunki hydrauliczne wyróżniamy:

- opadanie swobodne,
- opadanie zakłócone,
- opadanie strefowe.

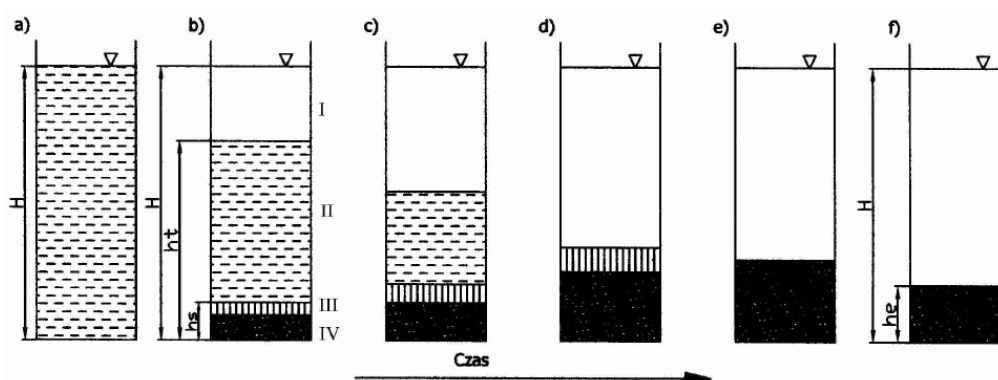
Opadanie swobodne zachodzi, gdy liczba cząstek jest niewielka. W takim przypadku każda cząstka opada oddzielnie nie oddziałując na sąsiednie i nie zmieniając właściwości fizycznych. Opadanie swobodne zachodzi najczęściej dla cząstek ziarnistych.

Opadanie zakłócone zachodzi dla zawiesin o dużym stężeniu. W tym przypadku cząstki opadające oddziałują na siebie w trakcie opadania. Łączą się w większe konglomeraty i zaczynają opadać jako masa i mówimy tutaj o opadaniu zbioru cząstek a nie cząstek pojedynczych. W trakcie takiego opadania tworzą się wiry, które

powodują wypychanie mniejszych cząstek ku górze.

Opadanie strefowe zachodzi dla zawiesin kłaczkujących, bądź dla zawiesin niekłaczkujących, ale o bardzo dużym stężeniu. Możemy tutaj wyróżnić poszczególne strefy opadania w osadniku. I tak, patrząc od góry osadnika, obserwujemy najpierw warstwę klarownej cieczy. Kolejną jest warstwa przejściowa o stężeniu objętościowym równym stężeniu początkowemu zawiesiny. Na samym dnie osadnika możemy zaobserwować warstwę skompresowanego osadu (zjawisko konsolidacji lub inaczej zagęszczania osadu w dolnej części osadnika). Warstwa ta powstaje, gdyż napór słupa cieczy i osadu znajdującego się nad nią jest tak duży, że powoduje wyciskanie wody z przestrzeni wewnątrz kłaczków zawiesiny. Na rysunku 1 przedstawiono widok kolumny sedymentacyjnej z podziałem na strefy.

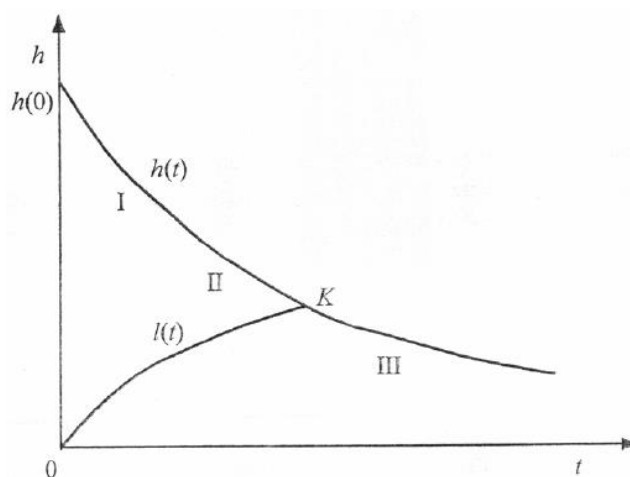
Należy podkreślić, że poszczególne strefy opadania nie są łatwe do zaobserwowania.



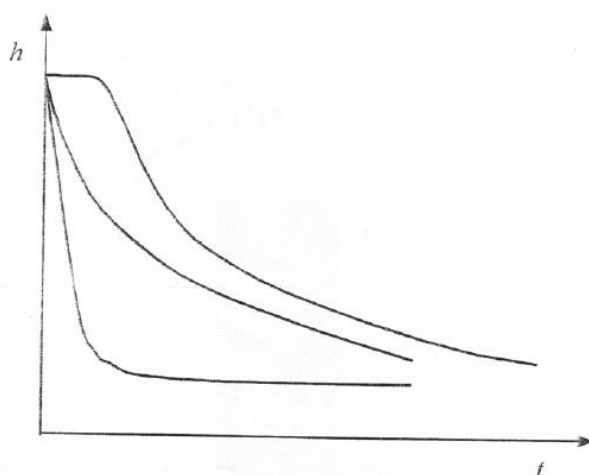
Rys. 1. Przebieg testu sedymentacyjnego

Przedstawiona na rysunku 2 krzywa $h(t)$ nosi nazwę krzywej sedymentacji zawiesiny, natomiast krzywa $l(t)$ nazywa się krzywą narastania osadu. Na krzywej sedymentacji można wyróżnić trzy charakterystyczne części: część prostoliniową i dwie części krzywoliniowe, rozdzielone punktem przecięcia krzywej sedymentacji z krzywą narastania osadu. Punkt ten nosi nazwę punktu krytycznego krzywej sedymentacji. Część prostoliniowa krzywej sedymentacji odzwierciedla fakt występowania w cylindrze strefy zawiesiny o stałym stężeniu. Pierwsza część krzywoliniowa wskazuje na występowanie strefy zawiesiny o zmiennym stężeniu, a druga część krzywoliniowa krzywej sedymentacji przedstawia zagęszczenie osadu do stężenia maksymalnego, któremu odpowiada wysokość h_{min} .

W zależności od rodzaju zawiesiny krzywe sedymentacji mogą mieć również inny kształt (rysunek 3).



Rys. 2. Krzywa sedymentacji i linia narastania osadu; $h(t)$ – krzywa sedymentacji zawiesiny, $l(t)$ – krzywa narastania osadu, K – punkt krytyczny krzywej sedymentacji



Rys. 3. Kształty krzywej sedymentacji

Sedymentacja zawiesin znajduje szerokie zastosowanie w technologiach wielu gałęzi przemysłu oraz w ochronie środowiska naturalnego. Chodzi tu zwłaszcza o zakłady przemysłowe uciążliwe dla środowiska, jak cukrownie, przetwórnice ziemniaków, zakłady mięsne i drobiarskie. Ponadto tradycyjne osadniki pracują w górniczych zakładach przeróbki kopalin oraz w komunalnych oczyszczalniach ścieków.

W technologiach przemysłowych, również technologiach stosowanych w recyklingu, bardzo często realizowaną operacją jest rozdzielanie mieszanin. Jedną z takich operacji jest sedymentacja. Zazwyczaj niemożliwe jest powtórne wykorzystanie czy przetworzenie zużytych materiałów bez wcześniejszego ich wydzielenia z mieszaniny bądź oczyszczenia np. z zanieczyszczeń stałych.

Przykładami ciekłych mieszanin, które poddaje się recyklingowi są:

- pochodzące z rynku motoryzacyjnego: oleje silnikowe i przekładniowe, płyny chłodnicze i hamulcowe;
- pochodzące z przemysłu maszynowego: oleje hydrauliczne, przekładniowe, maszynowe, sprężarkowe, transformatorowe oraz grzewcze;
- pochodzące z obróbki metali smarne środki chłodzące (emulsje olejów mineralnych, emulsje półsyntetyczne i syntetyczne).

Wszystkie te substancje albo same stanowią mieszaniny niejednorodne albo stają się nimi na skutek np. zanieczyszczenia różnego rodzaju cieczami czy ciałami stałymi (piasek, opiłki metali itp.).

Jedną z metod wykorzystania zużytych olejów takich jak oleje silnikowe, przekładniowe, hydrauliczne jest powtórna rafinacja. Operacją przygotowującą do tego procesu może być sedymentacja, mająca na celu usunięcie ze zużytego oleju zanieczyszczeń stałych takich jak np. opiłki metalu.

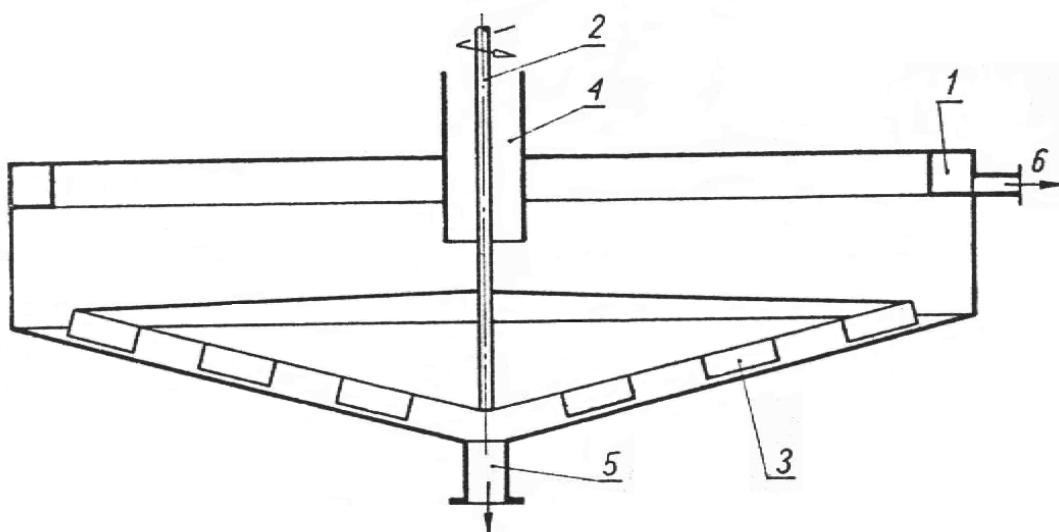
Kolejnym przykładem sedymentacji jest separacja w cieczach ciężkich, umożliwiającą rozdzielenie mieszanin ciał stałych umieszczonych w cieczy o odpowiednio dobranej gęstości.

Akumulatory poddawane procesowi recyklingu są na wstępie rozdrabniane i osuszane z elektrolitu. Następnie pokruszone kawałki akumulatorów są poddawane segregacji w zawieszynie wody z magnetytem, na frakcje metalową i organiczną. Wtórna segregacja frakcji organicznej umożliwia wydzielenie polipropylenu, który jest rozdrabniany na granulaty i używany do ponownego przerobu.

Proces sedymentacji jest także jednym z podstawowych procesów wykorzystywanych w oczyszczaniu ścieków do usuwania zawieszin opadających.

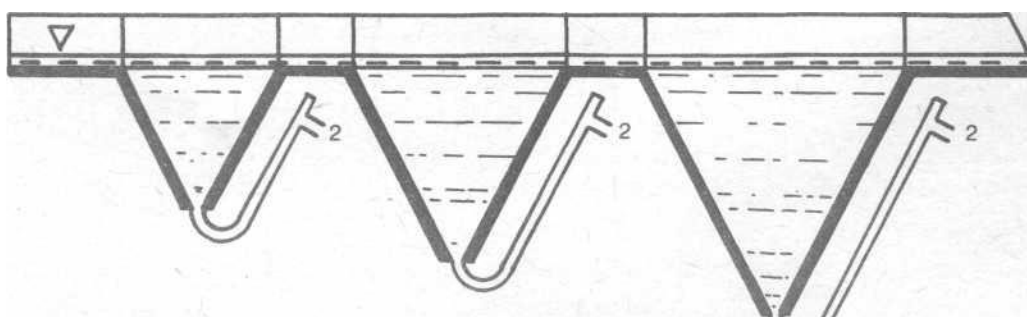
Na drodze sedymentacji zawiesziny rozdziela się w urządzeniach zwanych odstojunikami lub dekantatorami. Pracują one w sposób okresowy, półciągły i ciągły.

W przemyśle stosuje się różne typy odstojuników, do najczęściej spotykanych należy odstojunik Dorra (rysunek 4). Jest to aparat o działaniu ciągłym, cylindryczny zbiornik o dużym przekroju poprzecznym i o małej wysokości. Ciecz z zawiesziną doprowadza się w sposób ciągły rurą 2 do zasilacza 3, z którego spływa on do odstojunika. Wzdłuż obwodu zbiornika biegnie rynna, do której poprzez krawędź przelewowa przelewa się ciecz klarowna. Wzdłuż osi pionowej aparatu umieszczony jest wał 7, którego dolna część zaopatrzona jest w grabie mieszające 8 nachylone pod pewnym kątem w celu przesuwania w czasie obrotu osadu do otworu znajdującego się na dnie zbiornika 6. Dno zbiornika jest stożkowe.



Rys. 4. Odstojnik Dorra: 1- krawędź przelewowa, 2- wał napędowy, 3- grabie mieszające, 4- dopływ cieczy z zawiesiną, 5- odpływ osadu, 6- odpływ cieczy klarownej

Odstojnik o poziomym przepływie cieczy (kaskadowe) (rysunek 5) bardzo dobrze pracują jako aparaty o podwójnym działaniu, tj. sedymentacji w połączeniu z klasyfikacją ziarna. Budowa aparatu jest bardzo prosta, składa się z szeregu skrzyń o kształcie pryzmatycznym lub stożkowym, które są ustawione szeregowo. Wytrącone ziarna opadają do skrzyń zależnie od wielkości, cięższe bliżej, lżejsze dalej.



Rys. 5. Odstojnik o poziomym przepływie cieczy (kaskadowy): 1 -dopływ cieczy z zawiesiną, 2 - wylot osadu, 3 - odpływ cieczy klarownej