

Nowe kierunki w przeróbce osadów ściekowych.

1. Wstęp.

Z roku na rok wzrasta ilość osadów ściekowych na oczyszczalniach ścieków. Ma to związek z budową sieci kanalizacyjnej oraz rozbudową i budową wielu nowych oczyszczalni ścieków. Wg. źródeł GUS na 31 grudnia 1999r w Polsce powstało ponad 2200 oczyszczalni ścieków komunalnych obsługujących 19 mln 900 tys. ludności (ok. 48%), w tym w miastach 18 647 tyś. oraz na wsiach 1254 tys. mieszkańców. Oczyszczono 1 718 240 tyś. m³ ścieków komunalnych wytwarzając ponad 359 000 Mg osadu w przeliczeniu na suchą masę osadu [1]. Krajowy Program Gospodarki Osadami przewiduje iż w 2006 roku powstanie około 460 000 Mg s.m. osadu, a w 2014 roku około 700 000 Mg s.m.. W 2014 roku przewiduje się dwukrotny przyrost suchej masy osadu w porównaniu do roku 2000.

2. Charakterystyka osadów ściekowych.

Ilość i jakość powstających na oczyszczalni osadów ściekowych jest zmienna, przy czym do głównych czynników powodujących różnicowanie ich właściwości należą:

- rodzaj ścieków dopływających na oczyszczalnię,
- wielkość ładunku zanieczyszczeń,
- sposób oczyszczania ścieków i stosowane parametry technologiczne, w tym szczególnie wiek osadu, obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń, występowanie osadnika wstępnego,
- sposób przeróbki osadów.

Osady powstające na oczyszczalni ścieków możemy podzielić na:

- osad wstępny – to zawiesina wytrącona w osadniku wstępnym,
- osad nadmierny – z procesów biologicznego oczyszczania ścieków czyli nadmiar osadu czynnego lub błony biologicznej usuwanej w osadnikach wtórnych,
- osad pokoagulacyjny (chemiczny) – z procesów chemicznego oczyszczania ścieków w zależności od sposobu i miejsca dawkowania koagulantu, usuwany jest wspólnie z osadem wstępnym lub nadmiernym,
- osad mieszany – osad wstępny, nadmierny i pokoagulacyjny.

Nie ma typowych osadów ściekowych, w każdej oczyszczalni powstają osady o odmiennych właściwościach fizyko – chemicznych. Wspólną cechą wszystkich osadów ściekowych jest ich wysokie uwodnienie 99 – 95%, duża zawartość związków organicznych, łatwość zagniwania, występowanie związków biogennych (azot, fosfor), związków specyficznych, związków chorobotwórczych (bakterie, wirusy, grzyby, jaja pasożytów).

Występujące w osadzie związki organiczne zależą od rodzaju osadu. W osadzie wstępnym i pokoagulacyjnym to przede wszystkim martwa masa organiczna, która łatwo ulega rozkładowi w warunkach tlenowych i beztlenowych. Osad nadmierny

charakteryzuje się jednorodną kłaczkową strukturą, w której dominują żywe mikroorganizmy oraz zaabsorbowane martwe cząstki organiczne i koloidy, które nie zostały zatrzymane w osadniku wstępnym. Wraz ze wzrostem wieku osadu udział martwej masy organicznej w osadzie nadmiernym maleje. Jak już wspomniano osady charakteryzują się wysokim uwodnieniem. Woda w osadzie występuje w postaci (rys.1.):

- wody wolnej, między cząsteczkowej, którą łatwo oddzielić od cząstek osadu w procesie zagęszczania i filtracji,
- woda półzwiązana – tj. woda wewnątrz kłaczków osadu,
- woda kapilarna, związana w cząsteczkach osadu siłami adhezji i kohezji,
- woda związana fizycznie tj. woda higroskopijna i koloidalna, którą z cząsteczkami osadu wiążą siły napięcia powierzchniowego (bardzo trudna do oddzielenia),
- Wody biologicznie związanej, która występuje w komórkach mikroorganizmów lub w formie biokoloidów otaczających komórki i tworzące kłaczkoszczątki osadu czynnego.

Podatność osadów na odwadnianie oraz możliwy do uzyskania graniczny stopień odwodnienia zależy od proporcji występujących w osadzie poszczególnych rodzajów wód. Struktura osadu decyduje o uwodnieniu międzycząsteczkowym, zaś natura cząstek o ilości i stopniu związania wody biologicznej, adhezyjnej, adsorpcyjnej itp.. Mikroorganizmy wiążą bardzo duże ilości wody, która zostaje uwolniona dopiero po ich obumarciu. Zróżnicowanie i ilościowe oznaczenie poszczególnych rodzajów cieczy osadowej jest bardzo trudne i nie zostało dotychczas jednoznacznie określone. Proces przeróbki osadów składa się z operacji jednostkowych tworzących ciąg technologiczny dopasowany do sposobu ich ostatecznego zagospodarowania. Zasadniczym celem przeróbki osadów jest osiągnięcie następujących efektów:

- zmniejszenie objętości osadów i usunięcie z nich wody,
- stabilizacji osadów (stabilizacja osadów ściekowych polega na zmniejszeniu zagniwalności oraz zlikwidowaniu nieprzyjemnych zapachów poprzez zredukowanie ilości substancji organicznej zawartej w osadzie),
- higienizacji osadów (higienizacja obejmuje procesy, w wyniku których następuje usunięcie z osadu organizmów chorobotwórczych i uzyskanie produktu bezpiecznego sanitarnie),
- przygotowania osadów do ostatecznej formy zagospodarowania.

Optymalny ciąg przeróbki osadów powinien spełniać następujące warunki [1]:

- musi odpowiadać wymogom techniczno – technologicznym oczyszczalni,
- być najtańszym w kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych,
- być prostym w obsłudze,
- zapewnić bezpieczeństwo załodze (poprzez stosowanie technologii nie wymagającej bezpośredniego kontaktu z osadem oraz zapewnienie wysokosprawnych systemów wentylacji wyposażonych w systemy dezodoryzacji powietrza),
- harmonizować z otoczeniem poprzez estetykę rozwiązań architektonicznych oraz ich funkcjonalność,
- zapewnić koszt przeróbki rosnący wolniej od kosztów inflacji,

- odpowiadać wymaganiom zasady zrównoważonego rozwoju,
- uwzględniać możliwość ostatecznego wykorzystania osadów na terenach przyległych do oczyszczalni.

Powyższe warunki sprawiają, że dobór ciągu operacji jednostkowych nie jest łatwy. Musi być oparty na doświadczeniach z analizy pracujących układów oraz wynikać z wszechstronnej ciągle poszerzanej wiedzy. Przy projektowaniu technologii przeróbki osadów warto kierować się kilkoma podstawowymi zasadami podanymi przez prof. Oleszkiewicza w poradniku omawiającym współczesną gospodarkę osadami. Wskazówki te pomagają w łatwy sposób uzyskać wyżej podane optymalne efekty, a brzmią następująco :

- nie ma typowych osadów – gdyż prowadzi to do pogorszenia właściwości osadów (uwalnianie fosfory, zmniejszenie sprawności odwadniania); wyjątek stanowi zatrzymanie osadu w zagęszczaczach dla wyprodukowania lotnych kwasów tłuszczowych (LTK),
- nie łączy się osadów – mieszanie osadów wstępnych i nadmiernych zmniejsza ich odwadnialność, ujemnie wpływa na proces stabilizacji beztlenowej (osad nadmierny źle fermentuje ze względu na obecność flory bakteryjnej przystosowanej do warunków tlenowych, zmniejszając ilość produkowanego metanu),
- nie zawraca się osadów – aby nie wprowadzać z powrotem do ciągu oczyszczania ścieków zawiesiny, związków azotu i fosforu,
- należy dbać o czystość osadów – chodzi tutaj o zabezpieczenie urządzeń przed uszkodzeniami i zatykaniem spowodowanym przez piasek, żwir, kapsle, tłuszcze oraz szczególnie przez szmaty i włosy; należy również zabezpieczyć przerabiane osady przed wtórnym zakażeniem przez organizmy chorobotwórcze.

Kierując się podanymi wyżej zasadami można zaprojektować nowoczesny i skuteczny ciąg przeróbki osadów, który w dużych oczyszczalniach ścieków składa się z elementów ułożonych w następującej kolejności:

- zagęszczanie osadów – prowadzone osobno dla osadów wstępnych i nadmiernych,
- stabilizacja biologiczna osadów zagęszczonych,
- zmniejszenie objętości osadów przez ich odwadnianie i suszenie,
- ostateczne unieszkodliwianie osadów.

W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się metodom ograniczającym ilość osadów wyprowadzanych z oczyszczalni ścieków do środowiska oraz zwiększających efektywność znanych i stosowanych od dawna metod przeróbki osadów. Do nowych rozwiązań należy zaliczyć; dezintegrację osadu, ozonowanie osadu nadmiernego oraz suszenie.

3.1. Procesy służące zmniejszeniu objętości osadów.

Zmniejszenie objętości osadów ściekowych należy do podstawowych zadań przeróbki osadów. Polega ono na obniżeniu zawartości wody w osadzie, a realizowane jest w procesach zagęszczania, odwadniania i suszenia.

Na rys.2. została przedstawiona zmiana objętości osadów przy zmniejszaniu ich uwodnienia. Należy tutaj zwrócić uwagę jak obniżenie uwodnienia powoduje zmniejszenie objętości całkowitej osadu. Fakt ten zmusza projektanta do zwrócenia szczególnej uwagi na procesy zagęszczania i odwadniania, gdyż właśnie te procesy i ich skuteczność będzie mieć poważne skutki ekonomiczne.

Zanim jednak osady zostaną poddane wymienionym procesom, muszą być odpowiednio przygotowane przez szereg zabiegów określanych mianem kondycjonowania. Ich celem jest zmiana właściwości osadu pozwalająca na szybsze i bardziej skuteczne usunięcie z niego wody. Daje to w efekcie uwolnienie części wody związanej, obniżając w ten sposób całkowity nakład energii potrzebnej do jej usunięcia.

Uzyskanie zadowalającego efektu zagęszczania osadu nadmiernego wymaga zastosowania urządzeń mechanicznych. Właściwości fizyczne osadu nadmiernego, uwalnianie się z osadu azotu uniemożliwia grawitacyjne jego zagęszczanie. Natomiast zagęszczanie mechaniczne musi być wspomagane flokulacją osadu przy użyciu polielektrolitów. Struktura przestrzenna cząsteczki polielektrolitu powoduje przyciąganie i łączenie drobnych cząstek osadu nadmiernego tworząc duże, nawet kilkucentymetrowe kłaczkę o strukturze posiadające bardzo liczne kanaliki, wytrzymałej na naprężenia, głównie ścinające, powstające w trakcie zagęszczania, co powoduje zamknięcie w kłaczkę osadu dużej ilości wody.

Do mechanicznego zagęszczania osadów stosuje się:

- zagęszczacze sitowo – taśmowe,
- zagęszczacze sitowo – bębnowe,
- zagęszczacze flotacyjne,
- wirówki zagęszczające,
- zagęszczacze śrubowe.

Niezależnie od rozwiązań konstrukcyjnych zagęszczacza, całość instalacji składa się z zagęszczacza, urządzenia do roztwarzania i dozowania polielektrolitu, pompy tłoczącej osad do zagęszczacza, urządzenia do mieszania osadu z polielektrolitem (reaktory szybkiego i wolnego mieszania), pompy osadu zagęszczonego, wanny do odbioru filtratu (filtrat może być wykorzystany jako woda technologiczna) oraz urządzenia automatyki i sterowania. Główne korzyści wynikające ze stosowania mechanicznego zagęszczania osadów to:

- obciążenie hydrauliczne ciągu przeróbki osadu,
- zmniejszenie objętości osadu w ZKF-ach i komorach stabilizacji osadu,
- oszczędności energetyczne na ogrzewaniu komór fermentacyjnych,
- uzyskanie większej produkcji biogazu,

- zmniejszenie ilości odcieków podczas odwadniania osadu – redukcja wtórnego obciążenia ciągu oczyszczania ścieków związkami biogennymi,

Koncentracja suchej masy w osadzie nadmiernym zagęszczonym może wynosić, w zależności od zastosowanego urządzenia i polielektrolitu od 3 do 8% s.m.. Stopień rozdziału faz jest znacznie wyższy w urządzeniach posiadających przegrodę filtracyjną. Końcowy efekt zagęszczania i stopień rozdziału faz przy zagęszczaniu mechanicznym tego samego rodzaju osadu, praktycznie nie zależy od jakości produkowanego osadu, czyli jest niezależny od zaburzeń w pracy ciągu oczyszczania ścieków (np. puchnięcia osadu czynnego). Znacznemu wzrostowi indeksu osadu nie musi towarzyszyć pogorszenie jakości ocieku, ani zmniejszenie koncentracji suchej masy w osadzie zagęszczonym, jeżeli odpowiednio skoryguje się dawkę polimeru i parametry ruchowe urządzenia. Graniczna wartość uwodnienia, przy której osad zmienia swoją konsystencję płynną na półpłynną (charakterystyczną dla osadów zagęszczonych) uzależniona jest od właściwości osadów takich jak:

- proporcje między wodą wolną, a wodą związaną w osadzie,
- wielkość i budowa cząstek osadu,
- udział w suchej masie związków organicznych i mineralnych,
- stężenie polielektrolitu,
- pH osadu.

Wysokie zagęszczenie osadu nadmiernego, do stężenia powyżej 4,5%, wpływa niekorzystnie na własności reologiczne osadu powodując:

- trudności w transporcie hydraulicznym – wzrost oporów przepływu osadu, wyższe nakłady energetyczne na pompowanie osadów oraz większe zużycie urządzeń,
- niepełne wymieszanie osadu w komorach stabilizacji utrudniające rozkład w procesach stabilizacji dużych i zbitych flokuł osadu – w efekcie mniejsza wydajność procesu stabilizacji.

Stosowanie mechanicznego zagęszczania osadu nadmiernego jako procesu celowego przed stabilizacją posiada zatem aspekty niekorzystne, których jednak można uniknąć stosując kolejne procesy obróbki osadów takie jak homogenizacja i dezintegracja.

Rys. 3. Osad nadmierny zagęszczony mechanicznie – wygląd osadu i zdjęcie mikroskopowe.

1.2. Dezintegracja mechaniczna – homogenizacja osadu zagęszczonego.

Zmiana struktury oraz właściwości fizycznych osadu zagęszczonego mechanicznie możliwa jest dzięki zastosowaniu homogenizacji. Zadaniem procesu homogenizacji osadu nadmiernego jest zniszczenie struktury kłaczkowatej osadu zagęszczonego, uwolnienie wody z mikroporów oraz uszkodzenie zooglealnych skupisk mikroorganizmów, a także uzyskanie efektu upłynnienia osadu. Homogenizacja polega na wytworzeniu jednolitej i trwałej mieszaniny z nie mieszających się ze sobą w normalnych warunkach składników. Proces homogenizacji mechanicznej realizowany jest dzięki wykorzystaniu zjawisk fizycznych występujących podczas szybkoobrotowego mieszania cieczy w zbiorniku przepływowym ze swobodnym zwierciadłem i grawitacyjnym przepływem osadu. Homogenizacja realizowana jest mechanicznie z wykorzystaniem mieszadeł szybkoobrotowych o specjalnie ukształtowanych wirnikach tnących. Kształt wirnika oraz duża prędkość obrotowa śmigła powoduje wytworzenie ogromnych sił ścinających, nagłych zmian ciśnienia oraz miejscowo powstawania zjawiska kawitacji, co daje efekt dezintegracji osadu. Uszkodzenie skupisk zooglealnych powoduje zniszczenie warstwy ochronnej i w efekcie szybsze obumieranie mikroorganizmów w komorze stabilizacji. Powstała martwa masa organiczna staje się substratem podlegającym rozkładowi w procesie fermentacji. Woda wcześniej półwiązana fizycznie staje się wodą wolną. Obumieranie mikroorganizmów powoduje równoczesne uwolnienie wody związanej biologicznie w komórkach i biokoloidach. Osad nadmierny poddany homogenizacji charakteryzuje się wyższym stopniem redukcji masy organicznej oraz większą produkcją biogazu w procesie fermentacji.

Rys.4. Osad nadmierny zagęszczony i homogenizowany – wygląd osadu oraz zdjęcie mikroskopowe.

Efekt rozbicia struktury kłaczkowej zagęszczonego osadu nadmiernego przedstawiają także zdjęcia mikroskopowe na rys.5.

Rys.5a.

Rys. 5b. Zdjęcia mikroskopowe osadu nadmiernego zagęszczanego homogenizowanego.

Proces homogenizacji osadu proponuje się jako istotny element ciągu zagęszczania osadu. Urządzenie do homogenizacji osadu powinno być zainstalowane bezpośrednio za zagęszczaczem mechanicznym. Pozwala to na lepszą pracę pomp (oszczędności energetyczne), wymienników cieplnych i pełne wymieszanie ZKF-ów. Technologia wykorzystania homogenizacji z zastosowaniem wirników tnących w zbiorniku z przepływem grawitacyjnym została z powodzeniem zastosowana w skali technicznej.

1.3. Dezintegracja mechaniczna II st. – ultradźwiękowa homogenizacja osadu nadmiernego przed procesem fermentacji metanowej.

Beztlenowy rozkład osadu jest limitowany zwłaszcza szybkością i efektywnością pierwszej – hydrolitycznej fazy fermentacji. Intensyfikację tej fazy można uzyskać w wyniku dezintegracji ultradźwiękowej osadu czynnego, której zadaniem jest nie tylko rozdrobnienie fazy stałej osadu, ale również zniszczenie błon komórkowych mikroorganizmów i uwolnienie do cieczy osadowej zawartych w nich substratów i enzymów istotnych dla dalszego biochemicznego rozkładu związków organicznych przez bakterie fazy kwaśnej i metanowej. Efekt ten zwany sonolizą powoduje wzrost stężenia tych substancji w postaci rozpuszczonej, wyrażający się wzrostem ChZT cieczy osadowej, a tym samym poprawę podatności osadów ściekowych na biodegradację.

Do dezintegracji osadów stosowane są ultradźwięki o niskiej częstotliwości w zakresie 16 – 50 kHz i dużej mocy, mogące wywołać kawitację ultradźwiękową w cieczy osadowej. Gwałtowna implozja pulsujących pęcherzyków kawitacyjnych (pęcherzyki parowe lub parowo-gazowe) jest źródłem ogromnego, lokalnego wzrostu ciśnienia i temperatury, skutkiem których w obszarze tkz. czynnego oddziaływania pola zachodzi szereg procesów natury fizykochemicznej i biochemicznej.

Ozonowanie osadu nadmiernego.

Do kolejnych nowych technik pozwalających na redukcję ilości powstających w procesie oczyszczania ścieków osadów nadmiernych jest ozonowanie. Ozon to silny utleniacz, który powszechnie stosowany jest w procesach dezynfekcji wody i powodujący rozpad komórek. Ozon ze składnikami osadu nadmiernego reaguje w dwojaki sposób; bezpośredni i pośredni. Obydwie reakcje występują jednocześnie. Podczas ozonowania większość mikroorganizmów osadu czynnego zostaje zabita

(niszczenia błon komórkowych) i przekształcona do rozpuszczalnych związków organicznych podatnych na rozkład biologiczny w procesach stabilizacji. Z badań przeprowadzonych przez Yo Liu [15] wynika, że początkowe zużycie ozonu przez osad jest bardzo wysokie i wynosi 0,3 g O₃/g suchej masy organicznej. Wraz ze wzrostem zużycia ozonu rośnie podatność na rozkład biologiczny. Stosunek rozpuszczonego ChZT/ChZT cząsteczkowego rośnie proporcjonalnie do stopnia rozpuszczalności osadu. Wraz ze wzrostem czasu ozonowania rosnący stopień rozpuszczalności osadu spada, co oznacza, że rozpuszczone związki organiczne zostają utlenione szybciej niż trudnoutleniające się związki jak lipidy. W procesie ozonowania zaobserwowano wzrost rozpuszczonego PO₄ – P., ilość rozpuszczonego fosforu rośnie proporcjonalnie do rozpuszczonego ChZT. Stopień biologicznego rozkładu suchej masy organicznej w procesie fermentacji beztlenowej dla osadu nadmiernego wstępnie ozonowanego wzrasta z 11% do 37%. Wzrasta również podatność osadów przefermentowanych na odwadnianie. Proces ozonowania można stosować przed stabilizacją na ciągu osadu nadmiernego, jak również na osadzie recyrkulowanym w przypadku stosowania tkz. stabilizacji symultanicznej. Stosowanie ozonowania osadu recyrkulowanego ogranicza przyrost osadu nadmiernego. Somoliza komórek przebiega intensywniej w osadzie, w którym energia ultradźwiękowa nie jest marnowana na dyspergowanie kłaczków osadu i wzrasta ze stopniem ich rozdrobnienia. Dlatego korzystne jest stosowanie rozwiązania dwustopniowej dezintegracji mechanicznej tj. homogenizacji i dezintegracji ultradźwiękowej. Zaznaczyć tu jednak należy, iż każdy z tych procesów zastosowany osobno również w wyraźnym stopniu poprawi biodegradację osadu i zwiększy efekt wydzielania biogazu. Prezentowane w literaturze naukowo – technicznej i obserwowane w skali technicznej wyniki potwierdzają poprawę przebiegu i zwiększenie efektywności procesów przeróbki osadów dzięki zastosowaniu każdego rodzaju wstępnej dezintegracji osadu, jednakże rozwiązania hybrydowe są zawsze bardziej efektywne. Na podstawie badań różnych metod dezintegracji mechanicznej w skali laboratoryjnej, pilotowej i technicznej wykazano, że dla uzyskania minimalnego efektu wymagane jest wydatkowanie energii na poziomie około 10² – 10³ kJ na kilogram doprowadzonej suchej masy osadu. Wysoki stopień dezintegracji wymaga energii z przedziału 10³ – 10⁵ kJ/kg s.m..

Korzyści wynikające z zastosowania dodatkowej obróbki osadu nadmiernego przed fermentacją.

Dodatkowa obróbka osadów ściekowych to opisane powyżej procesy homogenizacji, dezintegracji ultradźwiękowej i ozonowania, których zastosowanie przed fermentacją intensyfikuje biochemiczny rozkład osadu i usprawnia pracę wydzielonych komórek fermentacji, czego efektem są korzyści wynikające z:

- a) wyższej produkcji biogazu,
- b) wyższego stopnia mineralizacji osadu,
- c) poprawy własności reologicznych dla transportu hydraulicznego,
- d) skrócenie czasu fermentacji.

Ad a) Zwiększenie produkcji biogazu, które może osiągnąć poziom nawet 50% oznacza poprawę bilansu energetycznego komory, a także całej oczyszczalni ścieków (jeśli obiekt posiada agregaty prądotwórcze, kotły na biogaz, suszarnie na biogaz itp.).

Ad b) Wyższy ubytek substancji organicznych spowoduje zmniejszenie ilości suchej masy przechodzącej do dalszej obróbki. Osad lepiej przefermentowany łatwiej się odwadnia, co pozwala zmniejszyć dawki polielektrolitów stosowanych do preparowania osadu przed procesem odwadniania oraz zwiększyć wydajność procesu odwadniania czyli zmniejszyć gabaryty urządzeń, a także zmniejszyć zużycie wody w procesie odwadniania i zmniejszyć koszty eksploatacyjne instalacji do odwadniania ze względu na mniejsze obciążenie.