

JAN ŁUKASIEWICZ

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

TERMICZNA UTYLIZACJA OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Spaliny, popiół i substancje powstające w trakcie termicznego unieszkodliwiania osadów ściekowych nie są obojętne dla środowiska. Dyrektywa 2000/76/EC w sposób jednoznaczny określa warunki utylizacji i standardy emisyjne dla spalania osadów ściekowych. Najbardziej rozpowszechnioną metodą termicznej utylizacji osadów ściekowych jest ich spalanie. Piroliza jest metodą przekształcania termicznego substancji organicznych w środowisku pozbawionym tlenu bądź przy niewielkiej jego obecności, w wysokiej temperaturze. Substancje powstające w trakcie termicznej utylizacji są topione do postaci żużla lub zeszkliwane w wysokich temperaturach rzędu 2000 K. Technologia plazmowa zastosowana do procesów utylizacji osadów zapewnia uniknięcie emisji substancji toksycznych do biosfery. Substancja podobna do szkła trwale wiąże zawarte w osadach metale ciężkie.

Słowa kluczowe: osad ściekowy, utylizacja, temperatura

1. WSTĘP

Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych i innych odpadów wymaga specjalnego ich traktowania. Emitowane do otoczenia spaliny i pozostałości nie są obojętne dla środowiska. Ilość i jakość zanieczyszczeń zależy od składu chemicznego osadów, technologii procesów spalania i oczyszczania spalin. Ocena stosowanych technologii zależy od wyników badań emisji do biosfery zarówno składników stałych, jak i gazowych. Prawo w UE stawia wysokie wymagania dotyczące emisji gazów odlotowych podczas termicznego unieszkodliwiania osadów ściekowych, dlatego dążyć należy do stosowania technologii spełniających wymogi bezpieczeństwa ekologicznego. Dominują trzy zasadnicze kierunki zagospodarowania osadów ściekowych:

- bezpieczne składowanie,
- gospodarcze wykorzystanie łącznie z przyrodniczym i rolniczym,
- spalanie.

W Polsce zainteresowaniem cieszą się koncepcje termicznej utylizacji osadów ściekowych. Dyrektywa 2000/76/EC w sposób jednoznaczny określa warunki realizacji procesu i standardy emisyjne dla spalania lub współspalania osadów ściekowych. Ograniczenia w stosowaniu termicznych metod unieszkodliwiania osadów ściekowych wynikają z zawartości szkodliwych związków w spalinach. Najbardziej rozpowszechnioną metodą termicznej utylizacji osadów ściekowych jest ich spalanie.

Piroliza jest metodą przekształcania termicznego substancji organicznych w środowisku pozbawionym tlenu bądź przy niewielkiej jego obecności, w wysokiej temperaturze. Pirolizę niskotemperaturową prowadzi się w temperaturze 450÷700°C, a wysokotemperaturową od 900 do 1100°C.

Zagospodarowanie pozostałości po termicznej utylizacji polega na ich stopieniu do postaci żużla lub zeszkliwianiu w wysokich temperaturach rzędu 2000 K.

Zastosowanie do procesu utylizacji odpadów technologii plazmowej w warunkach pełnej pirolizy przy odpowiednio wysokiej temperaturze zapewnia uniknięcie emisji substancji toksycznych – dioksyn, furanów, NO_x . Substancja podobna do szkła trwale wiąże zawarte w odpadach metale ciężkie.

W Polsce dynamicznie wdrażane są nowe technologie oczyszczania ścieków. Osady powstające w procesie ich oczyszczania, pod względem ilościowym, stanowią niewielki procent odpadów wytwarzanych w gospodarce komunalnej. Zagrożenia dla środowiska, jakie ze sobą niosą, nie pozwalają na ich pominięcie w fazie eksploatacji już istniejących oczyszczalni, modernizacji, jak i przy planowaniu nowych oczyszczalni ścieków. W budowanych przed 1990 r. oczyszczalniach ścieków gospodarka osadami ograniczała się do ich magazynowania na terenie oczyszczalni w lagunach lub na poletkach osadowych, ewentualnie stosowania jako nawóz.

Problemem funkcjonujących obecnie oczyszczalni ścieków jest praktyczne unieszkodliwianie i zagospodarowanie osadów ściekowych. Działania podejmowane w kierunku utylizacji osadów zmierzają do wyeliminowania z oczyszczalni ścieków poletek osadowych i wprowadzenia w to miejsce wysokosprawnych metod ich zagęszczania, stabilizacji i odwadniania, podsuszania i suszenia. Do rozwiązania pozostaje zagadnienie zagospodarowania pozostałości po utylizacji odwodnionych osadów.

Istnieją pilne potrzeby w zakresie unormowania gospodarki odpadami, w tym osadami ściekowymi w Polsce. Brak przepisów wykonawczych uwzględniających specyfikę i skład doprowadzanych do oczyszczalni ścieków utrudnia podejmowanie działań w kierunku wyboru technologii utylizacji. Fundamentalnym aktem prawnym dotyczącym gospodarki odpadami w kraju jest ustawa z dnia 21 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U. Nr 62, poz. 628 z późn. zm.). Obowiązują również rozporządzenia Ministra Środowiska regulujące proces postępowania z odpadami.

Termiczne procesy unieszkodliwiania odpadów, w tym osadów ściekowych, należą do metod najbardziej radykalnych z uwagi na możliwość całkowitej ich utylizacji oraz usunięcia ich z obiegu ekologicznego. Ze względu na wysoką energochłonność oraz kapitałochłonność tych technik termiczne metody unieszkodliwiania mogą być stosowane w dużych aglomeracjach miejsko-przemysłowych. Istotnym argumentem przemawiającym za stosowaniem metod termicznych jest pełne opanowanie podstawowych procesów, łącznie z technikami oczyszczania powstających produktów.

O realności stosowania termicznych metod unieszkodliwiania osadów decydują w głównej mierze same odpady, tj. ich skład chemiczny oraz procentowa zawartość substancji palnych.

Do właściwości osadów, traktowanych jako paliwo, należy ciepło spalania, zawartość wilgoci, zawartość substancji lotnych i mineralnych. Wymienione czynniki wpływają na przebieg spalania, bilans energetyczny i skład spalin.

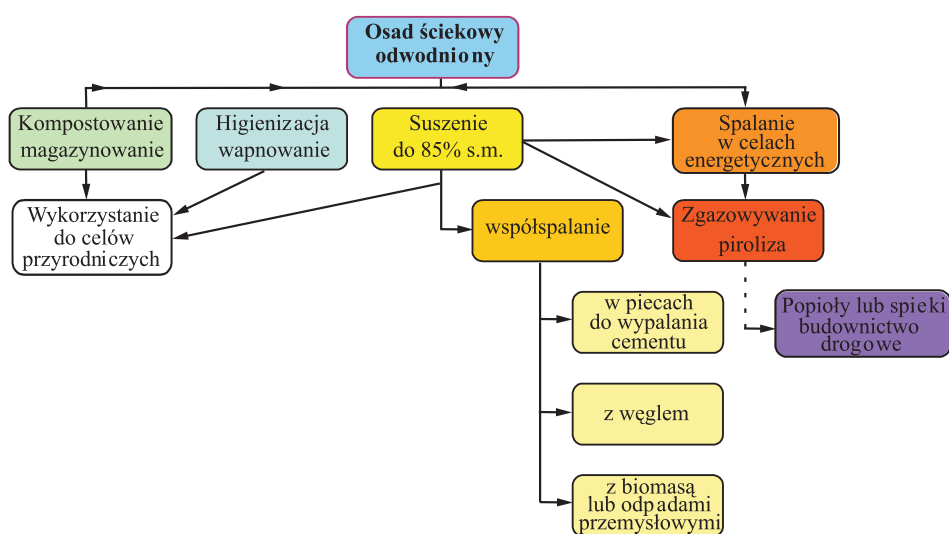
Termiczne metody utylizacji osadów ściekowych są poprzedzane podsuszaniem, suszeniem do uzyskania 85% suchej masy lub całkowitym suszeniem – powyżej 85% s.m. W wyniku suszenia osadów odparowaniu ulega zawarta w nich woda. Wysuszony osad ma mniejszą masę, jest całkowicie pozbawiony organizmów chorobotwórczych, co sprawia, że jest łatwy do przechowywania i najczęściej nadaje się do spalania bez dodatkowego paliwa. Suszeniu mogą być poddawane osady komunalne zarówno surowe, jak i ustabilizowane. Osady powinny być w jak najwyższym stopniu mechanicznie odwodnione, gdyż zawartość wody w osadach poddawanych suszeniu ma wpływ na ilość energii, jaką

należy dostarczyć do ich wysuszenia. Osad po suszeniu całkowitym ma postać pylistą lub granulatu. Postać pylista stwarza niebezpieczeństwo pożaru lub wybuchu pyłu. Należy zatem dążyć do tego, aby produkt końcowy suszenia miał postać granulek.

Obecnie dominują trzy zasadnicze kierunki zagospodarowania osadów ściekowych:

- bezpieczne składowanie,
- gospodarcze wykorzystanie łącznie z przyrodniczym i rolniczym zagospodarowaniem,
- spalanie.

Na rysunku 1 zamieszczono blokowy schemat metod zagospodarowania i utylizacji osadów ściekowych.



Rys. 1. Schemat metod zagospodarowania i utylizacji osadów ściekowych

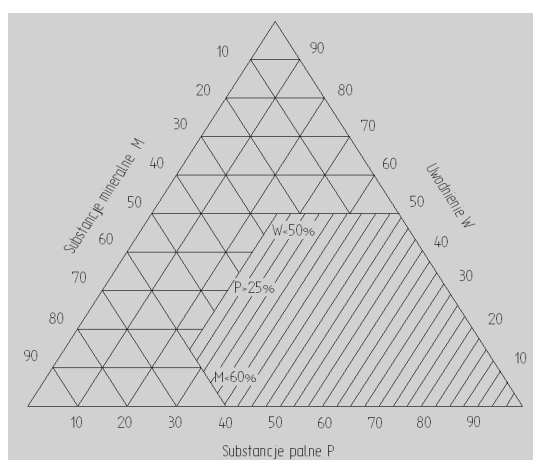
Wśród możliwych do przyjęcia rozwiązań zagospodarowania osadów ściekowych dużym zainteresowaniem cieszą się koncepcje ich termicznej utylizacji. Polskie prawo pozwala stosować termiczną utylizacji osadów. Dyrektywa 2000/76/EC w sposób jednoznaczny określa warunki realizacji procesu i standardy emisyjne dla bezpośredniego spalania lub współspalania osadów ściekowych. Termiczne metody gospodarczego wykorzystania osadów ściekowych są preferowane również dlatego, że coraz bardziej rygorystyczne są kryteria w zakresie ich rolniczego wykorzystania. Głównym powodem wzrostu wymagań jest rosnąca ilość metali ciężkich w ściekach, szczególnie w ściekach przemysłowych, oraz gwałtowny wzrost ilości osadów ściekowych.

2. TERMICZNA UTYLIZACJA OSADÓW

Badania ciepła spalania suchego osadu surowego zawierającego 70% substancji lotnych wykazały, że waha się ono od 16750 do 17170 kJ·kg⁻¹ dla osadu czynnego i od 14650 do 15490 kJ·kg⁻¹ dla osadu przefermentowanego o zawartości 50% substancji palnych wynosi ~ 10470 kJ·kg⁻¹.

W przypadku, gdy 1/3 masy osadów ściekowych jest niepalna, to wartość opałowa suchego osadu wynosi około $14 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Wartość opałowa osadu przefermentowanego jest zwykle niższa o około $2 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ od osadu przed fermentacją. Jeżeli wartość opałowa związków organicznych w osadach ściekowych nie wystarcza do odparowania zawartej w nich wody, to wówczas osady mogą być termicznie utylizowane tylko z dodatkowym paliwem, takim jak: węgiel, olej opałowy, biogaz lub biomasa.

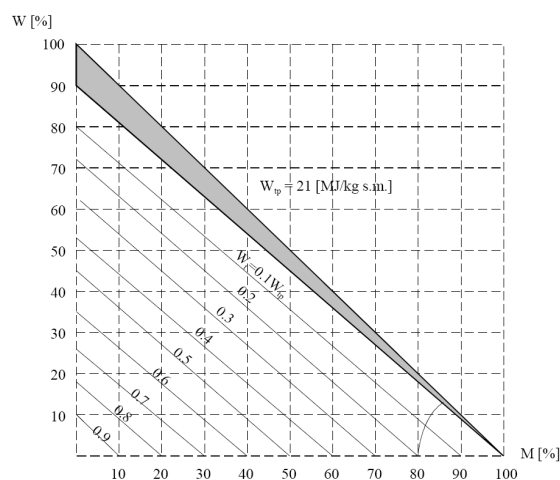
Po to, aby proces termicznej utylizacji osadów ściekowych mógł przebiegać autotermicznie, bez doprowadzania energii z innym paliwem, to unieszkodliwiana substancja opisana za pomocą trójkąta Tannera powinna znajdować się wewnątrz powierzchni, które określają następujące parametry: uwodnienie $W \leq 50\%$, substancje nieorganiczne $M \leq 60\%$, substancje palne $P \geq 25\%$.



Rys. 2. Trójskładnikowa charakterystyka odpadów w trójkącie Tannera [1]

Doświadczenia praktyczne potwierdzają przybliżoną ocenę osadu za pomocą trójkąta Tannera (rys. 2) oraz to, że osady ściekowe wykorzystywane energetycznie mogą spalać się autotermicznie jedynie wówczas, gdy są odpowiednio odwodnione. Dlatego proces termiczny zawsze powinien być poprzedzony odwadnianiem lub podsuszaniem osadów ściekowych. Odwodnione osady do zawartości $20 \div 30\%$ s.m. można spalać jedynie przy współudziale paliwa wspomagającego, zaś przy zawartości powyżej 30% s.m. proces może być prowadzony bez udziału paliw dodatkowych.

W celu określenia wartości opałowej osadów ściekowych, w zależności od zawartości w nich składników palnych i mineralnych oraz uwodnienia, można posługiwać się nomogramem przedstawionym na rysunku 3, który sporządzono dla osadów o cieple spalania $21 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Na osi odciętych odłożono udziały masowe substancji mineralnych, a na osi rzędnych uwodnienia. Nachylenie krzywej charakteryzuje zawartość substancji palnej. Obszar zakreskowany oznacza przedział, w którym wartość opałowa jest niedostateczna do odparowania wilgoci z osadu. Z kolei poszczególne linie oznaczają ułamek ciepła spalania, jaki przy danym uwodnieniu i udziale części niepalnych stanowi wartość opałowa.



Rys. 3. Zależność wartości opałowej osadów od udziału substancji mineralnej M i uwodnienia przy $W_{sp} = 21 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ [1]

Ograniczenia w stosowaniu termicznych metod unieszkodliwiania osadów ściekowych i innych odpadów wynikają z zawartości związków szkodliwych w spalinach. Ilość i jakość zanieczyszczeń zależy od składu chemicznego osadów, technologii procesów spalania i oczyszczania spalin. Ocena stosowanych technologii zależy od wyników badań emisji zarówno składników stałych, jak i gazowych. W krajach Unii Europejskiej dane w tabeli 1 traktuje się jako najwyższe dopuszczalne wartości emisji związków chemicznych.

Tabela 1. Dopuszczalne wartości emisji gazów odlotowych zalecane przez UE [1]

Lp.	Substancja	Jednostka	Wartość
1	Minimalny udział tlenu	%	> 6
2	Czas dopalania	s	2
3	Pył	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	10**
4	SO_3	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	50
5	CO	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	50*
6	HCl	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	10
7	HF	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	2
8	Cd, Ti	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	0,05
9	Hg	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	0,05
10	Sb, As, Pb, Co, Cr, Cu, V, Sn	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	0,5
11	Pb, Zn	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	0,5
12	Ni, As	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	0,5
13	PCDD/PCDF	$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	0,1
* średnia dzienna jako wartość półgodzinna			
** średnia wartość półgodzinna			

Najbardziej rozpowszechnioną metodą termicznej utylizacji osadów ściekowych, rozpowszechniane także w krajach Unii Europejskiej, jest ich spalanie. W czołówce krajów wykorzystujących ten sposób utylizacji osadów ściekowych są: Japonia, spalająca 55% ogólnej ilości osadów, Dania, Kanada (ponad 40%) oraz Francja, Szwajcaria, Niemcy, Stany Zjednoczone – spalające ponad 30%. W Polsce funkcjonuje obecnie tylko jedna spalarnia osadów, w której spalane są osady z oczyszczalni ścieków Gdynia Dębogórze.

Spalanie osadów prowadzi się w reaktorach z warstwą fluidalną (FCB) i w piecach półkowych. Stosuje się również inne rozwiązania, z zastosowaniem pieców obrotowych.

Technika fluidalna, stosowana w technologii spalania już w latach sześćdziesiątych, wykorzystana do spalania osadów ściekowych w kotłach fluidalnych, spowodowała:

- intensyfikację wymiany ciepła między warstwą fluidalną a powierzchnią ogrzewalną, co prowadzi do znacznego zmniejszenia powierzchni ogrzewalnych i gabarytów kotła,
- spalanie paliw o znacznej zawartości balastu; palenisko fluidyzacyjne może spalać paliwo o dużej rozpiętości frakcyjnej paliw ($0\div 10$ mm),
- obniżenie temperatury spalania do $800\div 900^{\circ}\text{C}$, w zależności od temperatury mięknięcia popiołu, a to zmniejsza straty materiału rur na skutek działania korozji oraz zmniejsza w znacznym stopniu emisję tlenków azotu do otoczenia,
- utrzymanie stałego profilu temperatury w całej objętości komory.

Piec fluidalny jest cylindryczną lub prostokątną komorą. W dolnej części znajduje się ruszt, a nad nim piaskowe złożo fluidalne. Osady wprowadza się do złoża fluidalnego. Składniki organiczne osadu zaczynają się palić i w postaci drobnych cząstek unoszone są przez mieszaninę parowo-spalinową ze złoża fluidalnego i ponad nim dopalają się. Wymagania dotyczące całkowitej likwidacji substancji organicznych zostają praktycznie spełnione w 100%. Na skutek mechanicznego działania ziaren złoża fluidalnego powstające aglomeraty popiołu zostają rozdrobnione. Szybkie wyrównanie się temperatury i wysoki współczynnik wymiany ciepła powodują, że spalanie przebiega intensywnie i równomiernie. Czas przebywania w przestrzeni dopalania jest dostatecznie długi i wystarcza do całkowitego wypalenia. Duża intensywność spalania powoduje, że wartość opałowa paliwa zostaje całkowicie wykorzystana, a objętość pozostałości zredukowana do minimum. Do instalacji powinny być doprowadzone osady o jak największej zawartości suchej masy. Praktycznie oznacza to konieczność mechanicznego odwodnienia osadów i suszenia.

Działający w berlińskiej oczyszczalni ścieków reaktor ze złożem fluidalnym utylizuje dziennie 5 tys. m^3 osadów o zawartości $3\div 3,5\%$ s.m., które zostały wcześniej odwodnione do 28% s.m. Cała instalacja ma trzy jednostki, każda po cztery punkty zasilania paliwem. W celu utrzymania 35-tonowego złoża w temperaturze 750°C dodaje się olej przemysłowy.

W oczyszczalni ścieków w Wiedniu także zdecydowano się na spalanie osadów ściekowych z wykorzystaniem techniki fluidalnej. W ten sposób utylizowana jest cała produkcja osadów wynosząca 210 t s.m./d. Osady po zagęszczeniu są podgrzewane, odwadniane i wprowadzane do warstwy fluidalnej kotłów. W oczyszczalni pracują trzy kotły fluidalne: dwa o wydajności 120 t s.m./d, a trzeci 160 t s.m./d. System oczyszczania spalin składa się z ciągu: elektrofiltr, reduktor NO_x , płuczka, suchy filtr z węglem aktywnym. Uzyskiwane emisje substancji zanieczyszczających są poniżej wartości granicznych wg prawodawstwa austriackiego. Popiół z procesu spalania wykorzystywany jest do produkcji mieszanki betonowej stanowiącej zabezpieczenie składowiska odpadów.

Alternatywą kotłów fluidalnych są instalacje do spalania osadów w piecach obrotowych. Obrotowy piec bębnowy (rys. 4) zbudowany jest z zewnętrznego stalowego bębna wyłożonego materiałem ceramicznym. Piec pochylony jest pod określonym kątem i obraca się z nieznaczną prędkością. Poprzez rotację osady ściekowe podlegają mieszaniu i stopniowo przechodzą przez kolejne strefy: suszenia, odgazowania, spalania i schładzania popiołu. Proces spalania przebiega w temperaturze $800\div 1000^{\circ}\text{C}$. Osady i spaliny prowadzone mogą być współprądowo lub przeciwproudowo. W praktyce stosuje się system pracy we współprądzie, z uwagi na mniejsze niebezpieczeństwo wydmuchów lub wybuchów.



Rys. 4. Piec obrotowy do spalania osadów

Zaletą procesu spalania w piecach obrotowych jest stabilność cieplna w stosunku do zmian obciążenia i wielkości podawanego materiału. Wadą, z uwagi na duże rozmiary części ruchomych, jest ich wrażliwość na zmianę obciążenia cieplnego. Dotkliwą wadą jest niekorzystny bilans energetyczny. Oprócz znacznych strat w wyniku promieniowania, występują straty ciepła ze spalinami, gdyż instalacja pracuje ze znacznym nadmiarem powietrza wymaganym do całkowitego spalania.

3. ZGAZOWANIE OSADÓW

Zgazowanie polega na przekształceniu w wysokich temperaturach węgla zawartego w paliwie stałym w paliwo gazowe, składające się głównie z tlenku i dwutlenku węgla, wodoru, metanu, azotu i pary wodnej. Zgazowanie odbywa się najczęściej przy udziale tlenu i wody. Można prowadzić go różnymi metodami oraz w różnych warunkach ciśnienia i temperatury, ale przeważnie odbywa się to z udziałem określonych ilości tlenu i pary wodnej.

Ostatnio coraz częściej stosowanym rozwiązaniem w zakresie unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków jest budowa własnych kotłowni wyposażonych w kotły opalane osadem ściekowym. Tego typu rozwiązanie zostało zastosowane m.in. w Polsce w oczyszczalni ścieków w Swarzewie, gdzie osady ściekowe poddaje się procesowi zgazowywania. Proces prowadzony jest w kotłach wyprodukowanych w elbląskiej firmie FUWI Gaz. Firma FUWI zajmowała się głównie produkcją kotłów do zgazowywania mokrego drewna w szczapach. Obecnie

podjęła produkcję kotłów do zgazowywania osadów ściekowych, z pełną atestacją urządzeń i opatentowaniem rozwiązań. W przypadku Swarzewa zainstalowano kocioł grzewczy wodny niskotemperaturowy typu E/I-OS o mocy 0,3 MW opalany paliwem, które stanowią osady z domieszką mialu węglowego w stosunku masowym 2/3 osady i 1/3 węgla. Mieszanina ma ciepło spalania około 12 MJ/kg. Ciepło spalania jest około dwukrotnie niższe niż przy miale węglowym, natomiast wilgotność mieszanki jest ponad 2,5-krotnie wyższa. Kocioł ma konstrukcję stalową w kształcie prostopadłościanu, stojącą, wyposażoną w dyszę i regulację powietrza do spalania lotnych części osadów oraz w aparaturę sterującą-zabezpieczającą. Kocioł spawany, wykonany jest z blach o grubości 4 i 6 mm, ocieplony wełną mineralną i obudowany blachą o grubości 1 mm.

Spaliny powstające w trakcie procesu wykorzystywane są do ogrzewania komory paleniskowej oraz wodnych ścian płaszcza kotła. Ruszt wykonany jest ze stalowych rur, przez które przepływa woda chłodząca. Powietrze do spalania doprowadzane jest wentylatorem, który jest sterowany automatycznie dwoma regulatorami temperatury. Czujnik temperatury wody umieszczony jest w króćcu wody gorącej. Czujnik temperatury spalin umieszczony jest w kominie. Zamknięty cykl spalania trwa do 12 godzin i polega na zgazowaniu i spalaniu substancji organicznych zawartych w osadach ściekowych wzbogaconych miałem węglowym. Po zamknięciu pieca spalanie przeprowadza się warstwowo od góry ku dołowi. Równomierne spalanie uzyskuje się poprzez strefowo nadmuchiwanie powietrza na obwodzie komory spalania. Powstające w procesie gazy gromadzą się w górnej części komory spalania, gdzie mieszają się z doprowadzonym powietrzem, a następnie przeprowadza się je przez ceramiczny stabilizator, przez co osiąga się całkowite spalanie wszystkich gazów i dezodoryzację spalin. Temperatura stabilizatora kształtuje się na poziomie 1400°C.

4. PRODUKTY SPALANIA I PIROLIZA OSADÓW ŚCIEKOWYCH

W procesie spalania powstają gazy spalinowe, żużel, popiół oraz substancje z procesu oczyszczania spalin. Nie są one obojętne dla środowiska, dlatego kompleksowo zaprojektowana spalarnia musi również uwzględniać sposoby ich neutralizacji. Oczyszczanie gazów spalinowych jest najbardziej kosztowną operacją – może stanowić 30÷35% kosztów ogólnych. Istnieje wiele typów instalacji oczyszczających, które z wysoką skutecznością wychwytyją zanieczyszczenia, spełniając tym samym niemiecką normę 17BimSchV, uważaną za jedną z najostrzejszych.

Piroliza jest metodą przekształcania termicznego substancji organicznych w środowisku pozbawionym tlenu bądź przy niewielkiej jego obecności, w wysokiej temperaturze. Reakcje termicznego rozkładu są endotermiczne.

Pirolizę niskotemperaturową prowadzi się w temperaturze 450÷700°C, a wysokotemperaturową od 900 do 1100°C.

W procesie pirolizy uzyskuje się:

- fazę gazową, tzw. gaz pirolityczny, który zawiera przede wszystkim parę wodną, metan, etan i ich homologi, wyższe węglowodory alifatyczne od C₂ do C₄, tlenek i dwutlenek węgla oraz inne gazy i związki, jak: H, NH₃, HCl, HF, HCN,
- fazę stałą, tzw. koks pirolityczny, substancje obojętne oraz pyły ze znaczną zawartością metali ciężkich itp.,
- fazę płynną, którą stanowią kondensaty wodne i oleiste, składające się z mieszaniny olejów i smoł, wody oraz składników organicznych.

Produkty ciekłe są złożoną mieszaniną węglowodorów i wymagają przetwarzania przed dalszym wykorzystaniem. Z kolei wytwarzany gaz charakteryzuje się wyższą wartością kaloryczną niż ten uzyskiwany w procesie zgazowania. Kształtuje się ona na poziomie $15\div 30 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Składniki te mogą być przeznaczone do dalszego wykorzystania. Ilość i skład powstających produktów zależą głównie od rodzaju i składu odpadów, górnego zakresu stosowanych temperatur oraz czasu przebywania w reaktorze pirolitycznym. Piroliza może być prowadzona w:

- reaktorach szybowych ze złożem fluidalnym, w których ruch masy odbywa się pionowo,
- reaktorach obrotowych oraz piecach przepychowych i innych piecach dwukomorowych z kontrolowanym przepływem powietrza, w których ruch masy odbywa się poziomo lub wsad się nie przemieszcza.

W termicznej utylizacji odpadów piroliza jest wykorzystywana do:

- unieszkodliwiania odpadów z bezpośrednim spalaniem (dopaleniem) powstałego gazu procesowego (pirolitycznego) oraz uzyskaniem mało toksycznej fazy stałej (popiołu lub żużla albo bogatego w węgiel koksu pirolitycznego),
- wytworzenia z odpadów gazu opałowego i ewentualnie paliwa stałego lub płynnego, nadających się do spalania w urządzeniach energetycznych,
- wydzielenia z odpadów cennych związków chemicznych możliwych do zastosowania w różnych procesach przemysłowych.

Na procesie pirolizy oparta jest technologia *OH From Shuige* (OFS). Jej istotą jest poddawanie osadów ściekowych o zawartości 95% suchej masy działaniu temperatury 450°C przez okres dłuższy niż 30 minut przy ciśnieniu atmosferycznym. W wyniku tego działania następuje chemiczne przekształcenie organicznych związków zawartych w osadach w proste łańcuchy węglowodorowe i stałe produkty zwęglania. W procesie tym powstają również gazy niekondensujące NCG, które wraz ze stałymi produktami zwęglania mogą być źródłem energii niezbędnej do suszenia osadów. Otrzymana ciecz węglowodorowa może stanowić surowiec wtórny do wykorzystania w przemyśle chemicznym lub petrochemicznym.

Układ przeróbki osadów w procesie OFS sprowadza się do 5 etapów:

- mechanicznego odwadniania osadów,
- suszenia osadów,
- przekształcenia substancji organicznych zawartych w osadach metodą OFS,
- otrzymania stałych produktów zwęglania,
- odzysku energii podczas spalania stałych produktów zwęglania i gazów oraz oczyszczania gazów w suszarni i ich kontroli.

Układ pozbawiony jest instalacji do usuwania z osadów organizmów patogennych, gdyż wirusy i bakterie są całkowicie niszczone w procesach: suszenia, pirolizy, spalania.

O wydajności metody OFS decyduje wielkość otrzymanych produktów. Skład chemiczny oraz ich własności paliwowe determinują możliwość wykorzystania otrzymanego kondensatu w przemyśle, a także możliwość odzysku ciepła przez spalanie koksiu i dopalanie powstałych w procesie gazów. Zawartość substancji organicznych w osadzie poddawany termicznej utylizacji decyduje o wartości opałowej powstałych produktów. Na odprowadzenie wody potrzeba dużych ilości ciepła, czyli energii, która musi pokryć wartość opałową związków organicznych zawartych w osadzie. Wskutek

fermentacji osad traci około połowę swej wartości opałowej, którą oddaje w postaci gazu. Jednak zmniejsza się przy tym zawartość wody, a gazy z fermentacji, jeżeli nie są używane do ogrzewania komór, stanowią dodatkowy materiał opałowy. Z tego względu przefermentowany osad nadaje się do termicznej przeróbki równie dobrze jak i surowy. Wysokie koszty budowy i eksploatacji komór fermentacyjnych przemawiają jednak za stosowaniem odwodnionego osadu surowego, co w ogólnym bilansie kosztów przeróbki i utylizacji osadów przynosi znaczne oszczędności. Za stosowaniem w technologii OFS osadu surowego przemawiają również efekty prowadzonych badań, według których różna jest wydajność procesu z osadów surowych i po termicznej przeróbce. Produkcja węglowodorów w formie płynnej jest znacznie wyższa z osadów surowych niż z osadów przefermentowanych.

5. UTYLIZACJA PLAZMOWA – ZESZKLIWIANIE

Koksik popirolityczny otrzymany z osadów ściekowych można spalać w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej. Proces spalania powoduje emisję do atmosfery spalin, a stałe produkty – popioły – są zagrożeniem dla środowiska naturalnego, gdyż koncentracja metali w pozostałościach po termicznej utylizacji odpadów jest znacznie większa niż w odpadach przed utylizacją. Niektóre metale, zwłaszcza o niskich temperaturach topnienia i wrzenia, koncentrują się w drobnych cząsteczkach lotnych. Dotyczy to zwłaszcza metali o wysokim stopniu toksyczności: rtęci, ołowiu, kadmu. Metale znajdujące się w stałych pozostałościach pod wpływem działania czynników atmosferycznych rozpuszczają się i wypłukują. Badania wykazały, że w krótkim czasie 62% zawartego w pyłach kadmu, 30% miedzi i 32% cynku może ulec wypłukaniu. Dlatego integralną częścią współcześnie stosowanych technologii termicznej utylizacji odpadów powinna być instalacja unieszkodliwiania tych produktów. Podejmowane są zabiegi zmierzające do stworzenia zamkniętych obiegów w procesach utylizacji odpadów, a pozostałości po termicznej utylizacji odpadów poddawane są przetwarzaniu, aby mogły być wykorzystane jako materiały budowlane, izolacyjne lub elewacyjne.

Metodą pozwalającą na bezpieczne zagospodarowanie pozostałości po termicznej utylizacji odpadów jest ich stopienie do postaci żużla bądź zeszkliwianie. Zeszkliwianie oraz stapianie wymaga stosowania wysokich temperatur rzędu 2000 K. Zastosowanie do procesu utylizacji odpadów technologii plazmowej, oprócz zapewnienia odpowiedniej temperatury, pozwala na uniknięcie emisji substancji toksycznych – warunki pełnej pirolizy uniemożliwiają powstawanie dioksyn, furanów, NO_x . Substancja podobna do szkła trwale wiąże zawarte w odpadach metale ciężkie.

Technologia plazmowa stwarza możliwości wykorzystania koksiku popirolitycznego w postaci niewypłukiwalnego żużla lub jako materiału budowlanego przy prawie zerowej wartości emisji szkodliwych substancji do biosfery. Zakłady stosujące taką technologię zostały wybudowane w Japonii, szczególnie do likwidacji odpadów niebezpiecznych, mimo że technologia ta jest bardzo kosztowna. Na Politechnice Poznańskiej opracowano prototyp pieca plazmowego, w którym można prowadzić badania nad zeszkliwieniem lub topieniem pozostałości po termicznej utylizacji osadów ściekowych.

6. WNIOSKI

Termiczną utylizację osadów ściekowych powinno poprzedzać mechaniczne odwadnianie, podsuszanie powyżej 30% s.m. lub suszenie po to aby proces mógł być prowadzony bez udziału paliw dodatkowych. Termiczne metody utylizacji osadów ściekowych oraz ich spalanie powszechnie stosowane są w krajach Unii Europejskiej.

Spalanie osadów można prowadzić w reaktorach z warstwą fluidalną (FCB) w piecach półkowych lub obrotowych. Stosowana technika fluidalna spalania spełnia wymagania bezpiecznej dla środowiska termoutylizacji.

Zgazowanie osadów, w wysokich temperaturach, prowadzi do otrzymania paliwa gazowego, zawierającego tlenek i dwutlenek węgla, wodór, metan, azot i parę wodną. W Polsce, w oczyszczalni ścieków w Swarzewie, osady ściekowe poddawane są utylizacji tą metodą.

Osady ściekowe mogą być poddawane procesowi pirolizy w reaktorach, w wyniku której oprócz gazu palnego wydzielają produkty płynne i stałe w postaci koksiku.

Zeszkliwianie lub stapianie pozostałości po termicznej utylizacji osadów ściekowych w wysokich temperaturach rzędu 2000 K stanowi finalny zabieg w procesach ich utylizacji. Koksik popirolityczny można spalać w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej lub zastosować technologię plazmową aby otrzymać postać nieszkodliwą dla środowiska.

LITERATURA

- [1] Bień J., 2007. Osady ściekowe: teoria i praktyka. Politechnika Częstochowska.
- [2] Boruszko D., 2001. Przeróbka i unieszkodliwianie osadów ściekowych. Politechnika Białostocka.
- [3] Chałamoński M., Łukasiewicz J., Szymczak M., 2007. Określenie parametrów pracy suszarni osadu. UTP Bydgoszcz, praca niepubl. <http://www.mos.gov.pl/>.
- [4] Chałamoński M., Łukasiewicz J., Szymczak M., 2008. Suszenie osadów ściekowych. Instytut Techniki Budowlanej, Ośrodek Informacji, INSTAL 1.
- [5] Janosz-Rajczyk M., 2004. Komunalne osady ściekowe – podział, kierunki zastosowań oraz technologie przetwarzania, odzysku i unieszkodliwiania, Częstochowa.
- [6] Kukliński M., Łukasiewicz J., Szymczak M., 2008. Optymalizacja bilansu cieplnego suszarni osadów ściekowych. Termodynamika w nauce i gospodarce, XX Jubileuszowy Zjazd Termodynamików, Wrocław.
- [7] Łukasiewicz J., 2004. Zgazowywanie biomasy – ekologicznym sposobem wytwarzania energii. III Ogólnopolska Konferencja Naukowa – „Alternatywne źródła energii”, Zielona Góra.
- [8] Szczęsny K., Wardecka L., 2001. Ocena techniczno-eksploatacyjna urządzeń do mechanicznego zagęszczania i odwadniania osadów ściekowych stosowanych w komunalnych oczyszczalniach ścieków – informator, Wyd. Ministerstwo Środowiska (Instytut Ochrony Środowiska), Warszawa.

THERMAL SEWAGE SLUDGE DISPOSAL

Summary

Fumes, ashes and substances produced during thermal sewage sludge disposal are not without an impact on the environment. Directive 2000/76/EC clearly indicates the conditions of disposal as well as emission standards for sewage sludge combustion. The most common method of thermal sewage sludge disposal is combustion. Carbonisation is a method of thermal transformation of organic substances in the environment completely devoid of oxygen, or with its little presence, at high temperature. Substances produced during thermal disposal either melt down to form slag or vitrify at high temperatures of 2000 K. Plasma technology used in processes of sewage sludge disposal ensures the avoidance of the emission of toxic substances into the biosphere. A glass-like substance forms a permanent bond with heavy metals present in the sludge.

Keywords: sewage sludge, disposal, temperature