

Elektrociepłownia sprzężona ze zgazowaniem odpadów komunalnych i szlamów pościekowych. Sposób na osady ...

Autorzy: Włodzimierz Kotowski, Eduard Konopka

(„Energia Gigawat” – maj 2008)

W sytuacji, gdy wg dyrektywy 99/31/EC nie będzie można po roku 2008 w krajach Unii Europejskiej deponować osadów ściekowych na składowiskach odpadów komunalnych, to termiczne ich unieszkodliwianie okazuje się ekonomicznie i ekologicznie najbardziej efektywne.

Również wg Rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7.09.2005r. (załącznik nr 4, Dz.U. nr 186, poz. 1553) będzie można na składowiskach odpadów komunalnych deponować tylko osady o wartości opałowej poniżej 6,5 MJ/kg, lub gdy zawierają poniżej 5% mas. węgla organicznego.

W tabeli 1 zaprezentowano właściwości fizyko-chemiczne osadów ściekowych, które jednoznacznie nie spełniają powyższych wymogów. Natomiast widać z tej tabeli, że po ich wysuszeniu dysponuje się wartościowym paliwem z grupy odnawialnych nośników energii dla wytwórczości ciepła użytkowego wraz z energią elektryczną. W naszym kraju uzyskuje się rocznie około pół miliona ton osadów ściekowych (w przeliczeniu na suchą masę), które można spalać i zgazowywać samodzielnie lub z innymi nośnikami energii – przykładowo z odpadami komunalnymi, węglami brunatnymi oraz kamiennymi itp. Aktualnie eksploatuje się w kraju 1,7 tysiąca oczyszczalni.

Tabela 1 Właściwości fizyko-chemiczne osadów z oczyszczalni ścieków komunalnych

L.p.	Właściwości - składniki	Jednostka	Ilość
1	Wartość opałowa (suchej masy)	MJ/kg	7,5-14,0
2	Części lotne	% mas.	43-52
3	Węgiel	% mas.	27,2-32
4	Siarka	% mas.	0,9-1,5
5	Wodór	% mas.	2,0-4,9
6	Azot	% mas.	2,5-3,1
7	Tlen	% mas.	7,5-9,5
8	Popiół	% mas.	26-48
9	Fe, Hg, Pb, Cr, Cl	mg/kg	800-1600

Spalanie fluidalne

Użytkowanie odpadów organicznych (w tym przede wszystkim odpadów komunalnych i osadów ściekowych), często wspólnie z węglami kamiennymi i brunatnymi niskiej jakości oraz znacznym udziały balastu, przyczyniło się do rozwoju technologii spalania w fazie fluidalnej. Proces przebiega w relatywnie niskich temperaturach i z udziałem sfluidyzowanego materiału inertnego (popiołu, piasku, itp.). Prekursorami w realizacji tej technologii są przedsiębiorstwa Ahlstrom (Foster-Wheeler), Lurgi-Lentjes-Deutsche Babcock Energie (LLBj) oraz Babcock-Wilcox.

Odpady komunalne i osady ściekowe w świecie są w mniejszym lub większym stopniu przetwarzane, bądź powtórnie wykorzystywane (kompostowanie, spalanie, zgazowanie itp.). Stopień ich wykorzystania jest uzależniony od poziomu rozwoju gospodarczego kraju i waha się od 15% dla państw o niższym stopniu rozwoju, do 85% dla tych najbardziej rozwiniętych. Na tym tle Polska lokuje się szczególnie niekorzystnie – zagospodarowując jedynie 3,8% odpadów komunalnych - wskazując rozmiar rezerw krajowych zasobów odnawialnych nośników energii.

Spalanie jest skuteczną i powszechnie stosowaną metodą zmniejszania ilości powstających odpadów w krajach Wspólnoty Europejskiej (patrz tabela 2).

Tabela 2. Instalacje spalania odpadów komunalnych w krajach Europy Zachodniej w 1996 roku

Państwo	Ilość instalacji termicznej utylizacji odpadów komunalnych	Procent spalanych odpadów [%]	Średnia masa odpadów spalana przez jedną spalarnię rocznie [Mg/]	Przeciętna wartość opałowa spalanych odpadów kJ/kg
Szwajcaria	29	78	80000	8500
Luksemburg	1	70	140000	75000
Dania	32	65	35000	8400
Szwecja	21	45	65000	8800
Holandia	11	40	270000	7500
Francja	260	37	30000	8400
Belgia	27	33	35000	7300
Niemcy	52	27	215000	9000
Austria	3	20	170000	9000
Włochy	80	16	26000	6700
Wielka Brytania	40	10	66000	9200

Pozwala ono na zmniejszenie liczby odpadów, kierowanych na składowiska, o około 2/3 oraz na znaczny odzysk energii w postaci ciepła użytkowego i energii elektrycznej.

Dla wymienionych paliw wykorzystuje się najczęściej piece rusztowe, obrotowo-bębnowe, a ostatnio również fluidalne.

Termicznej utylizacji odpadów – w założeniach kompleksowej gospodarki odpadami - poddawana jest tylko ta pozostałość, która wobec wcześniejszych, nadrzędnych metod utylizacji utraciła swoje walory użytkowe, a może być wykorzystana jeszcze jako surowiec energetyczny.

Wśród technik i technologii spalanie obserwuje się rosnące zainteresowanie fluidalnymi paleniskami. Charakteryzuje je nie tylko zawieszenie cząstek spalanego materiału w strumieniu gazu, ale w komorze spalania dokonuje się proces wiązania siarki z dodawanym pyłem wapnia, a niskotemperaturowe spalanie (850-950st C) nie powoduje tworzenia się tlenków azotu.

To konieczność spalania węgla o wysokiej zawartości popiołu i siarki narzuca rozwój konstrukcji kotłów z paleniskami fluidalnymi, a te pracujące pod zwiększonym ciśnieniem są wysokosprawne powyżej 96%.

Wśród kotłów ze złożem fluidalnym rozróżnia się: bezciśnieniowe fluidalne ze złożem stacjonarnym – PFBC (Pressurized Fluidized Bed Combustion), kotły fluidalne ze złożem cyrkulacyjnym – CFBC (Circulating Fluidized Bed Combustion) oraz kotły fluidalne z ciśnieniowym złożem cyrkulacyjnym – PCFB (Pressurized Circulating Fluidized Bed).

Poniżej został zaprezentowany rozwój oraz problemy eksploatacyjne kotłów z ciśnieniowym spalaniem fluidalnym PFBC.

Kotły z ciśnieniowym złożem fluidalnym

Kotły z ciśnieniowym paleniskiem zapewniają znacznie wyższe, niż kotły z paleniskiem atmosferycznym, intensywności spalania węgla i innych nośników energii oraz obciążenia objętościowe komór spalania. Dużo większe wysokości złoża sprzyjają dobremu wypaleniu paliwa oraz obniżeniu koncentracji tlenu w spalinach.

Jednym z głównych producentów ciśnieniowych kotłów fluidalnych PFBC jest firma ABB. Urządzenia wytwarzane przez tą spółkę charakteryzują się wysoką warstwą fluidyzacyjną (od 3,5 m) i małą prędkością

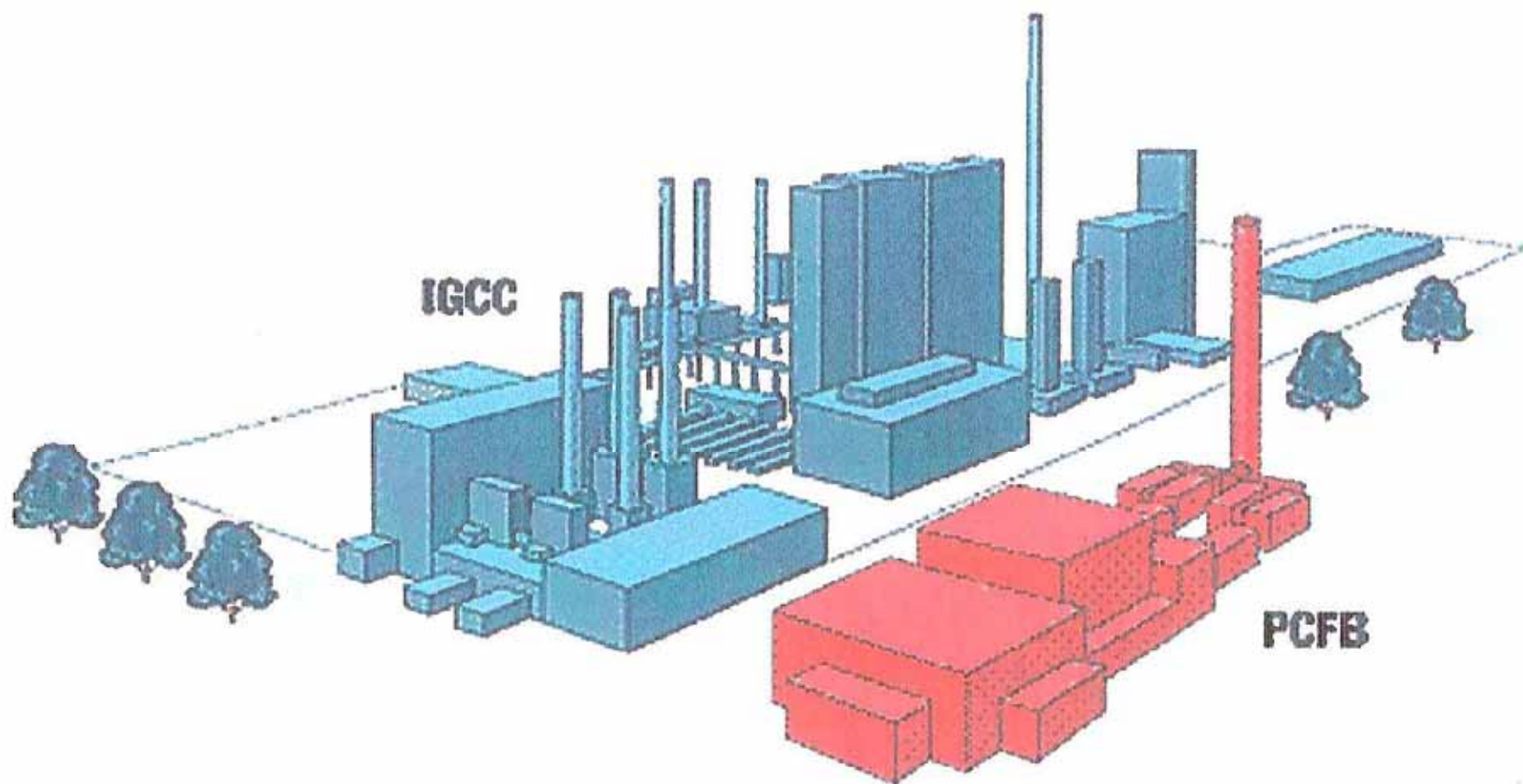
fluidyzacji (do 1 m/s), co powoduje długotrwały kontakt paliwa i powietrza. Daje to dużą sprawność spalania (99,5%) i czyni zbędną recyrkulację do paleniska popiołu wytrąconego ze spalin. Temperatura złoża zazwyczaj nie przekracza 880st C, lecz może być zwiększona powyżej 900st C. Spaliny z kotła, po oczyszczeniu w dwóch połączonych szeregowo cyklonach i następnie w filtrze ceramicznym lub tkaninowym, napędzają turbinę gazową sprzężoną z elektrogeneratorem. Temperatura spalin na wlocie do turbiny wynosi 830st C. Sumaryczna sprawność układu energetycznego jest powyżej 43,5%. W kotle może być spalane różnorodne paliwo: od węgla brunatnego do odpadów organicznych. Dla zapewnienia skuteczności odsiarczania powyżej 90% konieczny jest stosunek molowy Ca/S = 1,5 przy wykorzystaniu dolomitu. Zawartość dwutlenku siarki i tlenków azotu w spalinach jest w obu przypadkach mniejsza niż 100 mg/m_N³. Pracę czołowych łopatek turbin gazowych przewiduje się w okresie międzyremontowym przez 20.000 h, a rurowych wymienników ciepła, zanurzonych w złożu, na 40.000 h. Zmiany obciążenia następują wskutek zmiany wysokości złoża – przy jego stałej temperaturze.

Technikę ciśnieniowego spalania w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej PCFB od 1989 roku rozwijają zasadniczo dwie firmy kotłowe: Ahlstrom Pyropower i Lurgi Lenjes Babcock Energietechnik (LLB).

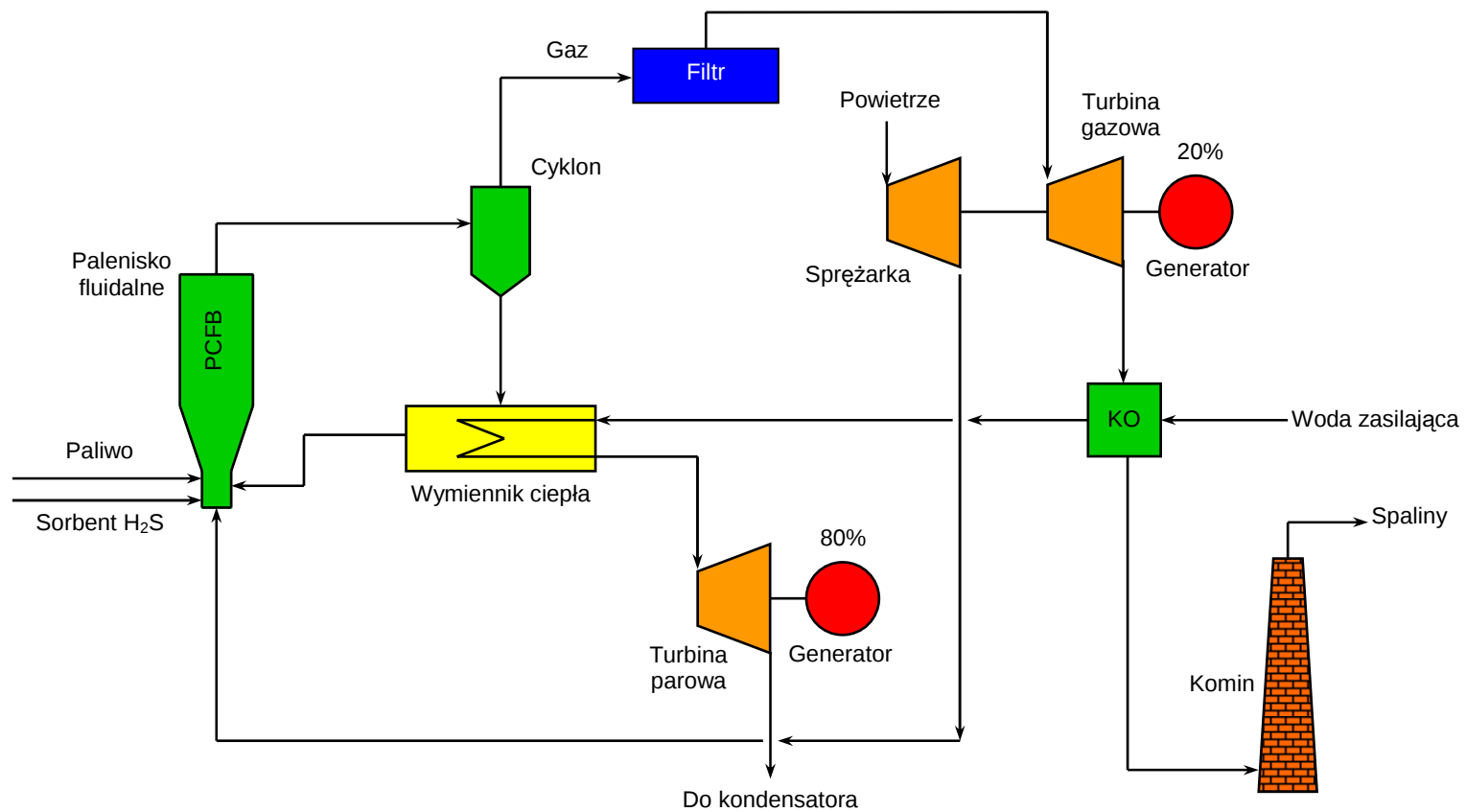
Kotły z ciśnieniową cyrkulacyjną warstwą fluidalną, zwane również układami „non-topping” lub układami pierwszej generacji PFBC, przewidywane są w bieżącej dekadzie jako rozwiązanie nie tylko problemów ekologicznych, ale także jako odpowiedź na konieczność zwiększenia sprawności wytwarzania energii elektrycznej oraz zmniejszenia emisji CO₂.

Technologia PCFB jest atrakcyjna zarówno dla nowych elektrowni, jak również rekonstrukcji istniejących. Analizy ekonomiczne wykazują, że oczekiwane koszty odtworzenia mocy poprzez zastosowanie kotłów PCFB są wyraźnie niższe, niż przy wykorzystaniu IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle – Zintegrowany Kombinowany Cykl ze zgazowaniem węgla z odpadami organicznymi), lub ciśnieniowych kotłów fluidyzacyjnych z warstwą pęcherzykową. Proces zgazowania węgla może odbywać się na terenie kopalni lub elektrowni. W pierwszym przypadku doprowadzenie gazu do elektrowni odbywa się rurociągami, w drugim jest konieczny (jak obecnie) transport węgla i odpadów organicznych do elektrowni.

Jak widać na rysunku 1, typowa instalacja elektrowni z systemem zgazowania węgla IGCC zajmuje prawie dwa razy większy teren, niż instalacja elektrowni PCFB. Tak więc efektywne skutki ekonomiczne wynikające z zastosowania systemu PCFB, są większe niż w przypadku systemu IGCC. Uproszczony schemat ciśnieniowego układu kombinowanego z ciśnieniowym kotłem cyrkulacyjnym PCFB pierwszej generacji przedstawia rysunek 2. System ten wykorzystuje kombinację turbin: gazowej i parowej dla produkcji energii elektrycznej odpowiednio 20-25% i 75-80% mocy oddawanej do sieci.



Rys.1. Porównanie rozmiaru pomiędzy elektrowniami PCFB i IGCC (każda o mocy 700 MW)



Rys.2. Uproszczony schemat elektrowni pierwszej generacji z ciśnieniowym kotłem PCFB

Lokalna elektrociepłownia sprzężona ze zgazowaniem odpadów komunalnych i szlamów pościekowych

Już w początkach działalności rafinerii VEBA-OEL w Gelsenkirchen – przed I wojną światową – podjęto działania badawczo-wdrożeniowe nad uszlachetnieniem płynnych oraz mazistych pozostałości z przerobu ropy a potem komunalnych osadów ściekowych. Dziś te właśnie procesy nabrały szczególnego ekologicznego i ekonomicznego znaczenia w zagospodarowaniu oraz neutralizowaniu rozlicznych odpadów komunalnych osadów ściekowych i przemysłowych. Te właśnie procesy górują nie tylko ekonomiczną efektywnością nad spalaniem w elektrociepłowniach wymienionych wyżej odpadów, ale zapewniają mniejsze objętości głęboko zneutralizowanych oraz zutylizowanych pozostałości, spośród których sporo (szczególnie te zeszkliwione jako szlaka) znajduje gospodarcze zastosowanie. Omawiane procesy obejmują:

- Pirolizę bogatych w heterogenne, silnie zapozielone materiały takie, jak odpady komunalne (łącznie ze szlamami z oczyszczalni ścieków) i specjalne, pochodzące z przemysłu.
- Zgazowanie – dające wysokowartościowy półprodukt dla przemysłu petrochemicznego w postaci gazu syntezowego – prowadzące w dodatku do znacznej neutralizacji szkodliwych dla środowiska materiałów, przy czym proces ten poprzedzony jest pirolizą organicznych składników wraz z depolimeryzacją tworzyw sztucznych.

Specyficznością prezentowanej technologii jest wariantowe wykorzystanie gazu syntezowego (pozyskiwanego w pokaźnych ilościach), zawierającego głównie $\text{CO} + \text{H}_2$ oraz dodatkowo wydzielonego oleju syntezowego w przemyśle petrochemicznym oraz rafineryjnym. Jeżeli jednak nie ma takich możliwości w okolicy, to można te półprodukty skierować do elektrociepłowni z turbinami gazowo-parowymi, które zapewniają dziś najwyższe sprawności.

Wskaźnik sprawności pirolizy oraz zgazowania odpadów komunalno-przemysłowych bywa szczególnie wysoki wówczas, gdy utylizację uzyskanych półproduktów sprzęgnie się z przemysłem rafineryjno-petrochemicznym oraz elektrociepłowniami, wyposażonymi w turbiny gazowo-parowe. Postępując technologicznie taką drogą, można uzyskać równocześnie wysokie efekty ekologiczne i ekonomiczne.

W przemyśle rafineryjnym procesy pirolizy i zgazowania są od wielu dziesięcioleci stosowane dla znacznego uszlachetnienia próżniowej pozostałości z destylacji ropy oraz pozostałości z hydrokrakingu powyższej.

Te procesy odgrywają w nowoczesnych technologiach utylizacji oraz neutralizacji odpadów komunalno-przemysłowych dodatkowo ważną rolę przez fakt, że można je również wykorzystać w – nabierających z roku na rok znaczenia – procesach utylizacji surowców odnawialnych.

Zgazowanie zapewnia bowiem maksymalną, możliwą redukcję objętości odpadów nieorganicznych poprzez ich zeszlakowanie lub zeszkliwienie, które w tej postaci znajdują zastosowanie w szeroko pojętym budownictwie. Zawarta w odpadach siarka zostaje metodą Clausa wydzielona prawie w całości i w dodatku o prawie 100-procentowej czystości, co zapewnia jej zastosowanie w procesie wulkanizacji kauczuku.

Stopień materiałowego wykorzystania organicznych odpadów – w tym osadów ściekowych - poprzez sprzężenie procesów pirolizy ze zgazowaniem - jest oczywiście znacznie wyższy, niż w innych technologiach. W dodatku proces zgazowania eliminuje w 100% dioksyny i furany, które przy parametrach temperatury oraz ciśnienia prezentowanej technologii nie mogą się odbudowywać.

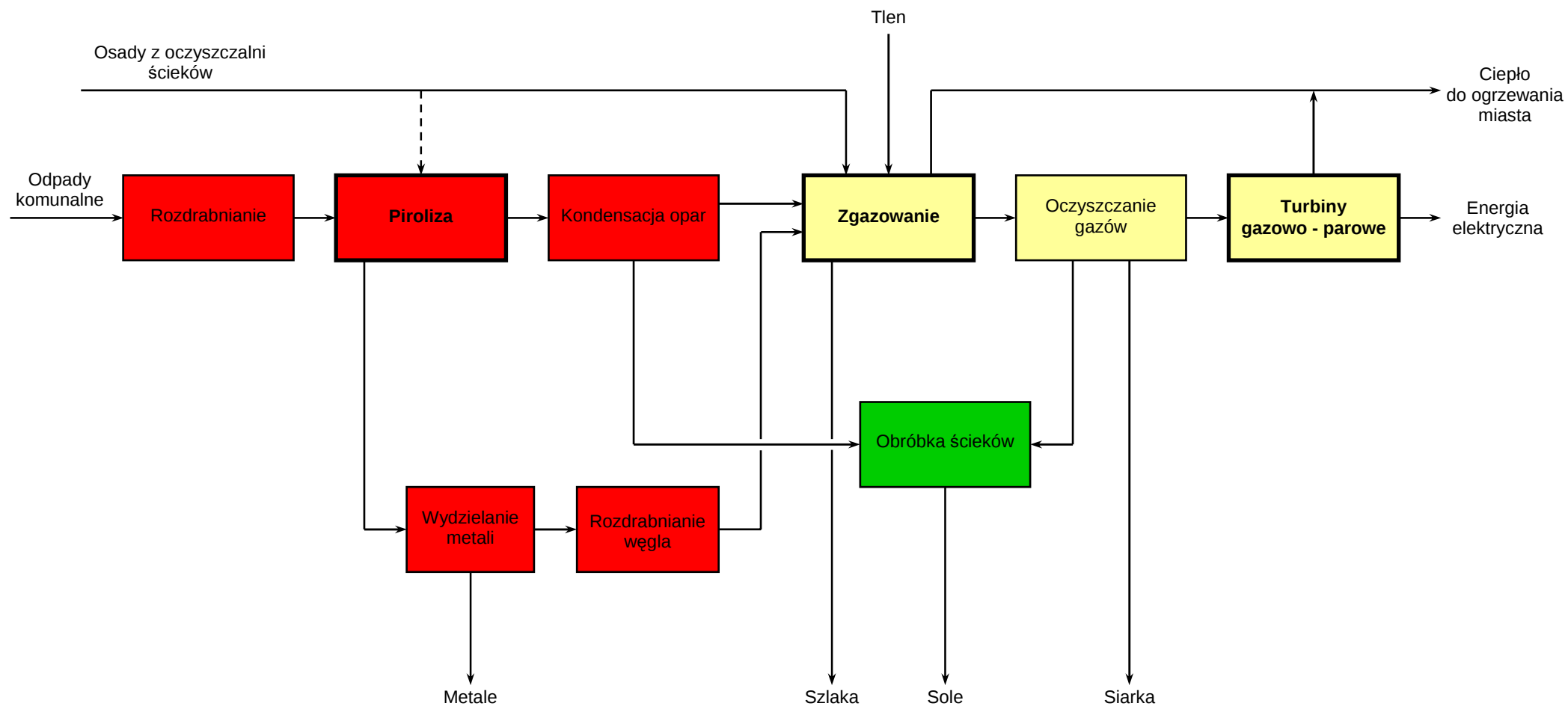
Zagospodarowanie odpadów organicznych przez pirolizę i zgazowanie

Opracowany w koncernie VEBA-OEL proces pirolizy i zgazowania odpadów komunalnych wraz ze szlamami oczyszczalni ścieków zaprezentowano w postaci schematu blokowego na rys.3, który charakteryzuje się następującymi elementami:

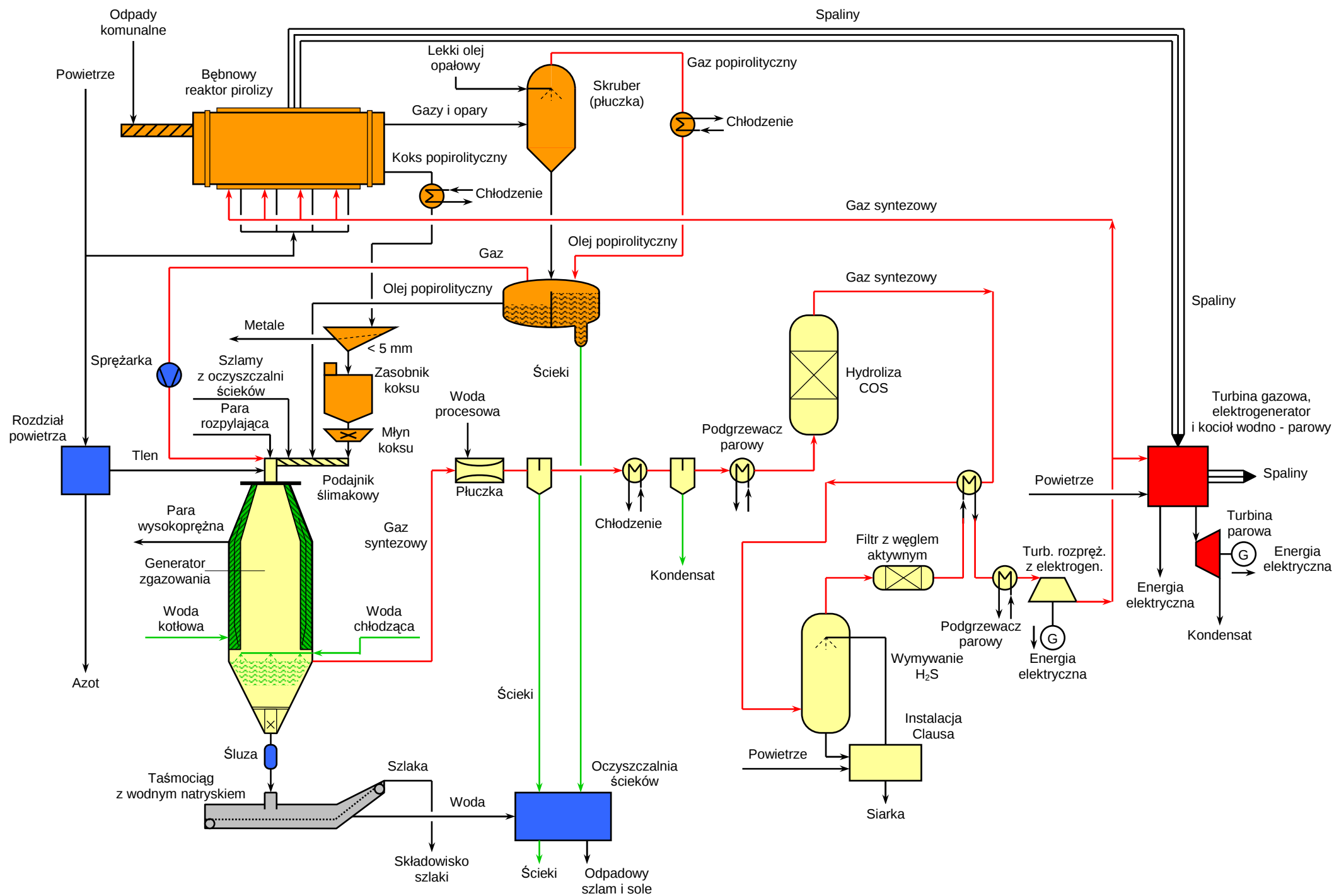
- Wstępna obróbka odpadów ma na celu najpierw ich uszlachetnienie, aby w procesie zgazowania uzyskać wysokowartościowe półprodukty dla dalszej przeróbki. Rozdzielenie tych operacji umożliwia ich zoptymalizowanie.
- Wstępna obróbka rozdrobnionych odpadów komunalnych i osadów ściekowych na drodze pirolizy zapewnia łatwe wydzielanie metali z wytworzonego koksu pokrakingowego, który jest w dodatku w uzyskanej postaci łatwy do zmielenia. Uzyskanie tak zaplanowanych efektów zapewnia zastosowany reaktor pirolizy w postaci bębna obrotowego, umieszczonego w płaszczu, w którym spala się część wytworzonego w generatorze zgazowania gazu syntezowego.

Celem zgazowania półproduktów z węzła pirolizy odpadów komunalnych – obejmujących gazy palne, opary lekkiego oleju i frakcję koksu – jest uzyskanie gazu syntezowego dla przemysłu rafineryjno-petrochemicznego lub dla elektrociepłowni, składającej się z turbin gazowo-parowych. Natomiast mineralne składniki odpadów zostają w procesie zgazowania stopione z resztkami metali, a następnie zeszkliwione podczas szybkiego schładzania.

Szczegółowo zaprezentowano wszystkie operacje procesowe na rys. 4. Najpierw poddaje się odpady komunalne rozdrobnieniu do granulacji poniżej 200 mm. Następnie kieruje się je wprost do bębna obrotowego, będącego reaktorem pirolizy. Jest on ustawiony ukośnie, a czas przebywania stałych części substratu, wynoszący około 30 minut, bywa regulowany jego obrotami. Temperatura ścian obrotowego reaktora pirolizy jest utrzymywana w granicach 750-800st C. Ciśnienie procesu pirolizy wynosi 1×10³ Pa, dzięki któremu nie ma zagrożenia dostania się z zewnątrz powietrza. Wyprowadzony z reaktora pirolizy



Rys.3. Piroliza oraz zgazowanie szlamów z oczyszczalni ścieków i odpadów komunalnych



Rys.4. Piroliza oraz zgazowanie szlamów z oczyszczalni ścieków i odpadów komunalnych

koks jest najpierw schładzany, a potem - na sicie wibracyjnym - rozdrabniany, uwolniony od metali i przesiewany. Natomiast gazy oraz opary lekkiego oleju są z reaktora pirolizy kierowane do dwustopniowej kondensacji, a z niej oddzielnie kierowane do generatora zgazowania.

Nie można wydzielonych gazów kierować wprost do opalania bębna reaktora pirolizy, gdyż zawierają one związki chloru oraz siarki, które usuwa się z gazu syntezowego po generatorze zgazowania.

Do zgazowania koksu oraz oleju pirolitycznego pod ciśnieniem 4-5 MPa stosuje się czysty tlen, przy czym temperaturę procesu, w wysokości około 1450 °C utrzymuje się dodawaniem pary wodnej: półspalanie koksu jest silnie egzotermiczne, a jego zgazowanie parą wodną ($C + H_2O \rightarrow CO + H_2$) jest procesem endotermicznym. W tej temperaturze nieorganiczne (mineralne) składniki odpadów ulegają stopieniu, a podczas schładzania zeszkliwieniu.

Wytworzony w górnej części generatora gaz syntezowy, zawierający głównie tlenek węgla oraz wodór obok niewielkich ilości dwutlenku węgla i metanu, przepływa wraz ze stopioną szlaką ku dołowi, wzdłuż płaszcza wodno-parowego. Pełni on rolę chłodnicy, działającej w systemie promieniowania cieplnego, ochładzając gaz syntezowy w mieszaninie ze szlaką z 1450 °C do około 1000 °C.

W dolnej części generatora znajduje się pierścieniowy rurociąg z wodnymi dyszami. Tu gaz syntezowy zostaje schłodzony do 380 °C i przepływa do płuczki o konstrukcji dyszy Venturiego – dla wymycia chlorowodoru, amoniaku i śladowych ilości ciężkich metali. Natomiast szlaka wpada w generatorze do kąpieli wodnej, w której – w postaci zeszkliwionej – ulega granulacji i zostaje wyprowadzona - poprzez śluzę - na taśmę transportową do składowiska.

Gaz syntezowy - po płuczce Venturiego – przepływa przez separator do końcowej chłodnicy i kolejnego separatora. Ścieki wodne z węzła pirolizy (patrz. rys. 4) i węzła zgazowania kierowane są do wspólnej oczyszczalni dla wydzielania szlamów oraz soli. Szlamy zostają zawrócone do procesu, a sól – po odparowaniu – bywa kierowana na składowisko odpadów. Zawarte w odpadach komunalnych organiczne związki siarki przechodzą w procesie zgazowania w H_2S i COS . Są one silnie trujące oraz korodujące. Dlatego surowy gaz syntezowy jest teraz kierowany przez podgrzewacz do reaktora katalitycznego hydrolizy, w którym COS przechodzi z parą wodną w H_2S .

Następnie jest selektywne wmywanie z gazu syntezowego siarkowodoru przy użyciu zimnego roztworu dietanoloaminy. Po desorpcji na gorąco, H_2S jest on metodą Clausa przetwarzany do czystej, granulowanej siarki, zużywanej w procesie wulkanizacji kauczuku w fabrykach opon i taśmociągów.

Po usunięciu siarkowodoru, gaz syntezowy przepływa do filtra z węglem aktywnym, na którym absorbuje się rtęć. Stąd ostatecznie oczyszczony gaz syntezowy można kierować w jednorazowym przepływie – osiągając 8-procentową konwersję – przez reaktor syntezy metanolu, a następnie (wariantowo można bezpośrednio) przez dwa szeregowo zainstalowane podgrzewacze do turbiny rozprężającej, sprzężonej z elektrogeneratorem. Potem gaz syntezowy w części przepływa do ogrzewania obrotowego reaktora pirolizy odpadów komunalnych, a resztę kieruje się do elektrociepłowni z turbinami gazowo-parowymi.

Zgazowanie osadów ściekowych

Bezpośrednie zgazowanie szlamów z oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych wg rys.5 charakteryzuje się następującymi efektami:

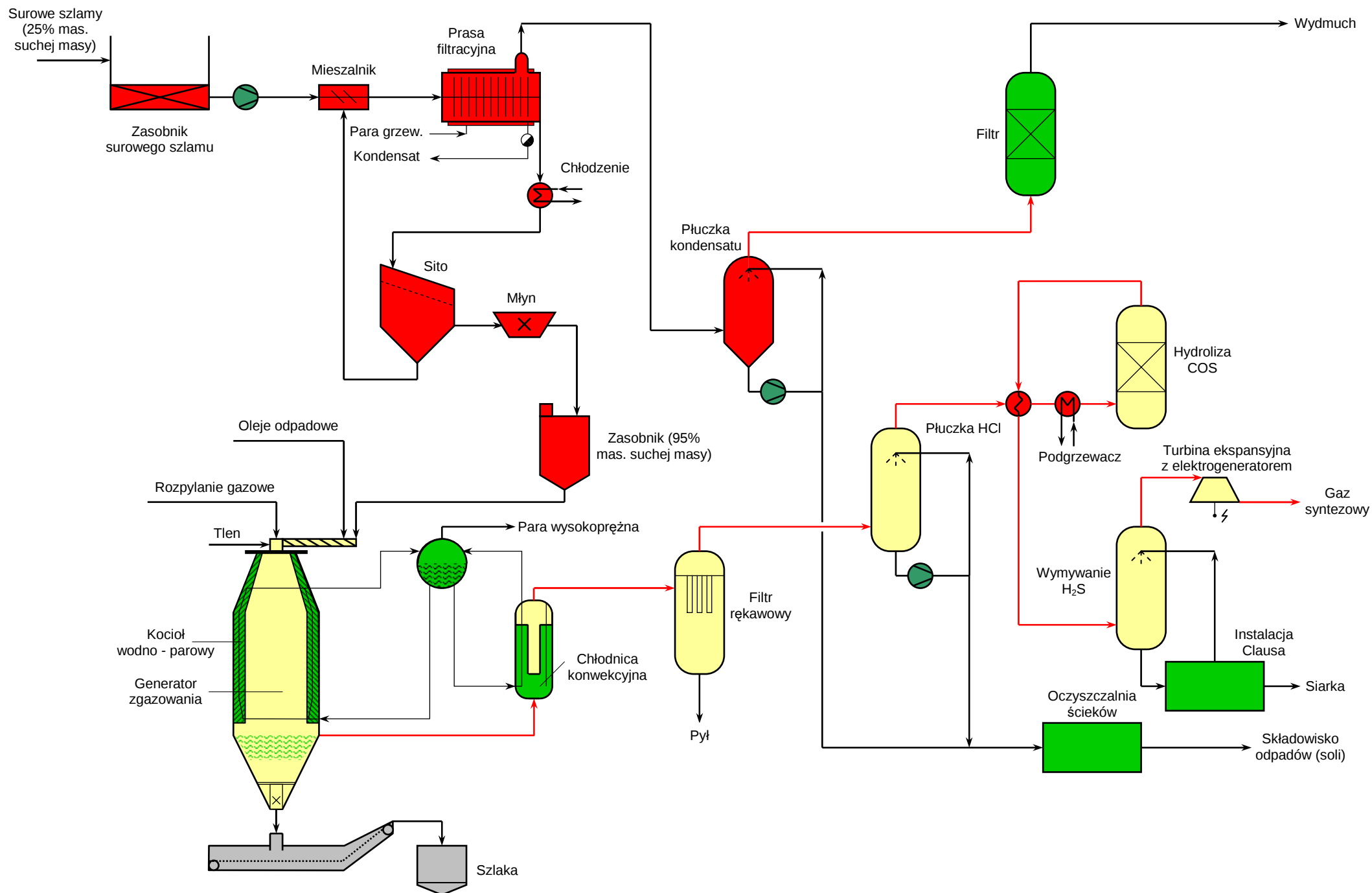
- Poprzez bezpośredni przerób w/w odpadów do gazu syntezowego, można wytworzyć energię elektryczną i ciepło z relatywnie wysoką sprawnością.
- Uzyskuje się zeszlakowanie składników nieorganicznych, wiążących trwale ciężkie metale.
- Następuje rozbitcie dioksan i furanów bez możliwości ich odtworzenia.

Proces tlenowego zgazowania szlamów przebiega pod ciśnieniem 3-5 MPa i ten fakt wymusza takie przygotowanie substratu, aby podajnik ślimakowy mógł równomiernie i bez wstecznego przenikania gazu wtłaczać go do generatora. Dlatego szlam trzeba alternatywnie wysuszyć do 95% suchej masy i mieszać z węglem lub jakimkolwiek odpadowym ciężkim olejem węglowodorowym, albo podsuszyć do 75-80% mas., ale wówczas będzie znacznie większe zużycie tlenu w procesie zgazowania, co odbije się negatywnie na kosztach eksploatacyjnych instalacji. Pozostałe operacje technologiczne są podobne do przedstawionych na rys.2 i zostały wcześniej opisane.

Ekonomika

Parametry procesowe oraz uzyski gazu syntezowego podczas zgazowania koksu z pirolizy odpadów komunalnych oraz szlamów z oczyszczalni ścieków zaprezentowano w tabeli 3.

W tabeli 4 przedstawiono koszty inwestycyjne (bez tlenowni) oraz eksploatacyjne wytwórni pirolizy wraz ze zgazowaniem odpadów komunalnych i zgazowania szlamów z oczyszczalni ścieków. Bazą przedstawionych kosztów eksploatacyjnych są następujące ceny: tlen – 1,12 euro/m³, energia elektryczna – 0,85 euro/MW, woda procesowa – 0,25 euro/m³, woda chłodząca – 0,025 euro/m³, i wodny roztwór 50% NaOH – 0,15 euro/kg.



Rys.5. Suszenie i zgazowanie szlamów z oczyszczalni ścieków

Z tabeli 4 wynika, że koszt budowy kompleksu pirolizy i tlenowego zgazowania 25 t/h odpadów komunalnych (bez tlenowni) wynoszą 110 mln euro, a koszt budowy instalacji zgazowania 2 t/h szlamów z oczyszczalni ścieków sięgają 12,5 mln euro.

Koszty eksploatacji w/w obiektów przemysłowych wynoszą 109,75 euro/tonę przetwarzanych odpadów komunalnych oraz 125,25 euro/tonę zgazowanych szlamów z oczyszczalni ścieków.

Przedstawione nakłady dowodzą jednocześnie, że piroliza i zgazowanie odpadów komunalnych oraz zgazowanie szlamów z oczyszczalni ścieków, ewent. wspólnie z odpadowymi olejami węglowodorowymi, przynoszą nie tylko wymierne efekty w ochronie środowiska, ale również znaczne korzyści ekonomiczne ze sprzedaży wyprodukowanej energii elektrycznej i ciepła.

Efektywniejsze jest jednak wykorzystanie gazu syntezowego najpierw w przemyśle rafineryjno-petrochemicznym, a resztkowego – w elektrociepłowni lokalnej.

Tabela 3 Parametry zgazowania koksu z pirolizy odpadów komunalnych oraz szlamów z oczyszczalni ścieków wraz z charakterystyką uzyskiwanych gazów.

Wyszczególnienie parametrów i wyników zgazowania	Koks z pirolizy odpadów komunalnych	Szlamy z oczyszczalni ścieków + ciężki olej opałowy
Ciśnienie; MPa	5	5
Temperatura; °C	1450	1450
Stosunek pary wodnej do substratu; kg/kg	0,4	0,25
Stosunek tlenu do substratu; kg/kg	0,98	0,72
Stopień przemiany węgla;% mas.	98,1	95,5
Uzysk gazu; m ³ /kg	2,32	1,21
Skład gazu syntezowego;% obj.		
- H ₂	33,4	38,6
- CO	54,0	30,8
- CO ₂	11,6	28,6
- H ₂ S	0,4	0,6
- N ₂ + CH ₄	0,6	1,4
Stosunek H ₂ /CO; mol/mol	0,6	1,25

Tabela 4 Koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne wytwórni pirolizy i zgazowania odpadów komunalnych oraz szlamów z oczyszczalni ścieków.

Składniki kosztów	Odpady komunalne	Szlamy z oczyszczalni ścieków
Przerób; t/h	25,0	2
Roczna eksploatacja; h/rok	7200	7500
Nakłady inwestycyjne; mln euro	110	12,5
Koszty eksploatacyjne; euro/t		
- amortyzacja	71,75	62,50
- kosztą wydziałowe	5,95	12,50
- kosztą utrzymania ruchu	17,80	33,30
- płace	7,12	33,30
- energia i środki pomocnicze	16,63	66,65
Suma kosztów eksploatacyjnych	119,25	208,25
Uzyskania z tytułu sprzedaży energii elektrycznej i ciepła	-9,50	-83,00
Ostateczne kosztą eksploatacyjne	109,75	125,25

Autorzy są profesorami Politechniki Opolskiej